

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Национальный исследовательский
Томский государственный университет

**ДВАДЦАТАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ СТУДЕНЧЕСКИХ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ИНКУБАТОРОВ**

г. Томск, 2–5 мая 2023 г.

Scientific & Technical Translations



ИЗДАТЕЛЬСТВО
Томск – 2023

УДК 537.86; 621.38.01:53; 681.382.473; 47.14
Д22

Д22 Двадцатая Всероссийская конференция студенческих научно-исследовательских инкубаторов, г. Томск, 2–5 мая 2023 г. – Томск : СТТ, 2023. – 172 с.

ISBN 978-5-93629-698-7

Сборник содержит доклады участников Двадцатой Всероссийской конференции студенческих научно-исследовательских инкубаторов, проходившей в Томском государственном университете 2–5 мая 2023 года. Цель конференции – обмен результатами фундаментальных и прикладных исследований в области радиофизики, электроники, оптоэлектроники, лазерной техники и лазерных технологий, радиоэлектронных систем и комплексов, включая проектирование и разработку специализированного математического и программного обеспечения, новых приборов и материалов.

Сборник представляет интерес для студентов, аспирантов, молодых ученых, преподавателей в области радиофизики и оптики.

УДК 537.86; 621.38.01:53; 681.382.473; 47.14

Рецензенты:

Коротаев А.Г., канд. физ.-мат. наук, доцент, декан НИ ТГУ;
Каширский Д.Е., канд. физ.-мат. наук, доцент, НИ ТГУ;
Торгаев С.Н., канд. физ.-мат. наук, доцент, зав. каф. НИ ТГУ;
Лозовой К.А., канд. физ.-мат. наук, НИ ТГУ.



Опубликовано при поддержке Эндаумент-фонда ТГУ и компании АО «НПФ «МИКРАН» в рамках целевого капитала № 1 «Первый сибирский университет».

ISBN 978-5-93629-698-7



© Авторы, 2023.
© Оформление. СТТ™, 2023.

145

Томскому государственному университету 145 лет



Радиофизическому факультету ТГУ 70 лет



В 2023 году **Томский государственный университет отмечает** 145-летие – он был основан 28 (16) мая 1878 г. Императором Александром II как первый за Уралом Императорский Сибирский университет. Открытие Томского университета было важным цивилизационным мегапроектом Российской империи, направленным на социально-экономическое освоение азиатской части страны, развитие просвещения и культуры.

Сегодня ТГУ – один из крупнейших научно-образовательных центров России, университет входит в число лидеров российской высшей школы и во многом определяет направление дальнейшего ее развития, заостряя внимание общества на самых острых вызовах времени, ставя в фокусе своей деятельности личность человека и качество его жизни. За 145 лет ТГУ подготовил более 160 тысяч специалистов для всех сфер экономики. В ТГУ учились и работали свыше 100 членов РАН и иностранных АН, больше 250 лауреатов государственных премий, пять лауреатов Нобелевской премии. Сегодня в профессорско-преподавательский состав входит более 600 профессоров (из них 140 – иностранных) и 1300 кандидатов наук.

ТГУ входит в TOP-100 лучших университетов мира и в топ-3 лучших вузов России в рейтинге RUR-2022. В международном рейтинге QS занимает 264 позицию в мире и 4 – среди российских вузов. В 2021 г. университет вошел в первую группу победителей программы «Приоритет 2030».

В бакалавриате, специалитете и магистратуре ТГУ обучаются более 15 тысяч человек, в аспирантуре – 800 человек (более 250 иностранцев). Студентам доступны самые передовые цифровые технологии: системы «АКТРУ», Plarjo, Talent search и др. Кроме того, ТГУ – федеральный оператор проекта «Содействие занятости».

ТГУ сохраняет и приумножает вековые традиции тесного сотрудничества преподавателей и студентов, высокий уровень подготовки специалистов. Во все времена диплом выпускника ТГУ – это твердая гарантия глубоких фундаментальных знаний, отличных практических компетенций и навыков работы. ТГУ является признанным интеллектуальным и культурным центром регионального развития, инициатором и участником крупных инновационных проектов, в том числе по воспитанию талантливой молодежи.



В 2023 году **Радиофизический факультет ТГУ** отмечает 70-летие – факультет был открыт в 1953 году на базе трех кафедр физического факультета. Сейчас на радиофизическом функционирует семь различных кафедр. На факультете реализуются несколько образовательных программ, что позволяет студентам выбрать траекторию процесса обучения, наиболее соответствующую будущей работе.

Многие преподаватели, аспиранты и студенты факультета участвуют в конференциях и стажировках за рубежом. У факультета устойчивые связи с рядом университетов США, Франции, Германии, Польши, Великобритании, Японии, Китая. В основном это совместные научные работы, совместные рабочие семинары, программы двойных дипломов.

Весь образовательный процесс на РФФ связан с научными исследованиями. Научно-исследовательская работа студентов начинается с 3 курса и проходит под руководством высококвалифицированных преподавателей и специалистов на кафедрах и в лабораториях факультета, Сибирского физико-технического института, институтов СО РАН: Института сильноточной электроники, Института оптики атмосферы, Института мониторинга климатических и экологических систем, а также НИИПП. С ноября 2004 года на факультете работает студенческий научно-исследовательский инкубатор, основной целью которого является адресная подготовка команд специалистов для высокотехнологических предприятий и фирм.

Результаты такой научной активности достаточно высоки. За последние пять лет на факультете защищены 1 докторская и 9 кандидатских диссертаций, опубликовано более 2000 научных работ и 12 монографий, получено 23 патента. Только студентами и аспирантами факультета получено более сотни наград областного и федерального уровня – медали и дипломы Минобрнауки РФ, стипендии Президента, Правительства ТГУ, дипломы Лауреатов конкурсов Администрации, премии Законодательной Думы томской области, медали РАН.

Широкое образование, опыт научно-исследовательской работы, умение самообучаться позволяют выпускникам факультета работать в российских и зарубежных НИИ и КБ, университетах, а также в других коммерческих организациях и крупных компаниях. На текущий момент заявок на выпускников от работодателей больше чем факультет выпускает. Многие выпускники РФФ стали известными учеными – руководителями крупных научных коллективов, генеральными директорами научно-производственных объединений, лауреатами Государственных премий, руководителями НИИ, директорами собственных фирм.

Секция 1

РАДИОФИЗИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

Разработка СФ-блока автогенератора для применения в КМОП аналоговых интегральных схемах

Н.С. Дорохов

Научный руководитель: Е.С. Полынцев

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск

E-mail: nikitadorohof@mail.ru

Аннотация: В работе представлены результаты разработки КМОП СФ-блока термостабильного перестраиваемого по частоте автогенератора. Разработка выполнялась с использованием «дизайн кита» ПАО «Микрон» HCMOS8D и САПР Cadence. СФ-блок автогенератора основан на кольцевом автогенераторе с использованием последовательно соединенных инверторов. Автогенератор термостабилизирован во всем рабочем диапазоне температур. Напряжение питания СФ блока составляло 3,3 В; частотный диапазон перестройки автогенератора от 1 до 44 МГц; точность частоты автогенератора в рабочем диапазоне температур 3%.

Ключевые слова: сложнофункциональный блок, кольцевой автогенератор, термостабилизация, HCMOS8D.

Введение

Сложнофункциональные блоки (СФ-блоки) представляют собой совокупность программных, схемотехнических и топологических решений, выполняющих определенную функцию, предназначенных для интеграции в состав сверхбольших интегральных схем и систем на кристалле. В зарубежной индустрии различают *soft* СФ-блоки, представляющие собой программные блоки, описанные на языке описания архитектуры (Verilog); *firm* СФ-блоки, специфицированные на схемотехническом уровне, без привязки к конкретной топологической реализации; *hard* СФ-блоки, которые специфицированы на топологическом уровне [1]. В СФ-блоки выделяют как цифровые, так и аналоговые схемы. Типичными СФ-блоками являются аналогово-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи, таймеры, генераторы тактовой частоты, микроконтроллеры и т.д.

В условиях торговых ограничений и эмбарго отечественным разработчикам интегральных схем (ИС) требуются СФ-блоки, основанные на российских технологических процессах. Одной из задач федеральной программы «Подготовка кадров и научного фундамента для электронной промышленности» является создание библиотеки отечественных СФ-блоков, что подтверждает актуальность данной работы.

В рамках данной работы разрабатывался СФ-блок термостабильного перестраиваемого по частоте автогенератора, предназначенный для использования в составе аналоговых контроллеров питания, ШИМ-контроллерах и т.д.

Методика проектирования

Проектирование интегральной схемы (ИС) выполнялось на основе базовой технологии ПАО «Микрон» HCMOS8D CMOS 0,18 мкм 200, предназначенной для производства высокопроизводительных универсальных микроконтроллеров и микропроцессоров, СБИС памяти, ЦАП и АЦП.

Проектирование ИС было выполнено в САПР Cadence Virtuoso. Моделирование проводилось с использованием Cadence ADE.

Методика проектирования заключалась в использовании ряда классических схемотехнических решений [2] и базовых элементов «дизайн-кита» HCMOS8D с целью создания СФ-блока термостабильного автогенератора с управляемой частотой.

Результаты

Схема электрическая принципиальная СФ-блока автогенератора представлена на рисунке 1. Схема имеет выводы VCC и gnd для подключения питания, вывод SET для управления частотой автогенератора, а также вывод OUT,

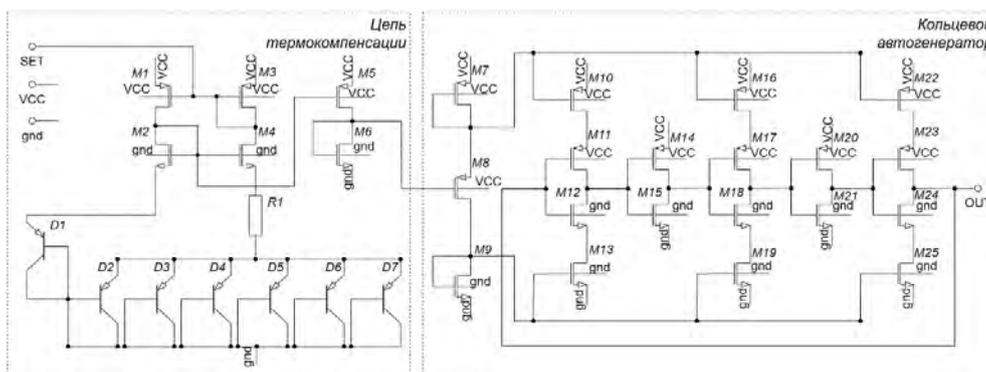


Рис. 1. Схема электрическая принципиальная автогенератора

с которого регистрируется переменный сигнал. СФ-блок автогенератора построен на основе кольцевого генератора, состоящего из пяти каскадов линий задержки и управляющей схемы, которая устанавливает частоту колебаний. Концепция кольцевого генератора была взята из [2] и адаптирована под длинноканальный техпроцесс, который используется в данной работе. Адаптация заключалась в подборе длины и ширины транзисторов с целью обеспечения корректного режима работы электрической схемы. Для стабилизации частоты генерации была разработана управляющая цепь, которая компенсирует влияние флуктуации температуры кристалла и напряжения питания [3]. Управляющая цепь состоит из термо-компенсированной самосмещенной цепи, генерирующей управляющее напряжение. Управление частотой осциллятора осуществляется, с помощью генератора пилообразного напряжения через вывод SET.

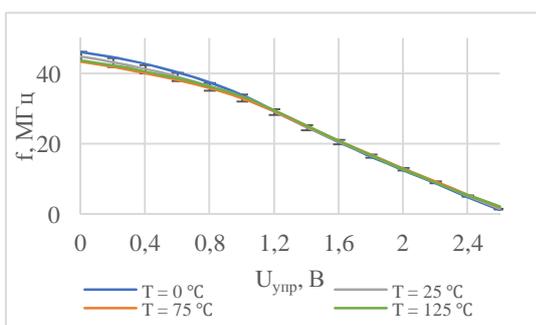


Рис. 2. Зависимость частоты от управляющего напряжения при различных температурах

На рисунке 2 приведена зависимость частоты автогенератора от управляющего напряжения, подаваемого на вывод SET при различных температурах. Зависимости получены путем моделирования в САПР Cadence при номинальном напряжении питания 3 В. Управление частотой автогенератора осуществлялось с помощью управляющего напряжения в диапазоне

0–2,6 В. Это позволило управлять частотой автогенератора в диапазоне 1–44 МГц. Перестройка осуществлялась линейно с коэффициентом пропорциональности –20 кГц/мВ. Из рисунка 2 видно, что при изменении температуры в рабочем диапазоне температур 0–125 °С флуктуации выходной частоты происходят на величину не более 3% от частоты при рабочей температуре 25 °С.

Заключение

Был разработан *firm* СФ-блок перестраиваемого по частоте термостабильного автогенератора с рабочим диапазоном температур 0–125 °С, который обеспечивает линейный частотный диапазон перестройки 1–44 МГц. СФ-блок может быть использован в составе аналоговых контроллеров питания, ШИМ-контроллерах и т.д.

Благодарности

Работа выполнена в рамках федерального проекта «Подготовка кадров и научного фундамента для электронной промышленности» по гос. заданию на выполнение научно-исследовательской работы «Разработка методики прототипирования электронной компонентной базы на отечественных микроэлектронных производствах на основе сервиса MPW».

Список литературы

1. Saleh R., Wilton S., Mirabbasi S. et al. System-on-chip: Reuse and integration // Proceedings of IEEE. – 2006. – Vol. 94, No. 6. – P. 1050–1069.
2. Baker R.J. CMOS: circuit design, layout, and simulation. – John Wiley & Sons, 2019. – 1214 p.
3. McNeill J.A., Ricketts D. The designer's guide to jitter in ring oscillators. – Springer Science & Business Media, 2009. – 292 p.

Электромагнитные свойства композиционного филамента с ферритовым наполнителем для 3D печати

И.А. Вертопрахов, А.Н. Елясов

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук Г.Е. Кулешов

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск

E-mail: vbrhsx@gmail.com

Аннотация: В работе приведены результаты исследования композиционных материалов на основе полимера акрилонитрилстиролакрилата (АСА) и наполнителя гексаферрита М-типа ($BaFe_{12}O_{19}$). Проведено измерение частотной зависимости коэффициентов отражения, прохождения, поглощения.

Ключевые слова: композиционный материал, акрилонитрилстиролакрилата, гексаферрит, 3D-печать, отражение, прохождение, поглощение.

Введение

Сейчас возрастает число радиоэлектронных устройств, работающих в СВЧ и КВЧ диапазонах [1, 2]. Появляется необходимость обеспечения требований электромагнитной совместимости и экологии для снижения влияния повышенного электромагнитного фона [3]. Для этого используются различные радиоматериалы, такие как ферриты [4], карбонильное железо и углеродные наноматериалы. Их используют при изготовлении корпусов радиоэлектронных приборов, защитных экранов и покрытий, снижающих электромагнитное излучение. В последнее время появляется все больше работ, в которых вышеперечисленные материалы используются для изготовления композиционных материалов для 3D печати [5].

Целью данной работы является разработка и исследование композиционных филаментов для 3D-печати на основе высокочастотного ферритмагнетика и FDM-пластика. При этом полученный композиционный радиоматериал должен обладать однородностью, пластичностью и определенными электромагнитными свойствами в исследуемом диапазоне частот. Для этого требуется подобрать оптимальные соотношения полимера и наполнителя, а также методику изготовления филамента для 3D печати.

Материалы и методы исследования

В данной работе объектом исследования являются композитные радиоматериалы на основе высокочастотного ферритмагнетика и FDM-пластика.

В роли пластика для композиционного материала выступает акрилонитрилстиролакрилат (АСА). Акрилонитрилстиролакрилат имеет ряд

существенных преимуществ перед наиболее распространенным в настоящее время АБС-пластиком. АСА имеет лучшую атмосферостойкость и низкую чувствительность к ультрафиолетовому излучению. Характеристики используемого полимера приведены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристики полимера АСА

Характеристика	Величина
Плотность	1,08 г/см ³
Температура эксплуатации	От -40°C до +90°C
Температура плавления	210-220°C
Прочность на изгиб	76,1 МПа
Прочность на разрыв	36,5 МПа

В качестве высокочастотного ферритмагнетика был выбран гексаферрит М-типа $BaFe_{12}O_{19}$. Основной особенностью данного гексаферрита является то, что он обладает магнитными свойствами и имеет область естественного ферромагнитного резонанса в КВЧ диапазоне. Размеры его частиц менее 100 мкм.

Изготовление радиофиламента осуществлялось по технологии, представленной на рисунке 1.



Рис. 1. Технология производства филамента

Образцы из чистого АСА пластика и с 40% содержанием $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ были исследованы на частотную зависимость коэффициентов прохождения, отражения и поглощения. Измерения проводились в коаксиальной измерительной ячейке на векторном анализаторе цепей P4M-18 МИКРАН, представленном на рисунке 2, волноводным методом.



Рис. 2. Векторный анализатор цепей P4M-18

Результаты исследования

На рисунке 3 приведены частотные зависимости коэффициентов прохождения (T), отражения (R) и поглощения ($A=100-T-R$) для чистого пластика АСА и для композита с 40% содержанием гексаферрита.

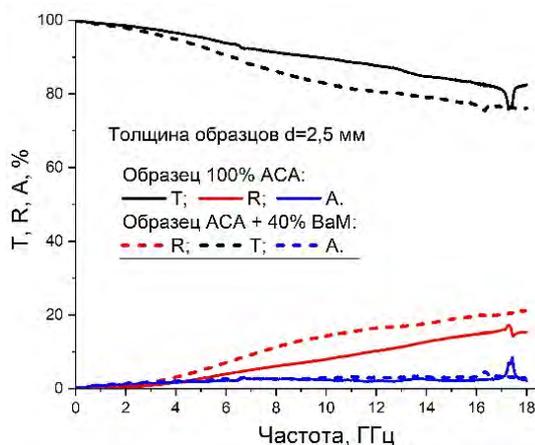


Рис. 3. Частотная зависимость: T – прохождения, R – отражения, A – поглощения

Из графика видно, что рассмотренные материалы обладают слабыми экранирующими свойствами ($T > 75\%$) и в основном за счет отражения. У образца диэлектрика АСА в районе 17,5 ГГц наблюдается резкое снижение прохождения и рост поглощения, что обусловлено четвертьволновым резонансом на толщине образца. У образца с ферритом этот резонанс смещается вниз по частоте из-за увеличения магнитной и диэлектрической проницаемости.

Из рисунка 4 видно, что рассмотренный материал слабо подходит для снижения отражения от металлических поверхностей. Максимальное снижение отражения достигает лишь 10% при толщине 3,7 мм на частоте 14 ГГц.

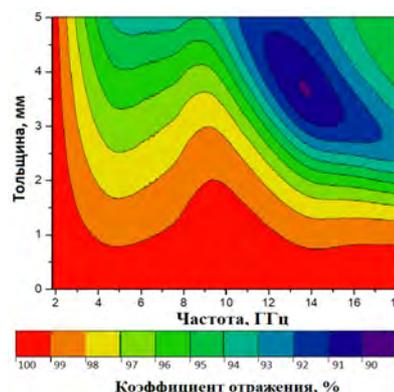


Рис. 4. Частотная зависимость коэффициента отражения на металле

Заключение

По результатам проделанной работы, можно сказать, что разработанный композиционный филамент для 3D-печати на основе высокочастотного ферромагнетика и FDM-пластика не обладает электромагнитными свойствами в исследуемом в СВЧ диапазоне частот.

Список литературы

1. Wang R., Ren X.-G., Yan Z., Jiang L.-J., Sha Wei, Shan G.-C. Graphene based functional devices: A short review // *Frontiers of Physics*. – 2019. – Vol. 14(1). – P. 13603.
2. Armstrong C. M., Kowalczyk R., Zubyk A. et al. Compact extremely high frequency MPM power amplifier // *IEEE Transactions on Electron Devices*. 2018. – Vol. 65(6). – P. 2183–2188.
3. Mathur P., Raman S. Electromagnetic interference: measurement and reduction techniques // *Journal of Electronic Materials*. 2020. – Vol. 49(5). – P. 2975–2998.
4. Zahid M., Siddique S., Anum R. et al. M-type barium hexaferrite-based nanocomposites for shielding application // *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*. – 2021. – Vol. 34(4). – P. 1019–1045.
5. Kuleshov G.E., Badin A.V., Gering M.O. Electromagnetic properties of composite materials based on ABS plastic with carbon nanotubes obtained by the additive technology in the SHF and EHF bands // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2020. – Vol. 731(1). – P. 012014.

Расчет и исследование малосигнальной модели 0,25 мкм GaAs НЕМТ транзистора

Г.А. Жапова

Научный руководитель: канд. техн. наук А.А. Коколов

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, г. Томск

E-mail: zhapovaga@gmail.com

Аннотация: В работе рассмотрены и применены на практике существующие методы экстракции параметров, которые позволяют на основе измеренных S -параметров рассчитать параметры модели СВЧ транзистора. Приведены результаты экстракции параметров малосигнальной модели СВЧ транзистора, изготовленного на основе 0,25 мкм GaAs НЕМТ технологии.

Ключевые слова: СВЧ, экстракция параметров, малосигнальная модель, полевой транзистор.

Введение

На сегодняшний день в автоматизированные системы проектирования (САПР) внедрено достаточное количество активных моделей транзисторов, применяемых для проектирования различных СВЧ-устройств, но на практике зачастую возникает задача более точного проектирования конкретно выбранного полупроводникового устройства как в линейном, так и в нелинейном режимах. В таких ситуациях как раз и прибегают к различным методам экстракции для получения наиболее точной модели, описывающей транзистор во всех рабочих точках.

В данной работе рассмотрены и применены уже существующие методики экстракции параметров, на основе которых была построена линейная малосигнальная модель GaAs НЕМТ транзистора по экспериментально измеренным S -параметрам.

Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования был использован СВЧ транзистор, изготовленный на основе 0,25 мкм GaAs НЕМТ технологии с шириной затвора $W_g = 4 \times 50$ мкм, при этом граничная частота передачи по току f_t в рабочей точке составила порядка 37 ГГц. Измерения транзистора проводились на базе зондовой станции Cascade 11000 с использованием векторного анализатора цепей (ВАЦ) Keysight PNA-X в диапазоне 100 МГц – 40 ГГц (2001 точка).

Эквивалентную схему, показанную на рисунке 1, принято делить на 2 части: внутреннюю, содержащую 7 элементов (C_{gs} , C_{gd} , C_{ds} , R_{gs} , R_{ds} , g_m , τ), и внешнюю, содержащую 8 элементов (L_g , L_d , L_s , R_g , R_d , R_s , C_{pg} , C_{pd}). Как

правило, внешние паразитные элементы остаются постоянными и неизменными во всем диапазоне рабочих точек.

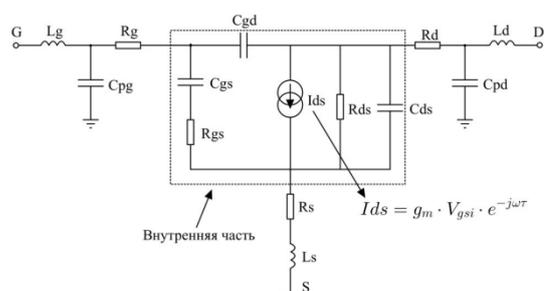


Рис. 1. Малосигнальная эквивалентная схема СВЧ полевого транзистора

В рамках данной исследовательской работы, был применен метод [1], с учетом изменений расчета сопротивления канала согласно [2], далее для получения наилучших результатов производилась минимизация целевой функции (1).

$$GF = \frac{|S_{ij}^{изм} - S_{ij}^{расчет}|}{0,5 \cdot (S_{ij}^{изм} + S_{ij}^{расчет})}, \quad (1)$$

где $S_{ij}^{изм}$ – измеренные S -параметры, $S_{ij}^{расчет}$ – рассчитанные S -параметры.

Первым этапом всегда производится вычисление внешних паразитных параметров при нулевом напряжении на стоке (холодный режим работы). При напряжениях сток-исток $V_{ds} = 0$ В, и напряжении затвор-исток $V_{gs} = -1,5$ В проводилось измерение S -параметров для вычисления паразитных емкостей, а при напряжениях $V_{ds} = 0$ В, $V_{gs} = +0,8$ В – для вычисления паразитных индуктивностей и сопротивлений.

На втором этапе были измерены S -параметры транзистора в рабочих точках. Далее была проведена процедура вычитания пара-

зитных внешних элементов из измеренных данных, которая состоит из следующих шагов [1]:

- преобразование S -матрицы в Z -матрицу и вычитание индуктивностей L_g и L_d ;
- преобразование полученной Z -матрицы в Y -матрицу и вычитание емкостей C_{pd} и C_{pg} ;
- преобразование полученной Y -матрицы в Z -матрицу и вычитание сопротивлений R_g , R_d , R_s и индуктивности L_s ;
- преобразование полученной Z -матрицы в Y -матрицу.

По итогам выполнения данной процедуры образуется Y -матрица, из которой далее вычисляются значения элементов внутренней эквивалентной схемы транзистора [1-2].

Результаты исследования

По описанной процедуре экстракции, на основе измеренных S -параметров для рабочей точки $V_{ds} = 3$ В, $V_{gs} = -0,5$ В была построена малосигнальная модель, результаты моделирования которой представлены на рисунках 2 и 3. В таблице 1 приведены значения элементов модели для трех рабочих точек при $V_{ds} = 3$ В ($V_{gs} = -0,3$ В; $-0,5$ В; $-0,7$ В).

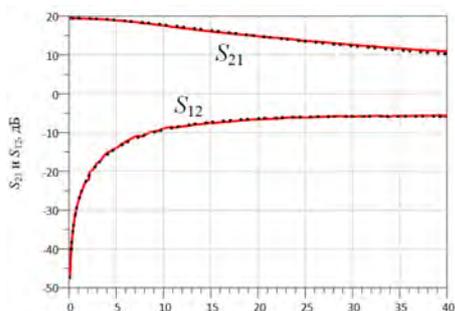


Рис. 2. Экспериментально измеренные (сплошная линия) и смоделированные (пунктирная линия) S -параметры (S_{21} и S_{12}) в рабочей точке $V_{ds} = 3$ В, $V_{gs} = -0,5$ В

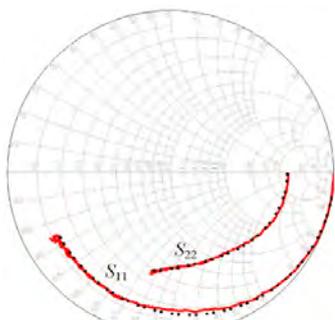


Рис. 3. Экспериментально измеренные (сплошная линия) и смоделированные (пунктирная линия) (S_{11} и S_{22}) в рабочей точке $V_{ds} = 3$ В, $V_{gs} = -0,5$ В

Таблица 1. Значения элементов малосигнальной модели СВЧ транзистора

	$V_{ds} = 3$ В, $V_{gs} = -0,3$ В	$V_{ds} = 3$ В, $V_{gs} = -0,5$ В	$V_{ds} = 3$ В, $V_{gs} = -0,7$ В
L_g , пГн	30		
R_g , Ом	0,1		
C_{pg} , фФ	42,8		
L_d , пГн	23		
R_d , Ом	0,1		
C_{pd} , фФ	23		
L_s , пГн	10		
R_s , Ом	5		
C_{gs} , фФ	118	119	120,8
R_{gs} , Ом	2,5	2,7	3,2
C_{gd} , фФ	22	22,7	23,8
R_{ds} , Ом	256,6	244,6	244,7
C_{ds} , фФ	18,5	18,3	18,1
G , мСм	36,6	42,6	44
τ , псек	1,57	1,55	1,53

Графики, изображенные на рисунках 2 и 3, показывают минимальные различия в измеренных и рассчитанных S -параметрах, что говорит о том, что полученная малосигнальная модель хорошо описывает поведение транзистора в данной рабочей точке.

Заключение

Рассчитанная малосигнальная модель показала хорошее описание модели транзистора, изготовленного на основе 0,25 мкм GaAs HEMT технологии. Это значит, что полученные результаты в дальнейшем применимы для продолжения работы описания в нелинейном режиме.

Благодарности

Работа выполнялась в рамках государственного задания при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (уникальный идентификатор FEWM-2022-0006).

Список литературы

1. Dambrine A., Cappy A., Heliodore F., Playez E. New method for determining the FET small-signal equivalent circuit // IEEE Trans Microwave Theory Tech. – July 1988. – Vol. 36. – P. 1151–1159.
2. Аверина Л.И., Бессонов Д.А., Рыбалкин Р.А., Аверина Е.В. Экстракция параметров моделей гетероструктурного полевого транзистора // Вестник ВГУ. – 2012. – № 1. – С. 5–12.

Система охлаждения полупроводникового источника оптического излучения на основе элемента Пельтье

И. Зинченко, В.А. Фасхудинова

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Н.Н. Кривин

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, г. Томск

E-mail: eve.online.fan@yandex.ru

Аннотация: В докладе приведена разработанная система охлаждения для термостатирования полупроводниковых источников оптического излучения. Приведены структурные схемы системы охлаждения и устройства управления.

Ключевые слова: радиофотоника, оптические передатчики, системы температурной стабилизации, устройство управления, элементы Пельтье.

Введение

Применение традиционных линий передачи СВЧ радиосигнала, таких как коаксиальные линии, волноводы и т.д., в современных радиоэлектронных системах все чаще приводит к существенному удорожанию и снижению её характеристик [1]. Особенно это заметно в бортовой радиоэлектронике военных и гражданских самолетов, в телекоммуникационных системах космических летательных аппаратов, на кораблях и подводных лодках, где предъявляются особые требования к массогабаритным показателям и защите от помех [2-3]. Требования к таким линиям передачи зачастую не удается реализовать без существенного увеличения диаметра и массы кабельных трасс. Например, типовое значение потерь в коаксиальных кабелях редко удается снизить до значений менее 1 дБ/м на частоте 10 ГГц. Длина кабельных трасс бортовых систем может достигать сотен метров, поэтому передача СВЧ сигнала становится невозможной без применения дополнительных дорогостоящих усилителей, при этом вес и стоимость увеличиваются.

Средствами радиофотоники, а именно волоконно-оптическими системами передачи, в которых в качестве среды распространения сигнала служат оптические кабели, возможно избавиться от проблем традиционных СВЧ линий передачи [4]. При этом существенно улучшаются характеристики систем передачи и практически на порядок снижается вес и стоимость. В оптических линиях потери в сотни раз меньше, чем в коаксиальных и волноводных трактах, и не превышают 1 дБ на 1 км, это позволяет передавать сигнал без дополнительных усилителей на расстояния в сотни метров, отличаясь высо-

кой помехозащищенностью и широкой полосой пропускания.

Для осуществления передачи радиосигнала в оптическом спектре используется модулированный радиосигнал. Модуляция происходит в оптических передатчиках, состоящих из источника оптического излучения, модулятора и системы управления [5].

Как правило, используемые полупроводниковые источники оптического излучения (лазеры) в волоконно-оптических системах передачи, использующие преобразование энергии накачки в излучение генерации, обладают низким КПД [6]. В результате чего значительная часть потребляемой электрической энергии выделяется в виде тепловой и, как следствие, отсутствие эффективного теплоотвода от лазера приводит к девиации генерируемой длины волны, снижению оптической мощности и возрастанию относительной интенсивности уровня шума.

Для термостатирования лазеров используют системы охлаждения [7]. На практике лучшим вариантом реализации стали системы на основе элементов Пельтье. Отличительным преимуществом элементов Пельтье является высокая эффективность отвода тепла от зоны нагрева в сравнении с обычными металлическими радиаторами. При этом элемент Пельтье имеет низкие массогабаритные показатели и в зависимости от направления протекания тока может либо нагревать область контакта с устройством (актуально при отрицательной температуре окружающей среды), либо охлаждать его [8].

В зависимости от назначения и области использования передатчиков на основе полупроводниковых лазеров к системам охлаждения

предъявляются различные требования, но в основном выделяют следующие: диапазон регулирования температуры, не хуже – от 5 до 45 °С; дискретность подстройки температуры, не хуже – 0,01 °С.

В докладе представлена разработанная система охлаждения источника оптического излучения. Приведена структурная схема устройства управления элементом Пельтье, позволяющая обеспечить требования дискретности подстройки температуры не хуже 0,01 °С в диапазоне температур от 5 до 45 °С.

Материалы и методы исследования

Моделирование и исследование режима работы преобразователей напряжения, включенных в схему, проводилось в среде моделирования SPICE «Multisim». Разработка схемы электрической принципиальной и трассировка печатной платы выполнены в среде «Altium Designer».

Результаты исследования

Разработанная структурная схема системы охлаждения представлена на рисунке 1.

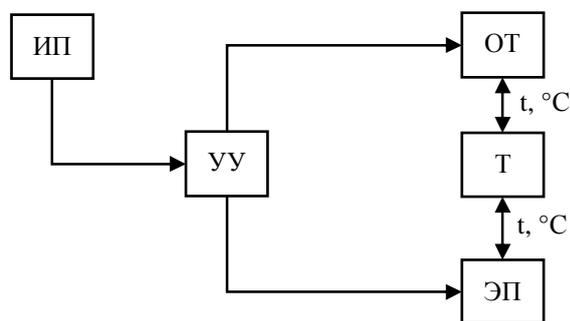


Рис. 1. Структурная схема системы охлаждения лазера: ИП – источник питания; УУ – устройство управления; Т – термистор; ОТ – объект термостатирования; ЭП – элемент Пельтье

Объектом термостатирования выбраны кристаллы DFB и DBR лазеров с потребляемой мощностью не более 1 Вт, которые монтируются на одну из обкладок элемента Пельтье. Между лазером и элементом Пельтье устанавливается термистор для контроля температурного режима.

В общем случае структура представляет собой систему с замкнутым контуром. При помощи термистора измеряется температура контролируемого объекта (в нашем случае – источника оптического излучения). Этот сигнал фактической температуры усиливается и срав-

нивается с заданным значением температуры. Затем устройство управляет током элемента Пельтье для поддержания постоянной температуры объекта. В зависимости от результата измерения температуры в области размещения термистора микроконтроллер при помощи ШИМ сигнала задает на мостовом драйвере (МД) значение напряжения и управляет логикой включения элемента Пельтье.

Структурная схема устройства управления представлена на рисунке 2.

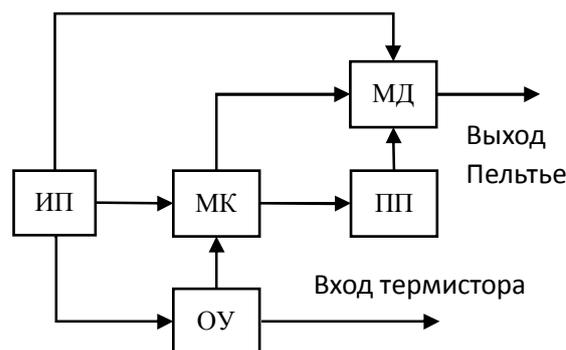


Рис. 2. Структурная схема устройства управления: ИП – источник питания; МК – микроконтроллер; ОУ – операционный усилитель; МД – мостовой драйвер; ПП – понижающий преобразователь

В качестве микроконтроллера выбрана микросхема STM32, которая предназначена для формирования управляющих ШИМ сигналов и измерения температуры термистора. Для управления элементом Пельтье используется мостовой драйвер DRV8837, который управляется ШИМ сигналом, поступающим с МК. Разработанное устройство управления отвечает главному требованию – за счет наличия обратной связи микроконтроллер в автоматическом режиме управляет работой элемента Пельтье таким образом, чтобы на охлаждаемом элементе поддерживался стабильный температурный режим. Мостовой драйвер обеспечивает выходной ток до 1,8 А в диапазоне от 1,8 до 7 В. На рисунке 3 представлен печатный узел устройства управления элементом Пельтье.



Рис. 3. Печатный узел устройства управления элементом Пельтье

Разработанный печатный узел устройства управления находится на стадии изготовления и после его производства планируется ряд экспериментальных измерений для подтверждения заявленных характеристик.

Заключение

В результате разработано устройство управления элементом Пельтье в составе системы охлаждения источника оптического излучения. Устройство управления отвечает требованиям обеспечения дискретности подстройки температуры не хуже $0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$ в диапазоне температур от 5 до $45\text{ }^{\circ}\text{C}$.

После проведения экспериментальных измерений и подтверждения заявленных характеристик планируется изготовление устройства управления в виде модулей для возможности их монтирования методом поверхностного монтажа и применения в составе волоконно-оптических систем передачи.

Список литературы

1. Костин А.В. Методика и средства оценки воздействия электромагнитного поля электростатического разряда на бортовую аппаратуру космических аппаратов : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Самара, 2015. – 16 с.
2. Шилкин В.Е. Использование Систем в Корпусе при проектировании бортовой радиоаппаратуры космических аппаратов // Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций: "РТ-2015" Материалы 11 международной молодежной научно-технической конференции. – Севастополь : Севастопольский гос. ун-т, 2015. – С. 191.
3. Дементьев А.Н. Исследование электромагнитной совместимости спутниковой навигационной системы ГЛОНАСС с орбитальными источниками непреднамеренных радиопомех : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.13.01. – Ижевск, 2011. – 17 с.
4. Колядинцев В.А. Использование интерфейса Fiber channel для обмена видеоинформацией в бортовых системах // Вестник Новгородского гос. ун-та. – 2005. – № 30. – С. 93–99.
5. Беляев И.Д. Разновидности оптических передатчиков // Инновации в науке. – 2018. – № 6(82). – С. 48–51.
6. Князьков А.В. Влияние температуры на когерентность излучения полупроводниковых лазеров // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Физико-математические науки. – 2013. – № 4-1(182). – С. 93–99.
7. Косицын А.А. Перспективные методы охлаждения полупроводниковых источников оптического излучения. // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – №4. – URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=13927> (дата обращения: 27.04.2023).
8. Петров А.А. Элементы Пельтье как охлаждающие элементы микросхемы // Сборник тезисов докладов XLIV Международной молодежной научной конференции Гагаринские чтения – 2018. – Москва-Байконур-Ахтубинск, 2018. – Т. 2. – С. 314–315.

Формирование луча с использованием трехмерной антенной решетки

М. Исса

Научный руководитель: докт. физ.-мат. наук Д.Я. Суханов

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск

E-mail: mahmoud.eissa@stud.tsu.ru

Аннотация: В этой работе представлено формирование луча с использованием трехмерных антенных решеток путем управления размещением антенн. Два параметра используются для фокусировки передаваемой мощности в определенном направлении: расстояние между элементами в каждой двумерной антенной решетке и расстояние между последующими плоскостями трёхмерной решётки. Результаты показывают, что применение трёхмерных антенных решёток позволяет уменьшить уровень боковых лепестков.

Ключевые слова: формирование луча, трехмерная антенная решетка, уровень боковых лепестков, пассивные ретрансляторы.

Введение

Способность антенной решетки фокусировать передаваемую волну в заданном направлении необходима для максимизации эффективности передачи мощности [1]. Один из предлагаемых методов формирования диаграммы направленности заключается в использовании трехмерной антенной решетки. В [2] предложена линейная решетка гидрофонов, установленная на бесконечной жесткой цилиндрической перегородке, чтобы добавить возможность управления наклоном луча в определенном диапазоне зенитных углов. В [3] предложена трехмерная решетка, состоящая из 100 дипольных антенн (по 25 антенн в каждой двумерной плоской решетке). Каждая антенна передает сумму из 50 сигналов, каждый из которых имеет разную частоту. Эта разница в частоте используется как дополнительная степень свободы, которая позволяет сфокусировать общую диаграмму направленности луча в точку в пространстве.

В этой работе исследуется возможность достижения формирования диаграммы направленности путем управления размещением антенн в трехмерных антенных решетках. Кроме того, вводится и исследуется формирование диаграммы направленности с использованием пассивных ретрансляторов.

Материалы и методы исследования

Цель состоит в том, чтобы добиться формирования диаграммы направленности путем управления размещением антенн в однородной антенной решетке $8*8*8$ (8 плоскостей антенн,

в каждой плоскости $8*8=64$ антенны). Трехмерная конфигурация антенны показана на рисунке 1.

Поскольку антенные решетки однородны, то для достижения формирования диаграммы направленности используются два параметра: расстояние между элементами (d_T) и расстояние между соседними плоскостями антенны (s), как показано на рисунке 1.

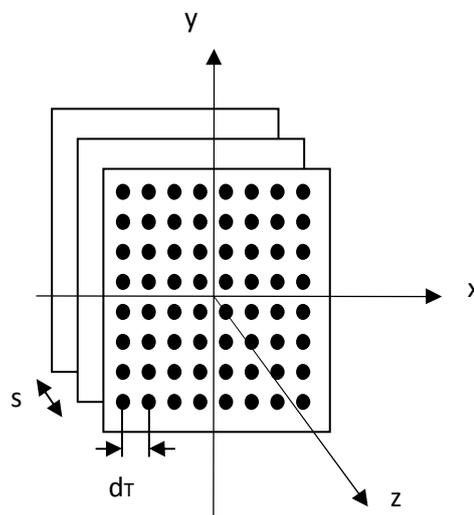


Рис. 1. Предлагаемая трехмерная конфигурация антенной решетки

Расстояние между элементами с плоскости менее $0,51\lambda$ обеспечивает меньшую направленность и большую ширину луча на половинной мощности (HPBW). Следовательно, расстояние между элементами, равное или превышающее $0,51\lambda$, подходит для достижения бо-

лее высокой направленности для приложений с большими антенными решетками [4]. Однако расстояние между элементами также влияет на уровень боковых лепестков. на стороне приемника, только для двумерной антенной решетки в передатчике и приемнике, расстояние между главным лепестком и боковыми лепестками определяется согласно [5]:

$$d_T \cdot d_R = \frac{\lambda Z}{N_R} \quad (1)$$

Где d_T – межэлементное расстояние в передатчике; d_R – расстояние между лепестками на приемной стороне; λ – длина волны; Z – расстояние между передатчиком и приемником. N_R – количество антенн в приемнике.

Результаты исследования

Для, $N_R = 1$ (фокусировка диаграммы направленности в одну точку пространства), $f = 2 \text{ ГГц}$, $Z = 50 \text{ м}$ и для того, чтобы получить узкую ширину луча, межэлементное расстояние выбирается равным $d_T = 10\lambda$, затем с помощью (1) $d_R = 5 \text{ м}$.

На рисунке 2 видно, что боковые лепестки имеют большую нормированную амплитуду и расстояние между лепестками, равное 5 м по осям x и y.

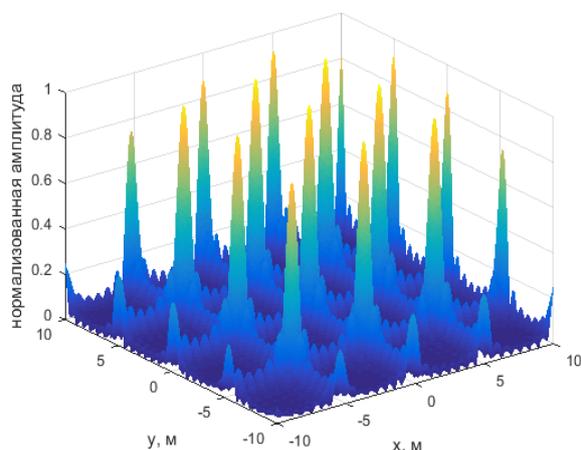


Рис. 2. Основной и боковые лепестки в случае двумерной антенной решетки в передатчике и и фокусировке поля на дальность 50 м в точку ($x=0, y=0$)

Контролируя расстояние (s) в случае трехмерной антенной решетки в передатчике, можно уменьшить уровень боковых лепестков. Если (s) определяется как $s = \alpha\lambda$, параметр (α) может быть выбран экспериментально, чтобы получить минимальный уровень боковых лепестков, как показано на рисунке 3.

На рисунке 3 минимальный уровень боковых лепестков получен для $\alpha = 50$. При использовании $s = 50\lambda$ картина дальнего поля показана на рисунке 4. Однако использование трехмерных антенных решеток не меняет ширину главного луча. уменьшение ширины главного лепестка может быть достигнуто за счет смещения некоторых плоскостей антенны для увеличения размера апертуры антенной решетки.

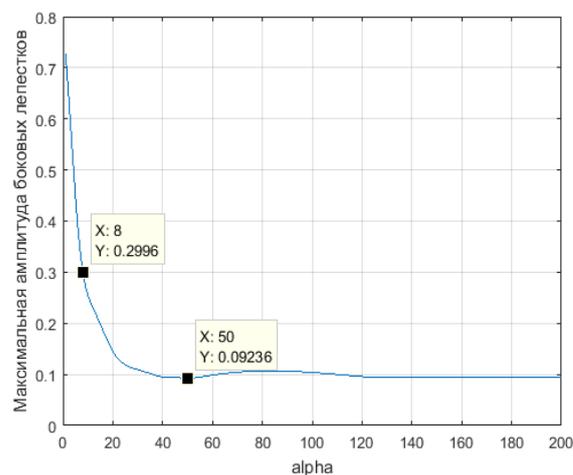


Рис. 3. Изменение уровней боковых лепестков в зависимости от значения (α)

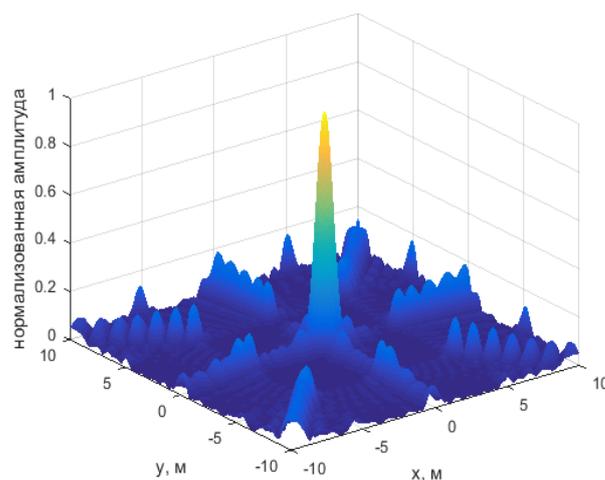


Рис. 4. Диаграмма дальнего поля с использованием трехмерной антенной решетки с $d_T = 10\lambda$ и $s = 50\lambda$

Видно, что затраты на создание луча с использованием трехмерного массива очень высоки. Вместо этого пассивные ретрансляторы могут помочь в формировании диаграммы направленности без необходимости увеличения размера апертуры антенной решетки. Пассивные ретрансляторы предлагаются во многих исследованиях для управления средами распро-

странения для увеличения пропускной способности связи MIMO [6-7]. Распределяя пассивные ретрансляторы между базовой станцией и пользователями (как показано на рисунке 5), можно управлять диаграммой направленности в дальней зоне, чтобы сосредоточить передаваемую мощность в определенном направлении.

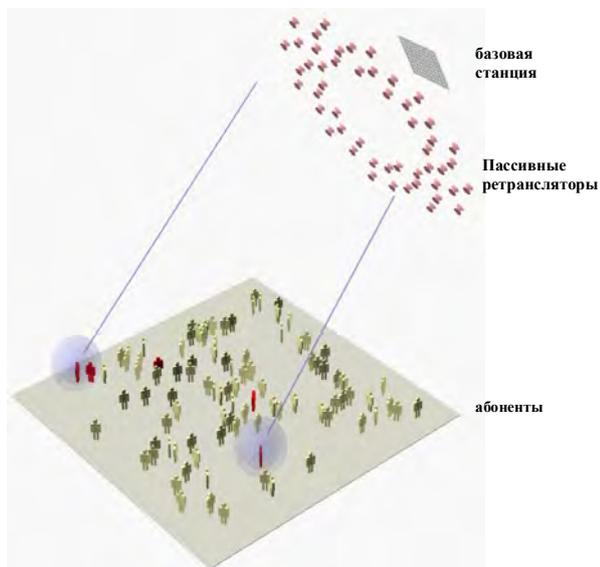


Рис. 5. Формирование луча с использованием 2D пассивных ретрансляторов

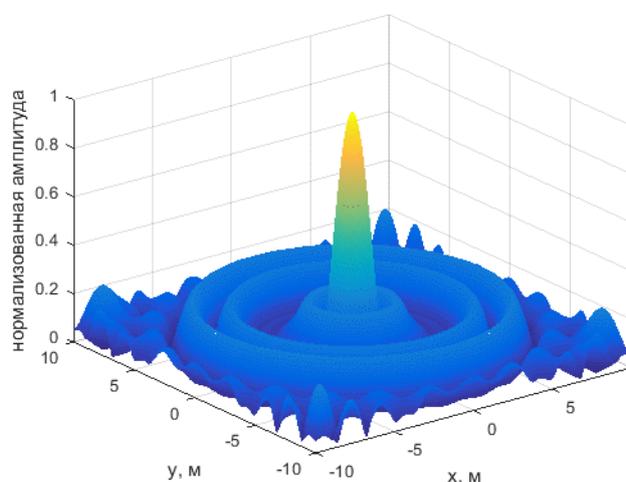


Рис. 6. Диаграмма направленности с использованием двух concentрических круговых массивов ретрансляторов между базовой станцией и пользователями

На рисунке 6 показана схема дальнего поля при использовании двух concentрических кругов массивов пассивных ретрансляторов между базовой

станцией и пользователями. Можно показать, что формирование диаграммы направленности может быть достигнуто с помощью пассивных ретрансляторов без необходимости увеличения размера апертуры антенной решетки.

Заключение

В этой статье представлена возможность формирования диаграммы направленности с использованием трехмерной антенной решетки. Используется однородная антенная решетка и определяются два параметра: расстояние между антеннами в каждой 2D-плоскости и расстояние между плоскостями. Результаты показывают, что формирование луча возможно с использованием 3D-архитектуры, но стоимость его высока из-за увеличения количества антенн.

Список литературы

1. Ali E., Ismail M., Nordin R. et al. Beamforming techniques for massive MIMO systems in 5G: overview, classification, and trends for future research // *Frontiers Inf. Technol. Electronic Eng.* – 2017. – Vol. 18. – P. 753–772.
2. Zhu S., Yang Y., Wang Y. et al. Beamforming with a line array mounted on an infinite rigid cylindrical baffle // *Proceedings of the IEEE International Conference on Signal Processing, Communications and Computing (ICSPCC)*. – 2017. – P. 1–5.
3. Safar M.A., Al-Zayed A.S. A novel three-dimensional beamforming antenna array for wireless power focusing // *Mathematical Problems in Engineering*. – 2016. – P. 1–8.
4. Adnan N.H.M., Rafiqul I.M., Alam A.H.M.Z. Effects of inter element spacing on large antenna array characteristics // *Proc. IEEE 4th Int. Conf. Smart Instrum. Meas. Appl. (ICSIMA)*. – 2017. – P. 1–5.
5. Garcia M.H.C., Iwanow M., Stirling-Gallacher R.A. LOS MIMO design based on multiple optimum antenna separations // *Proc. 2018 IEEE 88th Veh. Technol. Conf.* – 2018. – P. 1–5.
6. Sukhanov D.Y., Eissa M. Manipulating LOS and NLOS MIMO Propagation Environments Using Passive Repeaters // *Progress In Electromagnetics Research M*. – 2021. – P. 195–204.
7. Eissa M., Sukhanov D. Enhancing performance in a LOS MIMO communication using a passive repeater // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2021. – P. 012013.

Влияние механической активации на структурные и магнитные свойства гексаферритов системы $\text{BaCo}_{2-x}\text{Ti}_x\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}$

Р.Д. Капитанов

Научный руководитель: канд. техн. наук Д.В. Вагнер

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск

E-mail: kapitanov5263@gmail.com

Аннотация: Исследовано влияние механической активации на изменение магнитных и структурных свойств гексагональных ферритов Y-типа, синтезированных методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. Представлены зависимости значений намагниченности насыщения и коэрцитивной силы гексаферритов от их химического состава.

Ключевые слова: механическая активация, гексаферрит, намагниченность насыщения, фазовый состав.

Введение

В настоящее время широко используются различные электронные устройства, включая бытовые приборы, измерительное оборудование работающие в диапазоне сверхвысоких частот (СВЧ), компьютеры, антенны и радиостанции, что приводит к увеличению уровня побочного электромагнитного излучения (ПЭМИ). Это может оказывать отрицательное влияние на работу приборов и негативно воздействовать на окружающую среду. Один из способов решения этой проблемы заключается в использовании радиопоглощающих материалов, которые могут эффективно защищать от ПЭМИ [1]. Одними из возможных материалов являются композиты на основе гексаферритов с использованием механической активации для тонкой настройки свойств материалов. Целью этой работы – изучить влияние механической активации на свойства гексаферритов $\text{BaCo}_{2-x}\text{Ti}_x\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}$ с различным содержанием Co и Ti.

Материалы и методы

Порошок гексаферрита $\text{BaCo}_{2-x}\text{Ti}_x\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}$ (Y тип) был синтезирован методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС), который подробно описан в работе [1]. Для дозирования компонентов использовались технические весы Sartorius GP 3100. Смешение компонентов проводилось вручную в фарфоровой ступке до получения однородной массы. Некоторые порошки были подвергнуты механической активации в планетарной мельнице МПВ, где объем стальных барабанов составляет 1000 см, диаметр стальных шаров 0,3-0,4 см и отношение массы шаров к массе порошка равно 20:1. Механическая активация (МА) про-

должалась 3 минуты в атмосфере воздуха при водяном охлаждении. Синтез ферритов проводился на установке, которая представляет собой кварцевую трубку с герметичными металлическими крышками с отверстиями для подвода газа-реагента к реакционной смеси и иницирующей проволокой из нихрома. После иницирования процесса горения полученный продукт реакции измельчался в фарфоровой ступке и подвергался структурным исследованиям. Для создания таблеток диаметром 20 мм использовался ручной гидравлический пресс при давлении 50 кг/см^2 . Полученные таблетки подверглись ферритизации в муфельной печи при температуре 1000 и 1100 °С в течение 2 часов. Затем спеченные образцы, повторно измельченные в фарфоровой ступке, прошли рентгеноструктурный анализ, а также исследование основных магнитных свойств. Исследование магнитных свойств порошков, с различным соотношением Co и Ti, проводился на импульсном магнитометре. Характеристики магнитометра и методика измерения описана в работе [2]. Исследование фазового состава образцов было проведено без предварительной МА и с МА при помощи поликристаллического дифрактометра SHIMADZU XRD-6000. При помощи импульсного магнитометра были получены петли магнитного гистерезиса. Исследование проводили в импульсных магнитных полях до 13 кЭ при температуре 300 К.

Результаты

Полученные результаты показали, что механическая активация способна изменить фазовый состав материала. Важно отметить, что после применения МА (табл. 2) обнаружено увеличение Y-фазы у всех образцов. В то же время,

содержание Fe_3O_4 уменьшилось. Кроме того, М-фаза была обнаружена в меньших количествах. Это связано с тем, что МА приводит к уменьшению размера частиц, изменению их формы и химическому составу. Данные изменения в свою очередь могут приводить к изменению фазового состава материала, т.е. к изменению относительных количеств различных фаз, из которых состоит материал.

Таблица 1. Фазовый состав продуктов по режиму: СВС + обжиг 1000 °С (2 ч.) + обжиг 1100 °С (2 ч.)

Состав феррита	Содержание фаз, об. %		
	Y-фаза	Fe_3O_4	М-фаза
$Ba_2Co_2Fe_{12}O_{22}$	27	41	32
$Ba_2Co_{1,5}Ti_{0,5}Fe_{12}O_{22}$	22	0,5	77
$Ba_2CoTiFe_{12}O_{22}$	18	0	80
$Ba_2Co_{0,5}Ti_{1,5}Fe_{12}O_{22}$	11	0	89

Таблица 2. Фазовый состав продуктов по режиму: МА+СВС + обжиг 1000 °С (2 ч.) + обжиг 1100 °С (2 ч.)

Состав феррита	Содержание фаз, об. %		
	Y-фаза	Fe_3O_4	М-фаза
$Ba_2Co_2Fe_{12}O_{22}$	68	0	31
$Ba_2Co_{1,5}Ti_{0,5}Fe_{12}O_{22}$	91	1	8
$Ba_2CoTiFe_{12}O_{22}$	93	2	5
$Ba_2Co_{0,5}Ti_{1,5}Fe_{12}O_{22}$	90	3	7

Графики зависимости намагниченности насыщения (M_s) и коэрцитивной силы (H_c) приведены без предварительной МА приведены на рисунке 1, а с осуществлением предварительной МА на рисунке 2. После применения предварительной МА намагниченность насыщения образцов понизилась, что связано с уменьшением примесных фаз Fe_3O_4 и М-фаза. Данные фазы имеют более высокие значения M_s . С увеличением содержания Ti, для всех образцов значения M_s возрастали, так как намагниченность $Ba_2Ti_2Fe_{12}O_{22}$ выше, чем $Ba_2Co_2Fe_{12}O_{22}$. Уменьшение H_c для ферритов, синтезированных с предварительной МА, связано с уменьшением содержания магнитотвердой фазы М-типа.

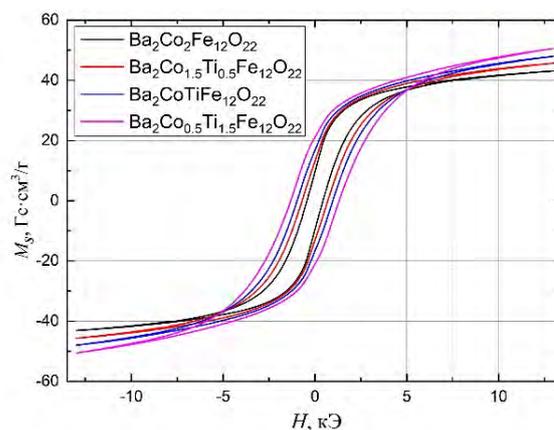


Рис. 1. Петля гистерезиса исследуемых гексаферритов без предварительной МА

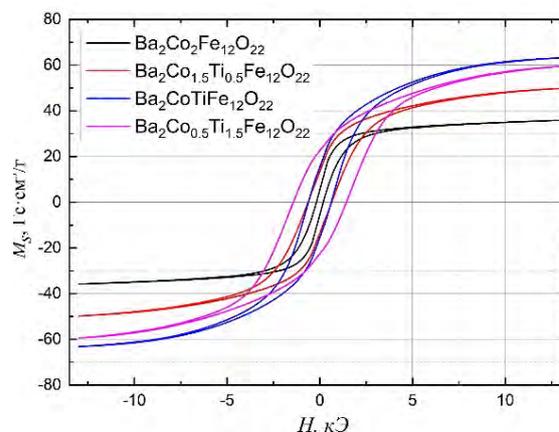


Рис. 2. Петля гистерезиса исследуемых гексаферритов с предварительной МА

Заключение

В ходе исследования было установлено, что МА является эффективным методом изменения фазового состава и магнитных свойств материалов. Применение МА приводит к существенному уменьшению температуры синтеза гексаферритов Y-типа. Полученные результаты показывают, что после механической активации у всех образцов произошло увеличение Y-фазы и уменьшение содержания Fe_3O_4 и М-фазы. Кроме того, показано, что механическая активация может влиять на магнитные свойства материала.

Благодарности

Исследование магнитных свойств гексаферритов проводилось на оборудовании центра коллективного пользования НИ ТГУ «Центр радиофизических измерений, диагностики и исследования параметров природных и искусственных материалов».

Список литературы

1. Вагнер Д.В. Высокочастотные электромагнитные характеристики композитных радиоматериалов

- на основе гексагональных ферритов: дис. ...
канд. тех. наук. – Томск, 2019. – 105 с.
2. Wagner D.V., Kareva K.V., Zhuravlev V.A. et al.
Investigation of BaFe₁₂O₁₉ hexaferrites manufac-
tured by various synthesis methods using a devel-
oped pulsed magnetometer // Inventions. – 2023. –
Vol. 8(1). – P. 26.

Микроволновые характеристики композитных магнитоэлектрических мультиферроиков

В.В. Лемешов

Научный руководитель: канд. техн. наук Д.В. Вагнер

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск

E-mail: lemeshov.vlad01@mail.ru

Аннотация: На основе гексаферрита $\text{Ba}_3\text{Co}_{1,9}\text{Ti}_{0,4}\text{Fe}_{23,7}\text{O}_{41}$ и сегнетоэлектрика BaTiO_3 были изготовлены композитные материалы. С помощью импульсного магнитометра были получены их магнитные свойства. На векторном анализаторе цепей Р4М-18 исследованы спектры диэлектрической и магнитной проницаемостей образцов композиционных материалов и дана оценка их радиопоглощающим характеристикам.

Ключевые слова: радиопоглощающее покрытие, гексаферрит, сегнетоэлектрик, магнитная проницаемость, диэлектрическая проницаемость, композитный материал, мультиферроик.

Введение

Развитие техники связи значительно упрощает обработку, передачу и хранение информации. Новая аппаратура, в основном, работает в сверхвысокочастотном диапазоне частот (СВЧ). В результате передачи информации при помощи электромагнитных волн может происходить её утечка и фальсификация. Для устранения подобных ситуаций, на объектах обработки информации необходимо использовать радиоматериалы, эффективно взаимодействующие с электромагнитным полем (ЭМП). Это позволит значительно уменьшить контролируемые зоны объекта. В связи с этим возникает необходимость разработки и исследования новых материалов, которые способны поглощать или отражать электромагнитное излучение.

Цель данной работы заключается в изготовлении и исследовании электромагнитных свойств мультиферроиков на основе гексаферрита $\text{Ba}_3\text{Co}_{1,9}\text{Ti}_{0,4}\text{Fe}_{23,7}\text{O}_{41}$ ($\text{Co}_{1,9}\text{Ti}_{0,4}\text{Z}$) и сегнетоэлектрика BaTiO_3 .

Методы и материалы исследования

Для получения порошка гексаферрита $\text{Co}_{1,9}\text{Ti}_{0,4}\text{Z}$ была применена стандартная керамическая технология синтеза, которая подробно описана в работе [1]. В качестве сегнетоэлектрической фазы использовался BaTiO_3 , произведенный компанией ООО «НеваРеактив». Размеры частиц порошков обоих материалов были менее 50 мкм.

В ходе исследования было изготовлено 5 образцов композитных материалов с различным соотношением масс гексаферрита $\text{Co}_{1,9}\text{Ti}_{0,4}\text{Z}$ и сегнетоэлектрика BaTiO_3 . В качестве связующе-

го материала (матрицы) использовался эпоксидный клей марки ЭД-20.

Для избежания образования агломератов и градиента наполнителя смесь порошков и эпоксидный клей тщательно перемешивалась механическим методом в пластиковой форме в массовом отношении 70%:30%, до однородного состояния. Затем полученная смесь помещалась в форму из фторопласта диаметром 7 мм и высотой 5 мм, для дальнейшей полимеризации. После полного застывания композита образцы извлекались из формы, для дальнейшей их обработки в тороидальную форму. Для удобства измерений, размеры образцов соответствовали размеру измерительной коаксиальной ячейки

Исследования магнитных свойств смеси порошков $\text{Co}_{1,9}\text{Ti}_{0,4}\text{Z}$ и BaTiO_3 , проводились при температуре 300 К в импульсных магнитных полях до 13 кЭ, для их исследования использовался импульсный магнитометр. Методика измерений и характеристики устройства описаны в работе [2]. Анализ фазового состава, проведенный на поликристаллическом дифрактометре SHIMADZU XRD-6000, показал, что основная фаза Z-типа в материале составила более 90%.

Измерение коэффициентов диэлектрической и магнитной проницаемости, изготовленных композиционных материалов, проводили на векторном анализаторе цепей Р4М-18 (АО НПФ МИКРАН, г. Томск, Россия). Внешний диаметр изготовленных образцов составил 7 мм, внутренний диаметр составил 3 мм, высота составила 3 мм.

Исследование магнитных свойств гексаферритов проводилось на оборудовании центра коллективного пользования НИ ТГУ «Центр

радиофизических измерений, диагностики и исследования параметров природных и искусственных материалов».

Результаты

Основные магнитные свойства (намагниченность насыщения (M_s) и коэрцитивная сила (H_c)) представлены в таблице 1.

Таблица 1. Состав наполнителя и магнитные свойства композиционных материалов

№	$\text{Co}_{1,9}\text{Ti}_{0,4}\text{Z}$, масс. %	BaTiO_3 , масс. %	M_s , Гс·см ³ /Г	H_c , Э
1	100	0	57,76	101
2	90	10	52,46	121
3	80	20	46,64	152
4	70	30	38,54	204
5	60	40	32,63	309

Из полученных результатов видно, что все образцы демонстрируют малые значения коэрцитивной силы. Это объясняется тем, что гексаферрит $\text{Co}_{1,9}\text{Ti}_{0,4}\text{Z}$ является магнитомягким материалом. Увеличение концентрации сегнетоэлектрика BaTiO_3 приводит к препятствию вращения магнитных доменов при намагничивании магнитных частиц гексаферрита, что приводит к росту коэрцитивной силы. Уменьшение магнитной фазы наполнителя приводит к понижению намагниченности насыщения.

На рисунках 1 и 2 представлены комплексные диэлектрические (ДП) и магнитные (МП) проницаемостей исследуемых образцов.

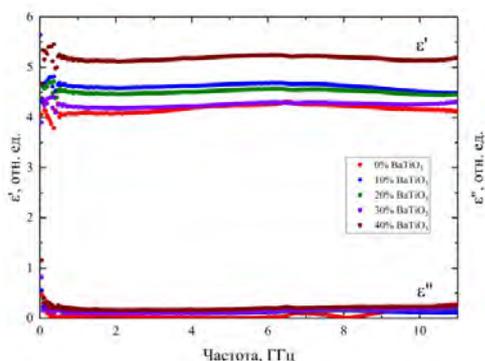


Рис. 1. Спектры диэлектрической проницаемости

Действительные значения ДП, за исключением образца с 40 масс. % BaTiO_3 , примерно равны $\epsilon' \approx 4 - 4,5$ отн. ед. во всем диапазоне частот. Мнимые значения ДП не имеют ярко

выраженных особенностей и приблизительно равны $\epsilon'' \approx 0,1 - 0,3$ отн. ед. Увеличение ϵ' для композита с 40 масс. % BaTiO_3 связано с наиболее высоким содержанием сегнетоэлектрической фазы. В композитах присутствует только электронная поляризация, об этом свидетельствует отсутствие дисперсионных областей ДП. Действительная часть МП образцов составила $\mu' \approx 2,4 - 2,6$ отн. ед. При повышении частоты их значения уменьшаются до 1.

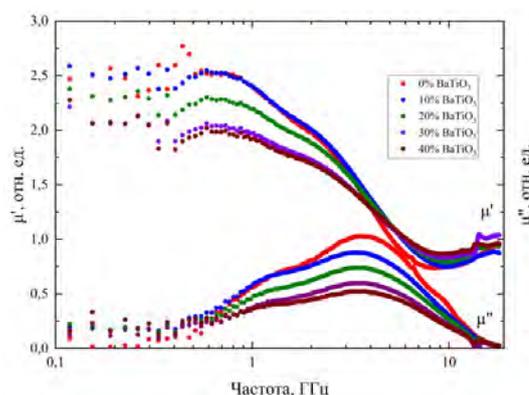


Рис. 2. Спектры магнитной проницаемости

На спектрах мнимой части МП наблюдаются две области дисперсии, вызванные резонансом доменных границ на частоте 1,2 ГГц и естественным ферромагнитным резонансом (ЕФМР) на частоте 3,8 ГГц.

Заключение

В работе приведены исследования магнитных свойств, спектры ДП и МП композитных материалов на основе гексаферрита $\text{Co}_{1,9}\text{Ti}_{0,4}\text{Z}$ и сегнетоэлектрика BaTiO_3 . Высокие значения μ'' , которые характеризуют потери в композите, позволяют сделать вывод, что разрабатываемые материалы, применимы для решения задач электромагнитной совместимости. Добавление сегнетоэлектрика в композит, приводит к смещению объемного резонанса в материале в область более низких частот.

Список литературы

1. Вагнер Д.В. Высокочастотные электромагнитные характеристики композитных радиоматериалов на основе гексагональных ферритов: дис. ... канд. техн. наук. – Томск, 2019. – 105 с.
2. Wagner D.V., Kareva K.V., Zhuravlev V.A. et al. Investigation of $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ hexaferrites manufactured by various synthesis methods using a developed pulsed magnetometer // Inventions. – 2023. – Vol. 8, Is. 1. – P. 26.

Исследование электромагнитных характеристик материалов на основе порошков меди для обеспечения электромагнитной совместимости высокочастотной аппаратуры

В.В. Масунов, Т.В. Шершнев, Ю.Н. Гладков

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук Е.Ю. Коровин

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск

E-mail: masunovvv@mail.ru

Аннотация: В работе представлены результаты экспериментального исследования электромагнитных характеристик композиционных эластомеров на основе полимерного связующего и введенного порошка меди различной концентрации. Проведено моделирование влияния технологического зазора в корпусе высокочастотной аппаратуры на электромагнитную совместимость системы с установленными в зазоре эластомерами и без.

Ключевые слова: композиционный эластомер, экранирование, диэлектрическая проницаемость, моделирование, кластер.

Введение

Обеспечения электромагнитной совместимости высокочастотной аппаратуры специального и гражданского назначения имеет важное научно-практическое значение. Продвижение в высокочастотную область и стремление к миниатюризации, приводит к увеличению количества радиоэлектронных компонентов на единице площади, что в свою очередь повышает возможность взаимодействия отдельных блоков аппаратуры между собой. Данный факт может негативно сказываться на работе смежных блоков за счет образования помех при превышении ею пороговых уровней. Основным методом в устранении влияния помехоизлучающих блоков является экранирование.

В процессе изготовления экранирующих корпусов аппаратуры неизбежно возникают паразитные неоднородности в виде щелей или зазоров. Это приводит к образованию разности потенциалов между элементами корпуса и образованию диполя, который оказывает паразитное влияние на электромагнитную совместимость. Также появление неоднородностей связано с дальнейшей технологией изготовления корпуса (например, толщина антикоррозийного покрытия магниевых сплавов составляет 20-30 мкм). Выходом из данной ситуации является электромагнитная герметизация корпусов с помощью прокладок из проводящих эластомеров. Трудности при разработке и изготовлении таких материалов связаны со сложностью предсказания их электромагнитных свойств, которые будут зависеть от целого ряда параметров, таких

как активная фаза, концентрация, частотные зависимости комплексных значений электромагнитных характеристик.

В связи с выше сказанным целью данной работы является разработка и исследование материала применяемого для обеспечения электромагнитной герметизации блоков высокочастотной аппаратуры [1].

Материалы и методы исследования

В работе исследовались свойства эластомеров на основе силиконовой смеси и электропроводящего порошка меди с различной концентрацией. Синтез материалов проводился на базе фирмы ООО «МК-Электрон».

Для исследования комплексных значений диэлектрической проницаемости синтезированных материалов использовалось оборудование ЦКП «Центр радиоизмерений ТГУ», в частности резонаторной метод на основе векторного анализатора цепей [2,3].

Моделью исследования выбран куб с размером ребра 100 мм. Моделирование проводилось с помощью программного обеспечения CST STUDIO SUITE с настройками типа: источник – дискретный порт с импедансом 50 Ом; тип зондирующего сигнала – гауссиан длительностью 1 нс; частота излучения сигнала от 3 до 15 ГГц; 486720 ячеек; гексагональный тип разбиения, обусловленный выбором типа расчета во временной области, который выполняет расчет проектируемого устройства в широком диапазоне частот после расчета единственной переходной характеристики (в отличие от частотно-

го метода, который требует запуск расчета на всех частотных точках).

Результаты исследования

На рисунке 1 представлены спектры комплексной диэлектрической проницаемости для синтезированных материалов, которые впоследствии использовались при моделировании электромагнитной герметизации.

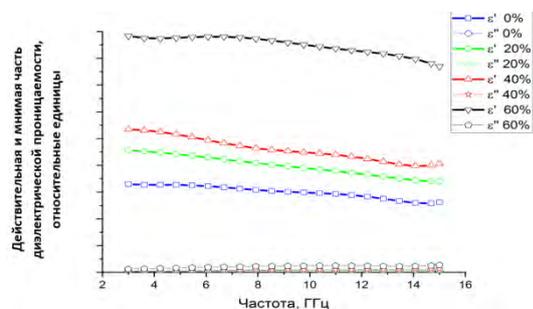


Рис. 1. Спектры комплексной диэлектрической проницаемости (ДП) синтезированных материалов (ϵ' – действительная часть ДП, ϵ'' – мнимая часть ДП)

Как и следовало ожидать, увеличение концентрации порошка меди приводит к увеличению значений величины диэлектрической проницаемости, что связано с образованием объемных проводящих кластеров. При концентрации в 80 % материал становится проводящим со значением электрической проводимости 16,477 См/м, которое и использовалось при дальнейшем моделировании.

На рисунке 2 представлен график значений S_{11} модели электродинамической системы (А) с указанием расположения пробника (Б) электрической составляющей в зависимости от концентрации порошка меди в материале.

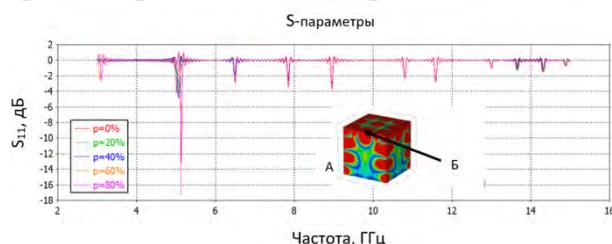


Рис. 2. График коэффициента отражения S_{11} модели электродинамической системы (А) и место установки пробника (Б) электрической составляющей при различной концентрации порошка меди (р)

Видно, что интенсивность электрического поля максимальна в месте технологического зазора, что вероятно связано с образованием щелевой антенны, носящий резонансный характер. Кроме того, уменьшение значения S_{11}

существенно зависит от концентрации проводящего компонента.

На рисунке 3 представлены результаты моделирования напряженности электрического поля в месте установки пробника в случаях минимальной и максимальной концентрации проводящих включений.

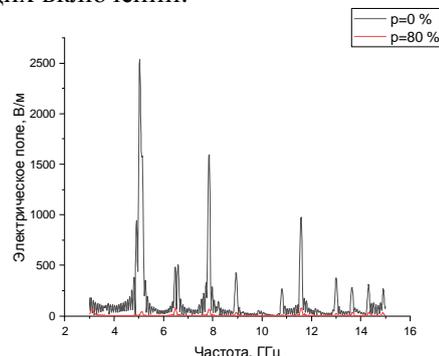


Рис. 3. Результаты моделирования напряженности электрического поля в месте установки пробника

Как видно из рисунка 3, с увеличением концентрации поле в месте пробника уменьшилось значительно, практически в 50 раз.

Заключение

Из полученных результатов видно, что введение в эластомер проводящих включений позволяет снизить величину паразитного излучения с 2500 В/м до 50 В/м (до 50 раз), в зависимости от концентрации проводящих включений.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-29-00686, <https://rscf.ru/project/23-29-00686>.

Список литературы

1. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // *Авиационные материалы и технологии*. – 2015. – №1 (34). – С. 3-33.
2. Sengupta J. Application of carbon nanomaterials in the electronic industry // *Handbook of Nanomaterials for Manufacturing Applications*. – Elsevier Inc., 2020. – P. 421-450.
3. Kuzhir P., Paddubskaya A., Bychanok D., Uubimau. A., Olona A., Fierro V., Celzard V. 3D-printed, carbon-based, lossy photonic crystals: Is high electrical conductivity the must? // *Carbon*. – Vol. 171. – P. 484-492.

Устройство сбора данных о концентрации углекислого газа в окружающей среде

И.Н. Минин, А.В. Перевалов

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук А.В. Бадьин

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск

E-mail: ilya.kirit@gmail.com

Аннотация: В данной работе описывается разработанное устройство для измерения концентрации углекислого газа в атмосфере. Устройство основано на использовании недисперсионного инфракрасного датчика CO₂ и позволяет получать большие объемы данных о концентрации углекислого газа в окружающей среде для точного и непрерывного мониторинга тенденции изменения содержания парниковых газов. Представлена концепция и структура программно-аппаратного комплекса, который используется для мониторинга уровня углекислого газа в окружающей среде.

Ключевые слова: мониторинг, парниковые газы, MH-Z14A, LoRa, концентрация, углекислый газ, широко-импульсная модуляция.

Введение

Для прогнозирования потенциальной угрозы для человечества, связанной с изменением окружающей среды, необходимо точно и количественно оценить концентрацию парниковых газов. Идеальный метод оценки должен обеспечивать высокую точность, быстроту измерения и минимальную стоимость. В состав парниковых газов входят три основных компонента: водяной пар (H₂O), метан (CH₄) и углекислый газ (CO₂). Наибольшее влияние на окружающую среду оказывает водяной пар, который составляет более 60% от общего эффекта на планету [1] и диоксид углерода. Выбросы CO₂ поступают в атмосферу из жилых и коммерческих помещений, выхлопных газов транспортных средств и промышленных предприятий, занятых переработкой топлива в тепло. Рост концентрации углекислого газа может вызывать негативные последствия, такие как повышение температуры и ухудшение качества воздуха. Диоксид углерода блокирует передачу геотермальной энергии в атмосферу, что приводит к отражению тепла от границы атмосферы. Сокращение выбросов CO₂ в окружающую среду может помочь снизить негативные последствия [2].

Для достижения высокой точности и количественной оценки концентрации парниковых газов, предлагается использовать систему из устройств сбора данных о концентрации углекислого газа, оборудованных датчиками температуры, углекислого газа и влажности. Эта система позволит контролировать концентрацию парниковых газов в различных слоях атмосфе-

ры и предоставить данные для дальнейшего прогнозирования потенциальной угрозы для окружающей среды.

Методы и материалы исследования

Устройство сбора данных о концентрации углекислого газа выполнено на основе агрозонада [3]. Как и зонд, устройство спроектировано таким образом, что его можно легко как смонтировать, так и демонтировать для текущего обслуживания.

Тестирование устройства сбора концентрации углекислого газа проходило в помещении с людьми и включенными компьютерами, в котором раз в некоторое время происходила вентиляция воздуха по средствам открытия дверей и окон, также устройство работало на улице.

Результаты исследования

Для измерения концентрации CO₂ в устройстве используется датчик MH-Z14A (Zhengzhou Winsen Electronics Technology, Китай), который выдает сигнал с широко-импульсной модуляцией пропорциональный концентрации диоксида углерода. Также для большей функциональности в устройство встроены датчики атмосферного давления, относительной влажности воздуха и температуры воздуха. Обработку данных с датчиков осуществляет микроконтроллер Atmega328P, работающий при напряжении питания 3В. Для датчика MH-Z14A предусмотрен преобразователь напряжения с 3 до 4,5 В. Дальность передачи данных варьируется от 3 до 7 км за счет использования модуляции LoRa приемопередатчиком и типа установлен-

ной антенны [4]. Питание осуществляется от двух литий-ионных аккумуляторных батарей, которые заряжаются в дневное время от поликристаллической солнечной панели. Структура устройства приведена на рисунке 1.



Рис. 1. Структура устройства сбора данных о концентрации углекислого газа

Датчик углекислого газа МН-Z14А (рисунок 2) использует недисперсионный инфракрасный анализатор (NDIR) принцип обнаружения наличия CO_2 в воздухе, имеет хорошую селективность, не зависящий от кислорода.

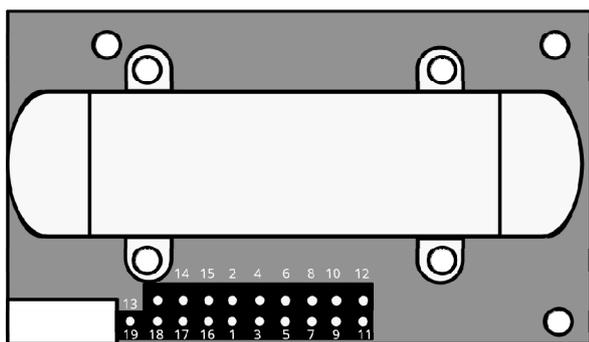


Рис. 2. Внешний вид датчика углекислого газа

В датчике предусмотрено технологическое окно, через которое поступает окружающий воздух в измерительную камеру. Через измеряемый газ пропускается инфракрасное (ИК) излучение, генерируемое ИК лампой и отфильтрованное интерференционным фильтром до узкого диапазона поглощения углекислого газа. Фильтр предотвращает получение ИК-детектором волн с другой длиной волны поглощения газа, отличного от CO_2 . Инфракрасный детектор считывает интенсивность света и преобразует его в значение концентрации газа, измеряющееся в частях на миллион (ppm) [5]. Этот датчик имеет позолоченную камеру с водонепроницаемым и антикоррозийным покрытием. Обладает высокой чувствительностью с высоким разрешением, хорошей стабильностью. Как и у всех газов, концентрация, углекислого газа, зависит от давления и температуры,

в датчике реализована система температурной компенсации, что убирает данную проблему. Также выполнена система защиты от воздействия водяного пара.

Датчик может передавать данные о концентрации CO_2 через аналоговый сигнал, через универсальный асинхронный приемопередатчик (УАПП) и сигнал с ШИМ (широтно-импульсной модуляцией). В данном устройстве используется второй вариант передачи данных, а именно сигнал с ШИМ. Реализовано это из-за технических характеристик базовой платформы, на основе которой было выполнено устройство сбора данных о концентрации CO_2 .

На рисунке 3 приведены данные временной зависимости концентрации углекислого газа в помещении и на улице.

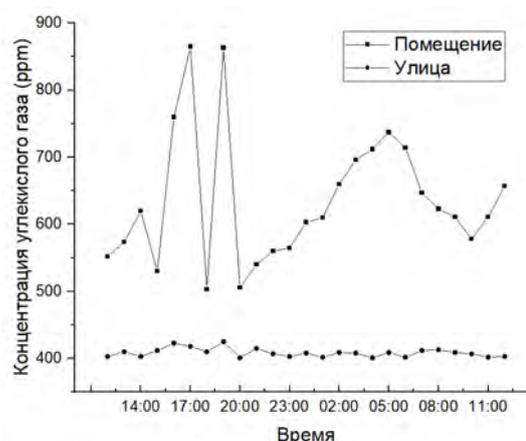


Рис. 3. Динамика концентрации углекислого газа в помещении и на улице

На улице значение концентрации CO_2 находится в одном диапазоне с небольшими отклонениями, а в помещении со временем углекислый газ увеличивается, а затем уменьшается в следствии открытия окон и двери. При детальном рассмотрении можно заметить в левой части графика два узких пика, а в правой один широкий. Узкие пики связаны с большой концентрацией людей в помещении, широкий же в свою очередь связан с нахождением одного человека в помещении и открытой дверью.

Заключение

В приведенной статье описано устройство сбора данных о концентрации углекислого газа и проиллюстрирована структура подключения периферийных компонентов к микроконтроллеру устройства. Описан недисперсионный инфракрасный анализатор CO_2 МН-Z14А и принцип его работы, а также продемонстрирована его работоспособность по средствам апробации, которая проводилась для наглядности в помещении и на улице.

Список литературы

1. Гашо Е.Г., Гужов С.В., Белобородова А. С., Гуква Н.В. Влияние выбросов водяного пара от работы ТЭЦ, котельных и автотранспорта на локальные климатические изменения и климатическую адаптацию мегаполиса на примере Москвы // Надежность и безопасность энергетики. – 2019. – Т. 12, № 3 – С. 190–199.
2. Lo.E. Mitchella, J.C. Lina, D.R. Bowling, D.E. Pataki, C. Strong, A.J. Schauer, R. Bares, S.E. Bush, B.B. Stephens, D. Mendoza, D. Mallia, L. Holland, K.R. Gurney, J.R. Ehleringer. Long-term urban carbon dioxide observations reveal spatial and temporal dynamics related to urban characteristics and growth // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. – 2003. – No. 115(12). – P. 2912–2917.
3. Казанин В.А., Минин И.Н., Ситников С.А. Бадьин А.В. Автономная сеть устройств удаленного мониторинга почвенно-климатических параметров в сельском хозяйстве // Электронные средства и системы управления. – 2022. – Т. 2 – С. 235–237.
4. Смольянинов И. Новая технология связи для беспроводных АСКУЭ // Энергетика и промышленность России. – 2016. – № 01-02. – С. 28.
5. Intelligent Infrared Carbon Dioxide Module (Model: MH-Z14A): User manual. – URL: <https://doc.platan.ru/pdf/datasheets/winsensor/mh-z14a.pdf> (дата обращения 26.03.2023).

Параметрическая и структурная оптимизация генетическим алгоритмом печатной платы с двуслойным диэлектриком

С.Р. Морозов, А.В. Медведев

Научный руководитель: докт. техн. наук, доцент Т.Р. Газизов

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, г. Томск

E-mail: pred11072@yandex.ru, medart20@rambler.ru, talgat@tu.tusur.ru

Аннотация: Выполнена оптимизация структур на внешнем и внутреннем слоях, по критериям максимальной разности погонных задержек ($\Delta\tau_{\max}$) с учетом согласования и без. Получены соответствующие наборы параметров, для достижения данных критериев в каждой из структур. Далее выполнялась оптимизация параметров ПП, на которой расположены обе структуры по критериям $\Delta\tau_{\max}$ и согласования. Получены наборы параметров, при которых достигается $\Delta\tau_{\max}$ в обеих структурах, а также примерно достигается согласование R структур с трактом 50 Ом.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, печатная плата, модальное резервирование, генетический алгоритм.

Введение

При создании печатных плат (ПП) критичной радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) большое внимание уделяется электромагнитной совместимости (ЭМС) и функциональной безопасности электронных схем [1]. Кардинальным методом повышения функциональной безопасности является резервирование. Холодное резервирование отличается от горячего тем, что при отказе резервируемой системы выполняется переключение на выключенную резервную систему. Однако, от воздействия систематических электромагнитных помех (ЭМП) резервирование не защищает, так как при отказе резервируемой системы из-за воздействия ЭМП откажет и резервная система.

Большую опасность представляют сверхкороткие импульсы (СКИ), которые несут большую энергию при маленькой длительности. Для предотвращения влияния СКИ используются технология на основе модальной фильтрации (МФ) [2]. Модальное резервирование – это подход к компоновке и трассировке резервируемых проводников системы с холодным резервированием, при котором реализуется модальная фильтрация [3].

Существует ряд способов компоновки и трассировки проводников ПП с МР [4]. Их недостатком является сложность в трассировке проводников с большим количеством цепей электронной схемы. Разработан способ трассировки проводников на внешних и внутренних слоях многослойной ПП [5], который отличается наличием проводников на внешнем и внутреннем слоях ПП. Данный способ позволяет

выполнять трассировку проводников электронных схем с большим количеством компонентов.

В предыдущих работах, посвященных оптимизации структур данного способа компоновки, были получены наборы параметров, определенные эвристическим поиском (ЭП). Однако, ЭП является неточным способом нахождения оптимальных параметров структур. Более точным и автоматизированным способом является генетический алгоритм (ГА), который создает случайное количество наборов параметров, отбирает из них наиболее оптимальные, скрещивает и повторяет данную процедуру до тех пор, пока не будет выполнен перебор всех особей и поколений, заданных в параметрах поиска.

Таким образом, в данной работе для нахождения наиболее оптимальных наборов параметров, целесообразно выполнить оптимизацию ГА структур с проводниками на внешнем и внутреннем слоях, по критериям максимальной разности погонных задержек ($\Delta\tau_{\max}$) с учетом согласования и без, а также поведилось сравнение с результатами, полученными ЭП.

Материалы и методы исследования

На рисунках 1а и 1б представлены модели поперечного сечения структур на внешнем и внутреннем слоях соответственно, а на рисунке 2 – принципиальная схема. Моделирование выполняется в системе TALGAT [6] без учета потерь в проводниках и диэлектриках. Исходный набор параметров поперечного сечения: ширина сигнального проводника $w=200$ мкм, расстояние между проводниками $s=200$ мкм, толщина проводника $t=18$ мкм, толщина нижне-

го диэлектрического слоя $h_1=200$ мкм, толщина верхнего диэлектрического слоя $h_2=200$ мкм, диэлектрические проницаемости $\epsilon_{r1}=10,2$ и $\epsilon_{r2}=4$.

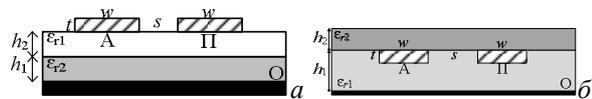


Рис. 1. Поперечные сечения исследуемых структур с проводниками на внешнем (а) и внутреннем (б) слоях

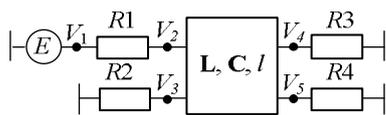


Рис. 2. Принципиальная схема

При оптимизации ГА параметры w, h_1, h_2 для обеих структур изменялись в диапазоне от 100 до 1000 мкм. Параметр s выбран минимально возможным ($s=200$ мкм) для обеих структур, а параметр t для структур на нижнем и верхнем слоях выбраны по 18 и 105 мкм, соответственно. При оптимизации для размещения структур на одной ПП параметр t выбран равным 18 мкм. На рис. 3а приведены отклонения $\Delta\tau$, на рис. 3б – максимальные значения задержек и на рис. 3в – время расчета (Т) от количества поколений при 5 и 15 особях. Наиболее оптимальным был выбор 5 особей и 25 поколений для настроек ГА, так как данный вариант сочетает малое значение отклонения (0,39%) при небольшом времени расчета (в среднем 768 секунд).

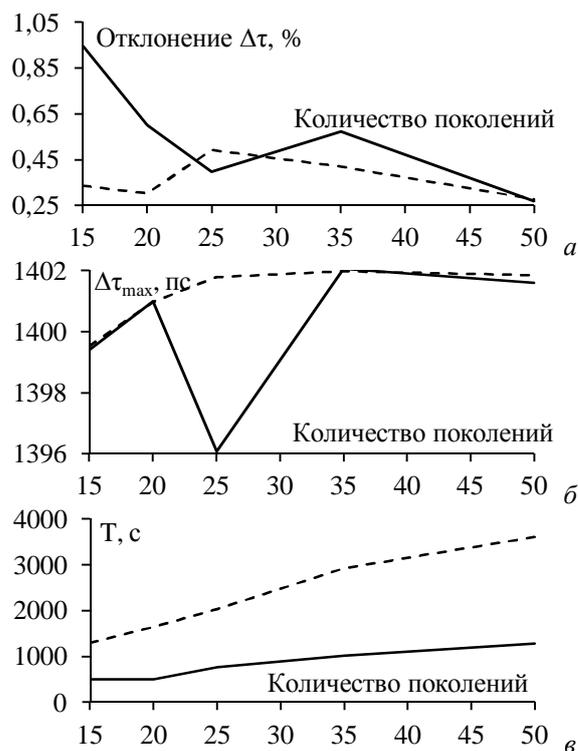


Рис. 3. Зависимости значений отклонения (а), $\Delta\tau_{\max}$ (б), времени расчета – Т (в) от количества поколений при 5 (–) и 15 (---) особях

Результаты исследования

Первый этап работы заключался в оптимизации структур по отдельности. В ходе оптимизации структуры на внешнем и внутреннем слоях, были получены наборы параметров, представленные в таблицах 1 и 2 соответственно. В данных таблицах представлены наборы параметров, полученные как в ходе ЭП, так и при оптимизации ГА по одному и двум критериям.

Таблица 1. Оптимальные наборы параметров структуры с проводниками на внешнем слое

№ набора	Критерий	Алгоритм	w , мкм	s , мкм	t , мкм	h_1 , мкм	h_2 , мкм	$\Delta\tau$, пс	R , Ом
1	$\Delta\tau \rightarrow \max$	ЭП	200	200	105	200	1000	917,66	75
2		ГА	1000	200	105	103,53	996,47	1196,89	43
3	$\Delta\tau \rightarrow \max$ и $R \rightarrow 50$ Ом	ЭП	400	200	105	200	200	513,77	49
4		ГА	676,5	200	105	100	998,04	1153,63	50

Таблица 2. Оптимальные наборы параметров структуры с проводниками на внутреннем слое

№	Критерий	Алгоритм	w , мкм	s , мкм	t , мкм	h_1 , мкм	h_2 , мкм	$\Delta\tau$, пс	R , Ом
1	$\Delta\tau \rightarrow \max$	ЭП	100	200	18	1000	200	1382,07	94
2		ГА	435,294	200	18	1000	400	1402,06	64
3	$\Delta\tau \rightarrow \max$ и $R \rightarrow 50$ Ом	ЭП	1000	200	18	1000	355,76	1176,58	50
4		ГА	855,294	200	18	1000	692,941	1381,48	50

При оптимизации структуры с проводниками на внешнем слое (таблица 1) по одному критерию, найдены наборы 1 (при ЭП) и 2 (при ГА), при которых $\Delta\tau$ максимальное. В результате оптимизации ГА найден набор параметров структуры, $\Delta\tau$ которой на 13,2% больше, чем для структуры с набором параметров найденным ЭП.

При оптимизации по двум критериям получились наборы 3 (при ЭП) и 4 (при ГА). В результате оптимизации ГА найден набор параметров структуры, $\Delta\tau$ которого на 38,4% больше, чем для структуры с набором параметров найденным ЭП. При этом, в обоих случаях выполнялось согласование R структуры с трактом 50 Ом.

При оптимизации структуры с проводниками на внутреннем слое (таблица 2) при однокритериальном анализе получились наборы 1 (при ЭП) и 2 (при ГА), при которых $\Delta\tau$ максимальное. Набор параметров, определенный с помощью ГА, имеет значение $\Delta\tau$, которое на 0,71% больше, чем при ЭП, тогда как R меньше на 18,52% соответственно.

При двухкритериальном анализе получились наборы 3 (при ЭП) и 4 (при ГА) в таблице 2.

Таблица 3. Оптимальные наборы параметров структуры с проводниками на внутреннем (1) и внешнем (2) слоях расположенных на одной ПП

№	Критерий	Алгоритм	w, мкм	s, мкм	t, мкм	h_1 , мкм	h_2 , мкм	$\Delta\tau_1$, пс	$\Delta\tau_2$, пс	R_1 , Ом	R_2 , Ом
1	$\Delta\tau \rightarrow \max$	ЭП	200	200	18	1000	200	1358	656,147	83	93
2		ГА	283,529	200	18	1000	248,23	1380,7	644,23	75	85
3	$\Delta\tau \rightarrow \max$ и $R \rightarrow 50 \text{ Ом}$	ЭП	1000	200	18	1000	400	1225	415	50	58
4		ГА	1000	200	18	1000	375,294	1199,47	411,166	50	58

При оптимизации структур на одной ПП по одному критерию, получены наборы 1 и 2, при которых $\Delta\tau$ максимальные в обеих структурах. При наборах параметров, полученных с помощью ГА и ЭП примерно одинаковые значения разностей задержек для разных структур, но у структуры на нижнем слое $\Delta\tau_1$ больше, чем $\Delta\tau_2$ на верхнем.

При оптимизации структур на одной ПП по двум критериям, получены наборы 3 и 4. При наборах параметров, полученных с помощью ГА и ЭП определены примерно одинаковые значения $\Delta\tau$ и R для разных структур

Заключение

Таким образом, была выполнена оптимизация структур на внешнем и внутреннем слоях по критериям максимальной разности погонных задержек ($\Delta\tau_{\max}$) с учетом согласования и без. Получены соответствующие наборы параметров, для достижения данных критериев в каждой из структур. Выполнена оптимизация параметров ПП, на которой расположены обе структуры по критериям $\Delta\tau_{\max}$ и согласования. Получены наборы параметров, при которых достигается $\Delta\tau_{\max}$ в обеих структурах, а также примерно достигается согласование R структур с трактом 50 Ом.

Полученные наборы параметров можно использовать для реализации различных задач при проектировании ПП. Например, параметры полученные при оптимизации, только по критерию максимизации $\Delta\tau$ можно использовать в цифровых цепях, где рабочая частота схемы небольшая и не требует согласования линий передачи с трактом. Параметры оптимизиро-

ванное значение $\Delta\tau$ у набора, определённого с помощью ГА, больше на 8%, чем при ЭП, тогда как R согласован с трактом 50 Ом в обоих случаях.

Второй этап работы заключался в определении оптимальных наборов параметров, при расположении обеих структур на одной ПП. Наборы параметров, полученные в ходе оптимизации на данном этапе, представлены в таблице 3.

ванные по двум критериям можно использовать в радиочастотных и СВЧ схемах, где требуется согласование линии передачи с трактом.

Благодарности

Научное исследование выполнено при поддержке российского научного фонда (проект №19-19-00424) (<https://rscf.ru/project/22-19-35072/>) в ТУСУРе.

Список литературы

1. IEC 61508-1:2010 Functional Safety of Electrical/Electronic/Programmable Electronic Safety-Related Systems. Part 1: General requirements – URL: <https://webstore.iec.ch/publication/5515> (access date: 7.01.2023).
2. Gazizov A.T., Zabolotsky A.M., Gazizov T.R. UWB pulse decomposition in simple printed structures // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – 2016 – Vol. 58, № 4, p. 1. – P. 1136–1142.
3. Шарафутдинов В.Р., Газизов Т.Р. Анализ способов резервирования на основе модальной фильтрации // Системы управления, связи и безопасности. – 2019. – № 3. – С.117–144.
4. Алхадж Х.А., Газизов Т.Р. Обзор исследований по модальному резервированию // Доклады ТУСУР. – 2022. – Т. 25, №4. – С. 54–67.
5. Пат. 2 752 233 РФ, МПК H04B 15/02. Способ трассировки печатных проводников на двуслойной печатной плате для цепей с резервированием / А.В. Медведев (РФ), А. Алхадж Хасан (САР), О.М. Кузнецова-Таджибаева (РФ), Т.Р. Газизов (РФ). – № 2020122274; заявл. 06.07.20; опубл. 23.07.21, Бюл. № 21. – 8 с.
6. Kuksenko S. P. Preliminary results of TUSUR University project for design of spacecraft power distribution network: EMC simulation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 560, p. 012110. – P. 1–7.

Алгоритм восстановления объектных изображений непрерывной волновой терагерцовой голографии

А.В. Перевалов, И.Н. Минин

Научный руководитель: А.И. Бердюгин

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск

E-mail: a.v.perevalov@mail.ru

Аннотация: В работе описан алгоритм восстановления изображений исследуемых объектов методом свертки по голограмме, полученной в осевой схеме с источником генерирующим непрерывное излучение с частотой 200 ГГц.

Ключевые слова: Терагерцовая голография, восстановление изображений, численное электродинамическое моделирование, CST Microwave Studio.

Введение

В настоящее время активно развиваются неразрушающие методы контроля качества продукции, направленные на выявление несоответствий свойств продуктов стандартам качества [1]. Наибольший интерес представляют направления акустической и оптической дефектоскопии, так как они позволяют исследовать внутреннюю структуру образца и являются более доступными. К акустическим методам относится ультразвуковая дефектоскопия. Наиболее сложными объектами контроля для ультразвуковой дефектоскопии являются структуры, состоящие из нескольких слоев различных материалов [2]. Оптические методы, позволяют обнаруживать внутренние дефекты образцов изготовленных исключительно из пропускающих свет материалов.

Метод неразрушающего контроля, лишённый этих недостатков, основан на использовании излучения терагерцового диапазона частот. При довольно низких электронных затратах он обеспечивает большие расстояния распространения в диэлектрических материалах уже при низких уровнях энергии [3]. Кроме этого, терагерцовое излучение является неионизирующим и может применяться для воздействия на биологические объекты [4]. В качестве источника терагерцового излучения для задач голографии предпочтительнее источник непрерывного излучения благодаря длительности воздействия электромагнитного излучения, а также простоте обработки результатов.

Последние годы активно развиваются методы восстановления объектных изображений импульсной терагерцовой голографии. Так в [5] приведены восстановленные изображения объекта при помощи алгоритма, учитывающего

дисперсию среды распространения. Целью данной работы является разработка алгоритма восстановления изображения объектов непрерывной волновой терагерцовой голографии.

Методы и материалы

В данной работе для получения голограммы использовался программный пакет электродинамического моделирования (ЭДМ) CST Microwave Studio. В нём была составлена модель двух тонких колец из проводящего материала. Для повышения различимости этих объектов на восстановленном изображении центры колец разнесены друг относительно друга.

Моделирование проводилось при помощи метода конечных разностей во временной области [6]. Источником электромагнитного излучения выступала плоская волна (с частотой 200 ГГц), нормально падающая на объект. Вычисленные результаты комплексной амплитуды напряжённости электрического записывались в текстовом файле в виде проекций на координатные оси в точках с равномерным шагом 0,05 мм.

Для извлечения из объёмного распределения голограммы была написана программа на языке Python с использованием модулей numpy (библиотека обработки данных в матричном виде) и PIL (библиотека функций обработки изображений). Результатом её выполнения являлось графическое представление распределения модуля амплитуды напряжённости электрического поля на плоскости.

В разработанном алгоритме реализовано численное решение дифракционного интеграла Кирхгофа методом свёртки [7] с использованием быстрого преобразования Фурье (БПФ). Данный метод позволяет восстановить распре-

деление напряжённости поля в плоскости объекта по известным параметрам: распределению напряжённости поля в плоскости голограммы, его шагу дискретизации и длине волны излучения. Для апробации алгоритма написана программа на языке Matlab, в которой использовались встроенные функции обработки изображений.

Результаты

На рисунке 1 показана блок-схема алгоритма восстановления изображения объекта. Традиционный подход в цифровой голографии подразумевает прямое вычисление Фурье-изображения импульсного отклика оптической системы, полученного аналитически. В представленном алгоритме этот шаг заменён двумя эквивалентными.

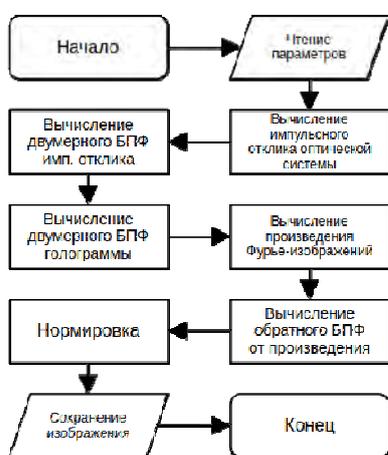


Рис. 1. Блок-схема алгоритма восстановления изображения объекта

На рисунке 2а представлена цифровая голограмма. На рисунках 2б и 2в изображены восстановленные изображения колец: 2б) восстановленный волновой фронт в плоскости первого кольца (4 см до плоскости голограммы); 2в) восстановленный волновой фронт в плоскости второго кольца (5 см до плоскости голограммы).

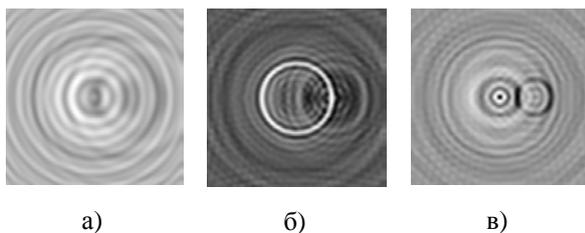


Рис. 2. Исходная голограмма и восстановленные изображения двух колец

Полученная голограмма в исходном виде не даёт представления о форме и размерах объекта. После обработки восстановленные изображения воспроизводят геометрию проводящих колец, что подтверждает работоспособность алгоритма.

Заключение

В данной статье описан алгоритм восстановления объектных изображений по голограмме, полученной с помощью осевой непрерывной волновой голографии. Произведена апробация на языке Matlab, которая показала возможность его использования для восстановления изображений терагерцовой голографии.

Благодарности

Научное исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-29-00895, <https://rscf.ru/project/23-29-00895>.

Список литературы

1. Трясучкина К.В., Назарова И.Т. Анализ методов и средств контроля качества продукции на промышленном предприятии. – 2022. – № 87-2. – С. 107–109.
2. Бехтерев А.Н. Особенности применения ультразвуковой дефектоскопии для исследования распределения фрагментов структуры в сильно неоднородных средах // Дефектоскопия. – 2007. – № 2. – С. 3–8.
3. Nesterov M. et al. Object reconstruction in microwave based non-destructive testing // 2019 20th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems & Eurosensors XXXIII. – IEEE, 2019. – P. 2138–2141.
4. Son J.H., Oh S.J., Cheon H. Potential clinical applications of terahertz radiation // Journal of Applied Physics. – 2019. – V. 125, No. 19. – P. 190901.
5. Балбекин Н.С., Куля М.С., Петров Н.В. Импульсная терагерцовая голография с разрешением вовремя в дисперсионных средах // Компьютерная оптика. – 2017. – Т. 41, № 3. – С. 348–355.
6. Yee K. Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. – 1966. – Vol. 14, No. 3. – P. 302–307.
7. Wang D., Rong L., Zhai C., Wang Y., Zhao J., Guo J. Continuous-wave terahertz phase-contrast imaging. // Unconventional Optical Imaging. – 2018. – Vol. 10677 – P. 358–364.

Разработка токового стимулятора для профилактики пролежневых язв

Д.Ю. Переводчиков

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Е.Ю. Дикман

Национальный исследовательский Томский политехнический университет г. Томск

E-mail: dyp7@tpu.ru

Аннотация: В данной работе предложен ранее не использовавшийся метод для профилактики пролежневых язв у малоподвижных пациентов и описана принципиальная схема, включающая преобразователь напряжения, источник тока и блок, обеспечивающий нулевое накопление заряда в стимулируемых тканях.

Ключевые слова: пролежни, электромиостимуляция, профилактика, токовый стимулятор.

Введение

Согласно статистике, на данный момент сохраняется актуальной проблема профилактики и лечения пролежней у пациентов с ограниченной двигательной способностью. По данным зарубежных авторов пролежни образуются у 15–20% лежачих пациентов [1]. Существует множество методик, разработок, устройств для профилактики и лечения пролежней, но несмотря на глубокую степень изученности вопроса и понимания механизма их образования, а также подходов к профилактике, проблема остается актуальной.

Поэтому очевидно, что необходимо искать новые нестандартные пути решения проблемы. Так, в исследованиях группы ученых, проведенных в Канадском университете Альберты [2, 3], продемонстрировано, что применение прерывистой электростимуляции позволяет безопасно и эффективно бороться с развитием пролежней.

В данной работе описывается прототип устройства, который может быть использован в качестве инструмента будущей методики профилактики пролежневых язв. Суть методики заключается в стимуляции сдавленных тканей, вследствие чего улучшается их оксигенация, лимфодренаж и перераспределяется давление.

Разработка схемы и методы ее исследования

В результате изучения метода и параметров электромиостимуляции, в том числе применительно к профилактике пролежневых язв, и основываясь на результатах клинических испытаний вышеупомянутых исследователей были сформулированы следующие требования к разрабатываемому устройству:

1. Необходимо обеспечить стабильность протекающего через стимулируемые ткани тока, поскольку возможно неконтролируемое изменение их импеданса вследствие различных физиологических процессов, то есть необходимо разработать токовый генератор [4].

2. Для безопасности пациента важно обеспечить нулевое накопление заряда в стимулируемых тканях. Несмотря на то, что «полезными» являются импульсы положительной полярности вследствие емкостного характера сопротивления тканей, важно обеспечить вывод заряда для исключения поляризации [5].

3. Для возможности использования устройства пациентами, передвигающимся на инвалидных креслах предполагается батарейное питание. Принимая во внимание значение импеданса тканей на частоте стимуляции (до 1кОм) и величину максимального тока (до 100мА), необходимо разработать блок повышающего преобразователя питания.

Исследование схемы было проведено с использованием программного комплекса электронного моделирования NI Multisim 14.3 в режиме Transient Analysis. Для разработанных блоков были подобраны реальные электронные компоненты, представленные на отечественном рынке. Во время моделирования проводилось исследование отдельных блоков с целью определения их рабочих характеристик, а также всей схемы в целом.

Результаты моделирования

Источник тока в данном устройстве выполнен на базе операционного усилителя, в обратной связи которого включен эмиттерный переход биполярного транзистора. Величина тока задается источником напряжения, формируе-

мым с помощью микроконтроллера и цифро-аналогового преобразователя.

Для обеспечения нулевой степени накопления заряда в тканях было решено расположить нагрузку (электроды канала стимуляции) в диагонали Н-моста (рисунок 1). Такое решение позволит не проектировать источник отрицательного напряжения и дополнительно дает возможность организовать гальваническую развязку между цепями управления и протекания тока стимуляции.

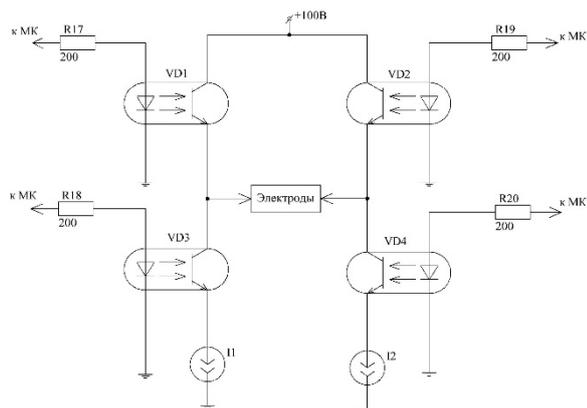


Рис. 1. Блок устройства, обеспечивающий нулевое накопление заряда в тканях

Два источника тока I_1 и I_2 (рисунок 1) формируют амплитуду исходя из соотношения: амплитуда импульса отрицательной полярности в 4 раза меньше, чем у стимулирующего импульса, а длительность в 4 раза больше для соблюдения баланса вносимого и выносимого заряда.

Для блока преобразователя напряжения была выбрана обратная топология, которая обладает рядом преимуществ:

1. Возможность обеспечения гальванической развязки от аккумулятора, в случае если устройство будет иметь возможность зарядки от сети.

2. Нечувствительность к короткому замыканию для защиты от случайного соприкосновения электродов.

3. Возможность быстрого выключения преобразователя для экономии заряда батареи и безопасности в случае аварийной ситуации.

В качестве ШИМ-контроллера для силового ключа преобразователя была выбрана микросхема серии UC38xx – простой и надежный токовый контроллер. Разработанная схема преобразователя также включает элементы демпфирования, обратной связи по току, обратной связи по напряжению и частотозадающей цепи. Преобразователь был рассчитан на выходное

напряжение 100 В и максимальный выходной ток 100 мА.

Результаты моделирования (рисунок 2) показали, что данное схемотехническое решение способно обеспечить все необходимые параметры выходного сигнала устройства для возможности его применения в качестве средства профилактики пролежневых язв, а именно: амплитуда импульсов в диапазоне от 1 до 100 мА с шагов в 1 мА, длительность импульсов от 200 до 1000 мкс с шагов в 100 мкс, частота следования пачек импульсов от 1 до 100 Гц с шагом 1 Гц.

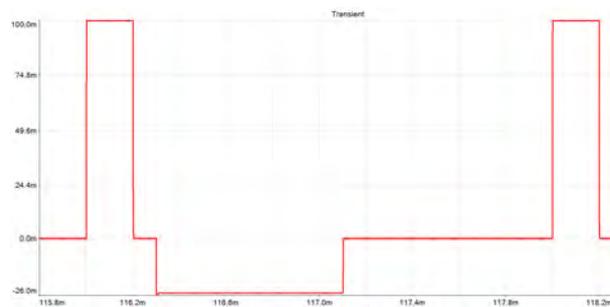


Рис. 2. Осциллограммы импульсов тока на выходе устройства, полученные при моделировании на номинальной нагрузке 1 кОм

Заключение

Таким образом была разработана схема токового электромиостимулятора, включающая повышающий обратноходовой преобразователь, мощностью 10 Вт, блок генерации постоянного тока, регулируемой амплитуды от 1 до 100 мА, а также схему обеспечения нулевого накопления заряда с гальванически развязанной цепью управления, позволяющая обеспечить длительность импульсов от 200 до 1000 мкс.

Благодарности

Научное исследование выполнено при поддержке Фонда содействия инновациям, программа «У.М.Н.И.К.» (договор № 17225ГУ/2021)

Список литературы

1. ГОСТ Р 56819-2015. Надлежащая медицинская практика. Информационная модель. Профилактика пролежней: нац. стандарт Рос. Федерации: дата введения 2017-01-11. – М.: Стандартинформ, 2015. – 48 с.
2. Solis L.R., Hallihan D.P., Uwiera R.R.E. et al. Prevention of pressure-induced deep tissue injury using intermittent electrical stimulation // Journal of Applied Physiology. – 2007. – Vol. 102, is. 5. – P. 649–663.
3. Gyawali S., Solis L., Chong S. L., Curtis C. et al. Intermittent electrical stimulation redistributes pres-

- sure and promotes tissue oxygenation in loaded muscles of individuals with spinal cord injury // Journal of Applied Physiology. – 2011. – Vol. 110(1). – P.1246–255.
4. Николаев А.А. Электростимуляция в спорте: учебное пособие / под ред. В.Н.Костюченко. – Смоленск: СГИФК, 1999. – 74 с.
5. Калакутский Л.И., Акулов С.А., Федотов А.А. Системы электростимуляции органов и тканей. – Самара : Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2012. – 92 с.

Учет явления деполяризации в неоднородных средах

К.С. Сальников^{1,2}, Д.В. Лосев¹, Д.С. Бардашов¹

Научные руководители: канд. физ.-мат. наук, доцент Д.В. Лосев¹;
Д.С. Бардашов¹

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск

²Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск

E-mail: 1015k@mail.ru

Аннотация: В работе предложено приближенное решение задачи распространения волн в плавно-неоднородной среде с учетом изменения векторной структуры поля на основе использования метода итерированных ядер. Это решение позволяет одновременно учесть эффекты многолучевого распространения и многократного взаимодействия излучения со средой, тем самым объединяя достоинства теории однократного рассеяния и методов коротковолновой асимптотики.

Ключевые слова: распространение волн в неоднородных средах, объемное интегральное уравнение, метод итерированных ядер, деполяризация электромагнитных волн.

Введение

Учет распространения электромагнитных волн в неоднородных средах необходим для адекватного решения практически важных задач радиолокации, зондирования атмосферы, оптики, томографии и других областей науки. Поскольку электромагнитные волны имеют векторный характер, необходима модель, которая учитывает исходную поляризацию волны и предсказывает результирующую поляризацию, т.е. учитывает явление деполяризации. Примерами существующих моделей являются аналитические методы: геометрическая оптика [1], метод Кирхгофа, борновское приближение [2], а также численные методы: приближение физической оптики [3], метод дискретных диполей [4], метод Т-матрицы [5], метод Галеркина и др. Однако аналитические методы для векторного случая недостаточно точны, а численные методы ограничены вычислительными ресурсами. Поэтому актуальна разработка новых подходов, учитывающих явление деполяризации в неоднородных средах.

Материалы и методы исследования

Системе уравнений Максвелла соответствует объемное интегральное уравнение [6]

$$\vec{E}(\vec{r}) = \vec{E}_0(\vec{r}) + k^2 \int_V \delta\varepsilon(\vec{r}_0) G \vec{E}(\vec{r}) d\vec{r}_0 + \\ + \int_V \delta\varepsilon(\vec{r}_0) \sum_{i,j=1}^3 \vec{e}_i E_{x_j}(\vec{r}_0) \frac{\partial^2}{\partial x_i \partial x_j} G d\vec{r}_0,$$

где $\delta\varepsilon(\vec{r}_0) = \varepsilon(\vec{r}_0) - \varepsilon$ – изменение диэлектрической проницаемости относительно однородной среды, в которой источниками $\vec{j}(\vec{r})$, расположенные в объеме V' , генерируется падающая волна

$$\vec{E}_0(\vec{r}) = i\omega\mu \int_V \sum_{i,j=1}^3 \vec{e}_i j_{x_j}(\vec{r}_0) \frac{\partial^2}{\partial x_i \partial x_j} G d\vec{r}_0, \\ G = \frac{e^{ik|\vec{r}-\vec{r}_0|}}{4\pi|\vec{r}-\vec{r}_0|}.$$

Данное уравнение без дополнительных предположений о структуре падающей волны и среды аналитически возможно решать методом последовательных приближений [7], где в качестве нулевого приближения принято падающее поле $\vec{E}_0(\vec{r})$.

Результаты исследования

Получено обобщение скалярного метода итерированных ядер [7-10]

$$E(\vec{r}) = E_0(\vec{r}) + k^2 \int_V \delta\varepsilon(\vec{r}_0) G_\varepsilon E_0(\vec{r}_0) d\vec{r}_0$$

на векторный случай, который в декартовых координатах имеет вид

$$\vec{E}(\vec{r}) = \vec{E}_0(\vec{r}) + k^2 \int_V \delta\varepsilon(\vec{r}_0) G_\varepsilon \vec{E}_0(\vec{r}) d\vec{r}_0 + \\ + \int_V \delta\varepsilon(\vec{r}_0) \sum_{i,j=1}^3 \vec{e}_i E_{0x_j}(\vec{r}_0) \frac{\partial^2}{\partial x_i \partial x_j} G_\varepsilon d\vec{r}_0,$$

где $G_\varepsilon = \frac{e^{ik\sqrt{\varepsilon}|\vec{r}-\vec{r}_0|}}{4\pi|\vec{r}-\vec{r}_0|}$. Единственное сделанное в процессе преобразований приближение состоит в учете лишь нулевого члена разложения Тейлора зависимости $\delta\varepsilon$ от координат, а именно $\delta\varepsilon(\vec{r}_0) \approx \delta\varepsilon(\vec{r})$. Это позволило точно вычислить необходимые интегралы всех последовательных приближений. В ходе суммирования ряда Неймана также не использовались никаких дополнительных допущений. В результате был осуществлен переход от описания многократного рассеяния падающего поля к описанию изменения поляризационных и амплитудно-фазовых характеристик полного поля, формируемых неоднородной средой в целом.

Второе слагаемое полученного решения соответствует скалярному приближению для вторичного поля, третье слагаемое связано с векторным характером электромагнитного поля и оказывает влияние на результирующую поляризацию. Необходимым условием применимости метода является малость хотя бы одной из следующих величин [11]: 1) контраст диэлектрической проницаемости неоднородностей среды; 2) величина модуля градиента диэлектрической проницаемости определяющая плавность изменения профиля среды; 3) длина трассы распространения, выраженная в длинах волн.

Данное условие не является достаточным, т. е. метод может оказаться достаточно точным для большего числа задач. Так, например, в скалярном случае для задачи о центрированном источнике сферической волны в среде с границей в виде сферической плоскости полученное приближенное решение совпадает с точным.

Заключение

Предложенное решение объединяет в себе достоинства методов борновского рассеяния и геометрической оптики. В случаях малых флуктуаций диэлектрической проницаемости, когда влиянием $\delta\varepsilon(\vec{r})$ можно пренебречь, полученное решение совпадает с борновским. С другой стороны, показатель экспоненты, описывающий искажение волны, прошедшей неоднородную среду, можно отождествить с оптической дли-

ной, составляющей основу метода геометрической оптики и других коротковолновых методов. Достоинством предложенного решения является его применимость для любого вида падающей волны и неоднородностей среды.

Список литературы

1. Кравцов Ю.А. Приближение геометрической оптики и примыкающие к нему асимптотические методы. – М.: Изд-во радиотехнического ин-та АН СССР, 1972. – 108 с.
2. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. – М.: Наука, 1973. – 720 с.
3. Konoshonkin A.V., Kustova N.V., Borovoi A.G., Grynko Y., Förstner J. Light scattering by ice crystals of cirrus clouds: Comparison of the physical optics methods // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. – 2016. – Vol. 182. – P. 12–23.
4. Yurkin M.A., Hoekstra A.G. The discrete dipole approximation: An overview and recent developments // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. – 2007. – Vol. 106. – P. 558–589.
5. Mishchenko M.I. Electromagnetic scattering by particles and particle groups. – New York: Cambridge University Press, 2014. – 435 p.
6. Самохин А.Г. Объемные сингулярные интегральные уравнения электродинамики. – М.: Техносфера, 2021. – 218 с.
7. Бардашов Д.С., Лосев Д.В. Метод резольвенты в теории распространения волн в неоднородных средах // Известия Вузов. Физика. – 2006. – № S9. – С. 19–22.
8. Бардашов Д.С., Лосев Д.В. Метод итерированных ядер при распространении волн в плавно-неоднородных средах // Известия вузов. Физика. – 2013. – № 8/2. – С. 32–34.
9. Лосев Д.В., Бардашов Д.С. Метод итерированных ядер в задачах распространения волн в неоднородных средах // Журнал радиоэлектроники. – 2014. – № 12. – URL: <http://jre.cplire.ru/jre/dec14/14/text.pdf>
10. Losev D.V., Bardashov D.S. Method of iterated kernels in problem of wave propagation in heterogeneous media: calculation of higher orders terms // International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – Vol. 8, No. 4. – P. 1–4.
11. Бардашов Д.С., Лосев Д.В., Якубов В.П. Метод итерированных ядер в задаче о переходном слое Эпштейна // Известия Вузов. Физика. – 2008. – № 9/2. – С. 19–20.

Оценка экранирующих свойств помещений для решения прикладных задач электромагнитной экологии

К.С. Сергиенко, С.А. Белоногов

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук А.А. Колмаков

Томский государственный университет, г. Томск

E-mail: sergienko.sm@mail.ru

Аннотация: В работе проводится оценка экранирующих свойств помещений с целью организации биофизических исследований влияния крайне-низкочастотных (КНЧ) электромагнитных (ЭМ) излучений. В процессе измерений получены коэффициенты ослабления ЭМ-излучений на нескольких выбранных частотах в КНЧ-диапазоне. Отмечены особенности организации исследований биоритмической активности организма человека.

Ключевые слова: экранирующие свойства, КНЧ-диапазон, ЭМ-излучение, коэффициент ослабления.

Введение

Исследование электромагнитного фона, окружающей среды и его влияния на биологические объекты, включая человека, является важной проблемой современной электромагнитной экологии [1].

На кафедре космической физики и экологии длительное время проводится исследование влияния электромагнитных (ЭМ) полей на функциональное состояние организма человека [2]. В ряде случаев исследования проводятся в аудиторных помещениях кафедры, находящихся на 4 этаже 11 учебного корпуса ТГУ. Здание корпуса сделано из армированного железобетона и наполнено металлическими конструкциями (приборы, компьютеры, нескороаемые шкафы и т.п.). Подобные здания являются пространственно-электрофизически неоднородными конструкциями. Это должно приводить к ослаблению уровня электромагнитных полей природного происхождения внутри здания. Таким образом, оценка экранирующих свойств помещений является важным этапом для решения прикладных задач электромагнитной экологии [1].

Целью работы является экспериментальная оценка коэффициента ослабления уровня ЭМ КНЧ-полей в различных точках аудитории 422 с учётом частотных характеристик. Для достижения поставленной цели требуется провести спектральный и статистический анализ результатов измерений в выбранных точках внутри здания и за его пределами.

Среди факторов, которые рассматриваются при оценке экранирующих свойств помещений, выделяются следующие: материалы, использованные при строительстве помещения; наличие

окон, дверей; металлические экранирующие поверхности и покрытия; наличие в помещениях сильных источников электромагнитных полей (например: электроустановок, телекоммуникационного оборудования и т.п.).

Методика исследования экранирующих свойств помещений

В процессе оценки экранирующих свойств помещений используется специальное оборудование, которое позволяет синхронно измерять спектральные характеристики ЭМ-полей в помещениях и на улице [3]. ЭМ-фон за пределами здания измерялся на штыревую антенну высотой 500 см [3]. Для оценки коэффициента ослабления [4] ЭМ-поля внутри здания использовалась компактная антенна типа “широкий цилиндр” с высотой 21 см и диаметром 15 см. В 4 точках аудитории 422 были проведены измерения (рис. 1) на высоте 165 см от уровня пола. Антенна неподвижно фиксировалась в каждой точке сбора данных. Длительность временной записи составляла 14,5 минут. За это время для анализа получались 60 спектров во временном окне 10 секунд (частотное разрешение составляло 0,1 Гц). Время проведения измерений: 1) 15:00 LT, 2) 15:15 LT, 3) 15:30 LT, 4) 15:45 LT (Local Time – местное время). Цифры 1, 2 и т.д. соответствуют обозначениям на рисунке 1.

После проведения синхронных измерений напряжённости электрической вертикальной компоненты внутри и снаружи здания были определены коэффициенты ослабления $K_{\text{экр}}$:

$$K_{\text{экр}} = 20 \lg \left(\frac{\sum_{i=1}^K E_i^{\text{in}}(f_n)}{\sum_{i=1}^K E_i^{\text{out}}(f_n)} \right) + K_a - K_{\text{ус}}, \quad (1)$$

где E^{out} – напряжённость электрической вертикальной компоненты на улице, E^{in} – в здании, K_a – корректирующий коэффициент, учитывающий разницу в апертурах антенн (17,5 дБ), $K_{\text{ус}}$ – коэффициент усиления (10 дБ), введённый для измерений в помещении.

Результаты исследования

Согласно выражению (1) построена частотная диаграмма в точках измерения (рис. 1а). Так как измерения в помещении проводились малогабаритной антенной необходимо данные, полученные в здании и за его пределами, привести к одному масштабу, для чего вводится корректирующий коэффициент K_a .

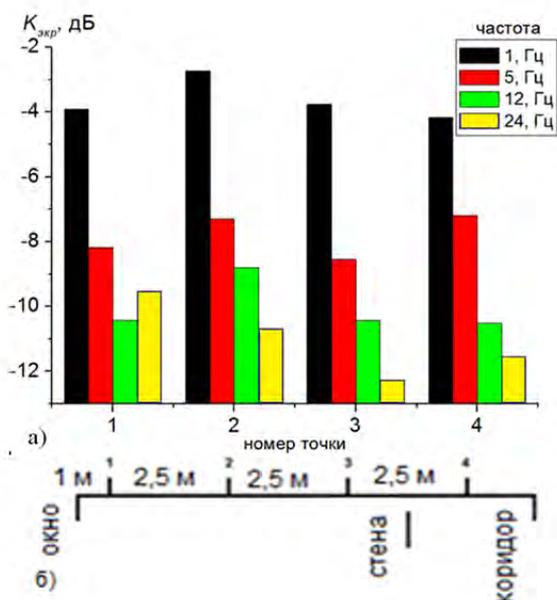


Рис. 1. Диаграмма коэффициентов ослабления:
а) частотная зависимость коэффициента ослабления;
б) схема проведения измерений

С ростом частоты в целом происходит уменьшение уровня КНЧ-сигнала, таким образом, здание выполняет функцию фильтра нижних частот. При изменении от 1 Гц до 24 Гц уменьшение поля достигает примерно 9 дБ (в ~3 раза).

С точки зрения организации и проведения исследований влияния ЭМ-фона на сердечно-сосудистую систему [5] здание корпуса не является существенной преградой. Изменение поля в диапазоне частот активности сердечно-сосудистой системы (~1 Гц) составляет ~40%, что позволяет такие исследования проводить в здании без существенной потери качества. А в исследованиях биоритмической активности головного мозга человека для α и β -диапазонов (5÷16 Гц) уменьшение естественных полей внутри здания в ряде случаев может оказаться препятствием [2].

Заключение

В работе получены следующие основные результаты:

1. На всех частотах уровень вертикальной электрической компоненты КНЧ ЭМ-фона в здании ниже, чем за его пределами.

2. С ростом значений частоты экранирующие свойства здания возрастают, то есть в проведённой серии измерений значения коэффициента ослабления достигают примерно -13 дБ на частоте 24 Гц.

3. Поведение КНЧ ЭМ-поля внутри здания на одинаковых частотах относительно его (поля) средних значений изменяется сравнительно незначительно – примерно ± 2 дБ ($\pm 30\%$).

Список литературы

1. Колесник А.Г., Колесник С.А., Побаченко С.В. Электромагнитная экология : учебное пособие для студентов высших учебных заведений. – Томск : ТМЛ-Пресс, 2009. – 336 с.
2. Kolesnik A.G., Borodin A.S., Kolesnik S.A., Pobachenko S.V. Resonant mechanism of solar-terrestrial relationships // Russian Physics Journal. – 2003. – Vol. 46, No. 8. – P. 769–777.
3. Kolesnik A.G., Kolesnik S.A., Kolmakov A.A., Shinkevich B.M. The Schumann resonances. I. monitoring of the elf electromagnetic noise background // Russian Physics Journal. – 2003. – Vol. 46, No. 2 – P. 181–185.
4. Шапиро Д.Н. Основы теории электромагнитного экранирования. – Энергия, 1975. – С. 112.
5. Тужилкин Д.А., Бородин А.С. Воздействие физических полей окружающей среды на сердечно-сосудистую систему человека // Известия вузов. Физика. – 2012. – Т. 55, № 8-3. – С. 167–168.

Численный анализ переноса фотоносителей в детекторных структурах на основе арсенида галлия, компенсированного хромом

М.С. Трофимов

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук, доцент И.А. Прудаев

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск

E-mail: mihant1999@yandex.ru

Аннотация: Одним из важнейших электрофизических параметров полупроводниковых материалов, определяющих быстродействие как полупроводниковых детекторов, так и, в целом, всех приборов микроэлектроники, является дрейфовая подвижность носителей заряда. Известные на сегодняшний день экспериментальные методы измерения дрейфовой подвижности проводятся при различных аналитических приближениях, что может приводить к значительной погрешности при ее расчете. В данной работе проведено численное моделирование динамики переноса фотоносителей в детекторных HR-GaAs:Cr структурах в среде приборно-технологического проектирования TCAD Sentaurus.

Ключевые слова: HR-GaAs:Cr, TCAD Sentaurus, Transient current technique, дрейфовая подвижность.

Введение

Одним из основных конструкторско-технологических этапов в производстве полупроводниковых детекторов ионизирующих излучений, является изготовление высокоэффективных полупроводниковых сенсорных матриц, представляющих собой полупроводниковые пластины с изолирующими диэлектрическими слоями и контактной металлической топологией, сформированной методом фотолитографии. Их эффективность оценивается по значениям электрофизических параметров и характеристик, к которым относятся времена жизни носителей заряда, дрейфовая подвижность, удельное сопротивление, а так же распределение напряженности электрического поля по толщине их активной области [1]. В процессе изготовления полупроводниковых сенсорных матриц могут совершаться технологические ошибки, приводящие к ухудшению их электрических свойств и впоследствии, к ухудшению спектральных свойств детектора. Поэтому, немаловажной технологической процедурой при производстве детекторов является контроль данных параметров и характеристик детекторных структур (сенсоров).

В настоящее время, один из наиболее точных и эффективных методов измерения электрофизических параметров полупроводников и электрических характеристик, является метод переходного тока, в зарубежной литературе именуемый, как ТСТ (Transient current technique) [2,3]. Был найден недостаток данной

методики, заключающийся в использовании приближения однородного распределения поля по толщине активной области структуры при определении дрейфовой скорости и расчете дрейфовой подвижности. Исходя из анализа импульсных характеристик детекторов как на основе нашего HR-GaAs:Cr материала, так и на основе материалов, исследуемых в статье [4], было выдвинуто предположение о неоднородном характере распределения дрейфовой подвижности носителей заряда по толщине активной области.

Таким образом, целью данной работы являлось проведение численного моделирования транспорта неравновесных носителей заряда в детекторных HR-GaAs:Cr структурах при воздействии импульсного инфракрасного излучения ближнего диапазона.

Материалы и методы исследования

Исследуемые образцы представляли собой сенсоры размером 4×4 мм на основе арсенида галлия, легированного мелкой донорной (теллур) и глубокой акцепторной (хром) примесью в соотношении $N_a / N_d = 20$. Средняя толщина сенсоров составляла 500 мкм. Верхний контакт был сформирован в виде металлизированной Cr/Al сетки, с окнами 75×75 мкм для поглощения инфракрасного излучения. Нижний контакт имел сплошную Cr/Al металлизацию. Оба контакта образовывали барьерные слои, высотой $\Phi_e = 0,9$ эВ для электронов и антизапорные слои для дырок ($\Phi_h = 0$).

Первым этапом моделирования являлось проектирование геометрической модели образца, профилей распределения легирующих примесей и расчетной дискретной сетки, согласно топологии экспериментальных образцов.

Следующим этапом моделирования являлось создание физической модели HR-GaAs:Cr сенсора и проектирование электрической цепи, использующейся в проводимом нами эксперименте. Проектируемая электрическая цепь экспериментальной установки (детектора) состояла из последовательно включенного источника питания постоянного тока, детекторной HR-GaAs:Cr структуры с барьерными металлическими контактами, разделительной емкостью номиналом 200 пФ и сопротивления нагрузки номиналом 50 Ом, являющимся входным сопротивлением осциллографа в эксперименте. Таким образом, в ходе проведения численного эксперимента решалась система дифференциальных уравнений во временной области, состоящая из уравнений Пуассона и непрерывности. Для каждого узла цепи вычислялся электрический потенциал, путем решения уравнений Кирхгофа. Плотности электронного и дырочного токов задавались при помощи диффузионно-дрейфовой модели.

Результаты исследования

На рисунке 2 представлены профили распределения подвижности электронов по толщине структуры, в зависимости от точки поглощения фотонов относительно металлических контактов. При поглощении фотонов вблизи металлических контактов, сгенерированные носители заряда оказываются в области высоких полей. Причем, в точках поглощения $1 \text{ мкм} \leq x \leq 9 \text{ мкм}$ (расстояние от контакта) электроны некоторое малое время находятся в области полей, соответствующих отрицательной дифференциальной проводимости в арсениде галлия, где их подвижность значительно меньше, чем в большей части объема. Проходя данный участок, электроны попадают в область полей, где их подвижность так же не является постоянной, а плавно возрастает до $4000 \text{ см}^2 \times \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$. Это является следствием уменьшения рассеяния на акустических фонах кристаллической решетки HR-GaAs:Cr структуры в результате спада напряженности электрического поля во всем ее объеме.

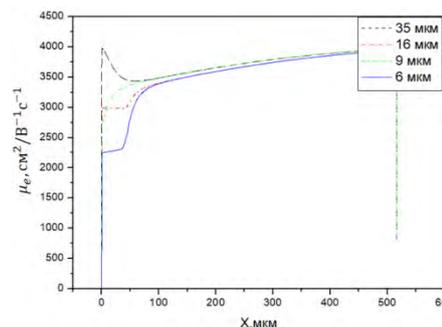


Рис. 2. Профили распределения дрейфовой подвижности электронов по толщине HR-GaAs:Cr сенсора при напряжении 150В

Заключение

По результатам проведения данной работы было показано, что для определения электрофизических параметров полупроводника ТСТ-методом, недостаточно пользоваться приближением однородного распределения поля, необходим численный расчет. Результаты расчетов показали, что поле в исследуемых HR-GaAs:Cr структурах распределено неоднородно, из чего следует изменчивость подвижности и скорости носителей заряда в процессе дрейфа. Подвижность электронов при их дрейфе от катода к аноду может варьироваться в пределах $(200 \div 4000) \text{ см}^2/(\text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1})$.

Благодарности

Исследования выполнены при поддержке гранта по Постановлению Правительства Российской Федерации № 220 от 09 апреля 2010 г. (Соглашение № 075-15-2022-1132 от 01.07.2022 г.).

Список литературы

1. Grybos P. Front-end Electronics for multichannel semiconductor detector systems // EuCARD Editorial Series on Accelerator Science and Technology. – Vol.08. – 2012. – P. 6 – 8.
2. Kramberger G. Advanced Transient current technique systems // R&D and Detector Simulations: The 23rd Intern. Wrkshp. – Ljubljana, 2014. – Vol. 227. – P. 11–21. – doi: 10.22323/1.227.0032.
3. Schar C. Measurement of the drift velocities of electrons and holes in high-ohmic silicon // Nucl. Instr. and Meth. In Phys. Res. – 2014. – Vol.799. – P. 81 – 89.
4. Bertolucci E., Conti M., Mettievier G. et al. Investigation on semi-insulating GaAs detectors using laser-induced current pulses // Nucl. Instr. and Meth. In Phys Res. – 2001. – Vol. 458. – P. 163–168. – doi: 10.1016/S0168-9002(00)00860-3.

Частотные свойства электромагнитных характеристик композиционных материалов на основе проводящих включений в полимерной матрице

М.М. Федорченко, Г.А. Тумалевич, И.В. Судариков, А.З. Абидинзаде

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук Е.Ю. Коровин

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск

E-mail: geijr2014@mail.ru

Аннотация: В работе проведены экспериментальные исследования поведения комплексной диэлектрической проницаемости резонаторным методом на СВЧ в зависимости от концентрации проводящих включений. Проведен расчет коэффициентов отражения и прохождения в зависимости от частоты и толщины композита для случая расположения материала в свободном пространстве.

Ключевые слова: комплексная диэлектрическая проницаемость, композит, резонаторный метод, отражение, прохождение.

Введение

Проектирование и производство радиоэлектронной аппаратуры и её элементной базы, соблюдение требований к массогабаритным параметрам – невозможны без создания новых конструкционных материалов, активно проявляющих электромагнитные свойства. Несмотря на большое число публикаций в данном направлении, в настоящее время остается много нерешенных задач [1]. Это связано с сильной зависимостью электромагнитных характеристик композиционных материалов не только от выбора активного компонента и связующего, их концентрацией, но и с формой и размером частиц, способом изготовления композиционного материала [2]. Следует отметить, что электромагнитные характеристики материалов, такие, как комплексные значения диэлектрической и магнитной проницаемостей, имеют сильные частотные зависимости, которые определяют качественные показатели этих материалов – коэффициенты отражения, прохождения и поглощения. Знания о поведении электромагнитных характеристик материалов на сегодняшний день возможно получить только экспериментальным путем.

Целью данной работы является определение области применения синтезированных материалов по средствам измерения электромагнитных характеристик и расчета электромагнитных параметров в зависимости от частоты и концентрации активной фазы.

Материалы и методы исследования

В качестве активного компонента использован электропроводящий порошок меди, покрытый серебром с концентрацией от 20% до 60 % весовых процентов в силиконовой матрице. Синтез проведен по разработанной методике, описанной в работе [3].

Для исследования частотных зависимостей комплексной диэлектрической проницаемости использовался резонаторный метод на основе прямоугольного многомодового резонатора с применением векторного анализатора цепей PNA-X N5247A. Погрешность данного метода составляет 5% для действительной и мнимой части комплексной диэлектрической проницаемости [4].

Для построения интерполирующей кривой по дискретным экспериментальным точкам использован многочлен Лагранжа 6 степени.

Для расчета электромагнитного отклика от слоя материала с концентрациями активного компонента в доперколяционной области использовался метод описанный в [5].

Результаты исследования

На рисунке 1 представлены результаты исследований частотных зависимостей комплексной диэлектрической проницаемости $\varepsilon^* = \varepsilon' - i\varepsilon''$. Результаты представлены относительно к электрической постоянной ε_0 .

Видно, что на частотных зависимостях наблюдается небольшая дисперсия действительной и мнимой части. Увеличение концентрации введенной активной компоненты приводит к увеличению обеих частей комплексной диэлек-

трической проницаемости. Начиная с 60% наблюдается резкий скачок проницаемости, что свидетельствует о приближении к порогу перколяции.

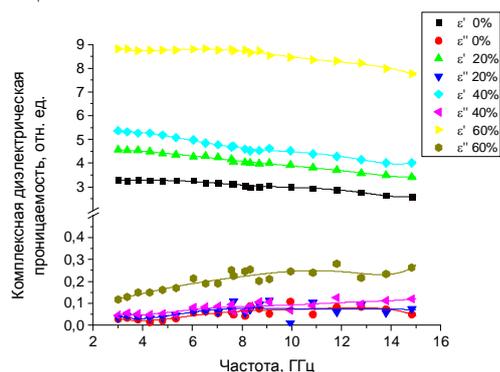


Рис. 1. Частотные зависимости комплексной диэлектрической проницаемости композитов с различной концентрацией активной компоненты.

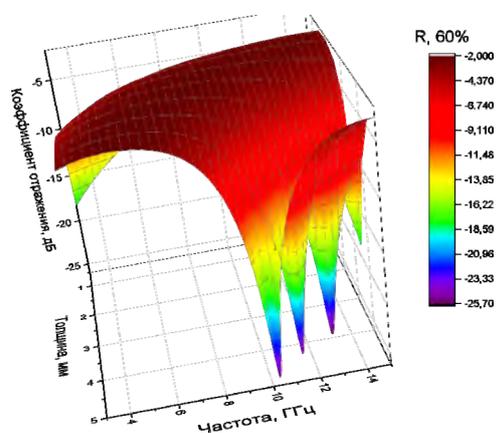


Рис. 2. Частотная зависимость коэффициента отражения синтезированных материалов.

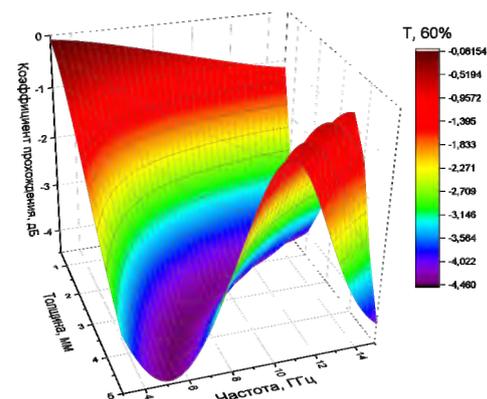


Рис. 3. Частотная зависимость коэффициента прохождения синтезированных материалов.

На рисунках 2, 3 представлены рассчитанные коэффициенты отражения и прохождения, которые определяют возможные область применения материалов. Расчеты проведены в за-

висимости от частоты и толщины слоя для концентрации активного компонента 60 %.

Частотная зависимость коэффициента отражения носит интерференционный характер. Увеличение количества минимумов связано с резким увеличением толщины слоя.

Заключение

Как и следовало ожидать, при максимальной концентрации активной компоненты, наблюдается уменьшение коэффициента прохождения и увеличение коэффициента отражения, что связано с изменением волнового сопротивления среды.

Из коэффициента прохождения видно, что материал с 60% концентрацией может быть использован, как снижающий воздействие электромагнитного излучения более, чем на 40% в полосе частот от 3 до 15 ГГц.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-29-00686, <https://rscf.ru/project/23-29-00686>.

Список литературы

1. Sengupta J. Chapter 17 - Application of carbon nanomaterials in the electronic industry // Handbook of Nanomaterials for Manufacturing Applications / ed. by Ch. M. Hussain. – Elsevier, 2020. – P. 421–450.
2. Kuzhir P., Paddubskaya A., Bychanok D. et al. 3D-printed, carbon-based, lossy photonic crystals: Is high electrical conductivity the must? // Carbon. – 2021. – Vol. 171. – P. 484–492.
3. Дорожкин К.В., Матышкин К.Е., Денисенко А.В., Суляев В.И. Материал, поглощающий электромагнитное излучение на высоких частотах // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии. – 2022. – Т. 4. – С. 163–164.
4. Найден Е.П., Журавлев В.А., Суляев В.И. и др. Статические и динамические магнитные свойства синтезированных методом свс гексаферритов системы BaCO_2 -х $\text{Zn}_x\text{Fe}_{16}\text{O}_{27}$ в окрестности спин-ориентационного фазового перехода // Известия вузов. Физика. – 2010. – Т. 53, № 9-2. – С. 274-281.
5. Kazakova M.A., Semikolenova N.V., Korovin E.Y. et al. Co/multi-walled carbon nanotubes/polyethylene composites for microwave absorption: Tuning the effectiveness of electromagnetic shielding by varying the components ratio // Composites Science and Technology. – Vol. 207. – 108731.

Разработка и исследование функциональных эластомеров в терагерцовой области частот для применения в аддитивных технологиях

Д.А. Фролова, Д.А. Пидотова

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук А.В. Бадьин

Национальный исследовательский Томский государственный университет

E-mail: diana.nov.15@mail.ru

Аннотация: В работе приведена методика получения и результаты исследования углеродсодержащих эластомеров на основе полиэтиленовой матрицы. В терагерцовом диапазоне частот измерен коэффициент прохождения и отражения через образец композиционного эластомера в диапазоне частот 0,1–1 ТГц. Представлена частотная зависимость диэлектрической проницаемости образцов.

Ключевые слова: эластомеры, полиэтиленовая матрица, терагерцовая область частот.

Введение

Техника терагерцовой области частот развивается и находит применение в большинстве отраслей деятельности человека. Для использования аппаратуры в данной области частот необходимы различные материалы, обладающие определенными свойствами [1]. В ряде случаев [2–4] необходимо, чтобы материалы могли подвергаться обратимым деформациям в широком температурном диапазоне. Такими свойствами обладает широкий класс материалов – эластомеры. Эластомеры – полимеры, обладающие высокоэластичными свойствами и вязкостью, которые позволяют работать в бытовых и экстремальных условиях использования [5]. В связи с этим целью данной работы является создание экспериментальных образцов композиционных эластомеров и исследование их электромагнитных характеристик.

Материалы и методы исследования

В данной работе были изготовлены и исследованы три экспериментальных образца на основе полиэтиленовой матрицы. Материал образца №1 состоит из полиэтиленовой матрицы, 20 % этилен пропиленового каучука, 20 % технического углерода. Материал образца №2 также состоит из полиэтиленовой матрицы, 20 % этилен–пропиленового каучука, но с добавлением 10 % технического углерода и 10 % коллоидного графита. Материал образца №3 основан на полиэтиленовой матрице, 20 % этилен–пропиленовом каучуке, и состоит из большего количества наполнителя – 20 % технического углерода и 20 % коллоидного графита. Все составляющие материала смешивались в смеси-

теле. Полученная смесь перерабатывалась в двухшнековом экструдере и формировалась в виде гранул с диаметром до 4 мм. Образовавшиеся гранулы помещали в экструдер для получения тонких нитей с минимальным содержанием пор путем многократной экструзии. Температура экструзии варьировалась от 175 до 210 °С. Полученную нить помещали в 3D принтер для печати экспериментальных образцов в виде шайб. Температура сопла составляла от 190 до 210 °С, температура стола 90 °С, скорость подачи филамента 10 мм/с.

Для исследования материальных параметров экспериментальных образцов и их электромагнитного отклика по схемам на отражение и на проход использовался спектрометр с временным разрешением TeraVil T-Spec 1000 и спектрометр терагерцового диапазона СТД-21.

Результаты исследования

На рисунках 1 и 2 приведены частотные зависимости коэффициентов пропускания, отражения, поглощения для образцов №1 и №2.

Из приведенных графиков можно заключить, что добавление графита приводит к снижению коэффициента прохождения образца №2 (рис. 2), относительно образца №1 (рис. 1), практически в два раза в субтерагерцовой области частот.

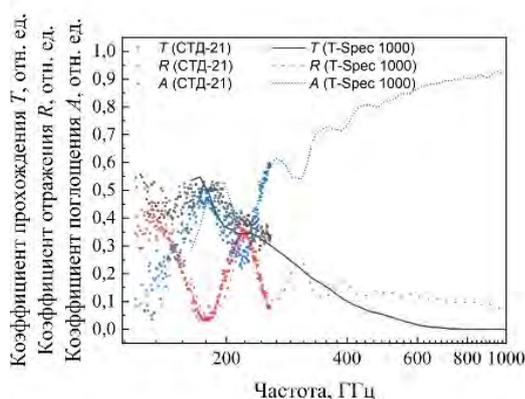


Рис. 1. Частотная зависимость коэффициентов пропускания, отражения, поглощения для образца №1

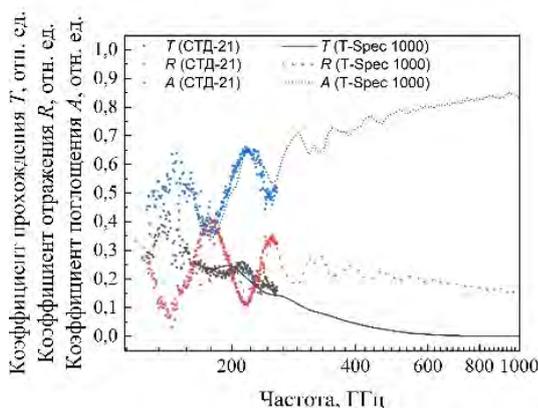


Рис. 2. Частотная зависимость коэффициентов пропускания, отражения, поглощения для образца №2

Дальнейшее увеличение процентного содержания графита в матрице (рис. 3) приводит к практически полному отсутствию прохождения электромагнитной волны.

При этом добавление этилен-пропиленового каучука, технического углерода и коллоидного графита приводит к росту проводимости материала, из-за чего наблюдается увеличение коэффициента отражения.

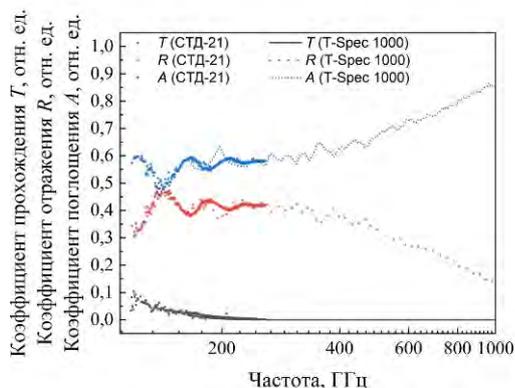
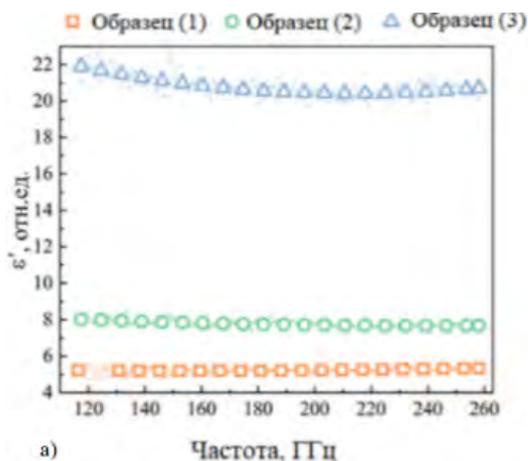
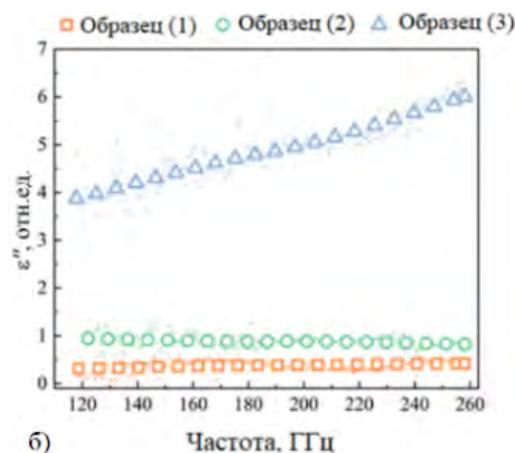


Рис. 3. Частотная зависимость коэффициентов пропускания, отражения, поглощения для образца №3

Что касается материальных параметров, то здесь выявлены следующие закономерности (рис. 4).



а)



б)

Рис. 4. Частотная зависимость диэлектрической проницаемости образцов № 1, 2, 3: а) действительная часть, б) мнимая часть

Во-первых, отмечается дисперсионная зависимость действительной части диэлектрической проницаемости только для образца №3. Для второго и третьего образцов слишком большая величина диэлектрической проницаемости связана с составом материала.

Исходя из частотной зависимости мнимой части диэлектрической проницаемости, приведённой на рисунке 4б можно увидеть, что добавление электропроводящих включений повышает мнимую часть диэлектрической проницаемости, то есть увеличивают «потери» в материале.

Заключение

Получены электромагнитные характеристики трех образцов эластомеров и их материальные параметры. Это позволяет применять полученные композиционные полиэтиленовые эластомеры для 3D принтера в радиоэлектронной промышленности при прототипировании и производстве гибких конструкций сложной формы.

Благодарности

Научное исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 22.29.20248, <https://rscf.ru/project/22.29.20248/> и средств Администрации Томской области.

Список литературы

1. Бадьин А.В., Дорожкин К.В., Кулешов Г.Е. Диэлектрические свойства композитов на основе полимерных матриц и высокодисперсного углерода в Суб-ТГц диапазоне // Новые материалы и перспективные технологии: Шестой междисциплинарный научный форум с международным участием. – М., 2020. – Т. 2. – С. 39–42.
2. Михайлова А.К., Корчагина М.В. Эластомеры, их применение и переработка // Будущее науки : сборник научных статей 6-й Международной молодежной научной конференции. – 2018. – Т. 4. – С. 58–60.
3. Qiguang H., Zhijian W., Yang W. et al. Electrospun liquid crystal elastomer microfiber actuator // Science robotics. – 2021. – Vol 6, Is. 57. – P. eabi9704.
4. Портер А.М., Исаев Р.Е. Увеличение ресурса двигателей, испытывающих ударные и фрикционные нагрузки, за счет применения эластомеров // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2008. – № 127. – С. 129–132.
5. Осовская И.И., Савина Е.В., Левич В.Е. Эластомеры: учебное пособие. – СПб.: ВШТЭСПБ-ГУТД, 2016. – 126 с.

Моделирование процесса СВЧ отогрева глубокого обморожения

А.Н. Нечаев

Научный руководитель: докт. техн. наук, профессор, Г.Е. Дунаевский

Национальный исследовательский Томский государственный университет г. Томск

E-mail: Sasha8227039@gmail.com

Аннотация: В данной работе показано создание фантома конечности руки человека схожий по диэлектрической проницаемости с тканью человека, так же проведён эксперимент моделирующий отогрев СВЧ-излучением конечности человека и измерение температуры в объёме фантома.

Ключевые слова: СВЧ-излучение, фантом, лечение обморожения, моделирование объектов.

Введение

Эффективность отогрева обморожения конечности с помощью СВЧ- была доказана на животных (кролики) [1]. Для масштабного перехода от маленькой конечности животного к крупной конечности человека необходимо решение большого числа новых задач. Размеры конечности человека, состав и объёмы биологических тканей существенно отличаются. Кроме того, необходимо не только обеспечить близкий к равномерному прогрев всего объема холодной травмы, уделяя особое внимание замедленному отогреву «критических зон» (ладоней, пальцев рук). Принципиальная возможность решения этих задач была показана авторами в прежних этапах работы [2,3].

Материалы и методы исследования

В программе для 3D-моделирования была построена модель фантома конечности руки человека (рис. 1), позволяющая масштабно изменять её размеры. Фантом имеет упрощенную геометрическую форму набора малых плоских областей.

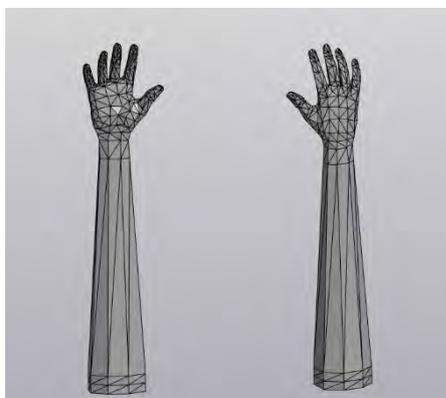


Рис. 1. Кусочно-плоская модель для 3D-печати оболочки фантома руки человека

При более мелком разбиении модели на элементарные ячейки точность воспроизведения конфигурации руки (пальцев, ладони, предплечья) возрастет, нократно увеличится и время вычислений распределения полей. Выбранный в данной работе размер ячейки от 10 до 1200 мм² достаточен и для воспроизведения конфигурации руки при печати оболочки фантома, и для быстрых вычислений распределения полей. Размеры модели руки: высота – 46 см, ширина ладони – 8,5 см, длина среднего пальца – 7,5 см.

Для 3D-печати оболочки фантома конечности человека использовался пластик ABS (рис. 2). Диэлектрическая проницаемость используемого пластика ABS на частоте 2,45 ГГц: действительная часть составляет: $\epsilon' = 2,7$, мнимая: $\epsilon'' = 0,1$ (рис. 3). Толщина стенок фантомов, созданных методом 3D-печати, составила 2 мм.



Рис. 2. Фантом взрослой руки, изготовленный из ABS пластика

Наполнитель фантома имитирует биологическую ткань человека. Подробно методика моделирования биотканей сложными растворами описана в работе [4]. Подбором состава и концентрации различных наполнителей в этой работе получены растворы, по своим диэлектрическим параметрам, близким к значениям соответствующих параметров мышечной ткани человека.

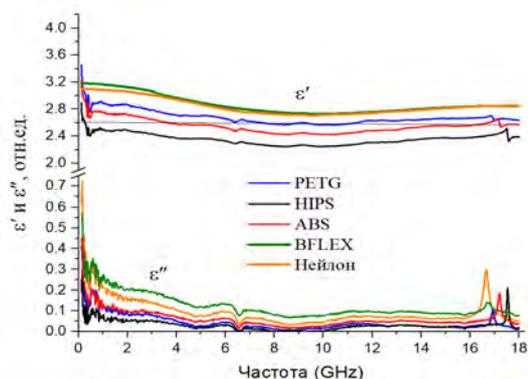


Рис. 3. Диэлектрическая проницаемость пластиков

Для исследований объемного распределения тепловых полей в вышеописанных фантомах применялась описанная в [4] экспериментальная установка. На рисунке 4 приведены результаты измерения распределений тепловых полей вдоль центральной оси фантома взрослой руки.

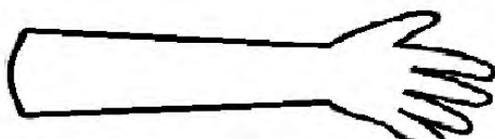
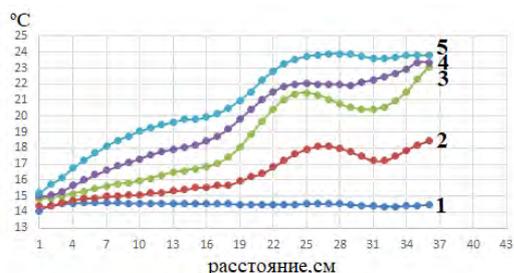


Рис.4. Распределение температуры вдоль центральной оси фантома взрослой руки до СВЧ-нагрева 1, и после 4 сеансов нагрева 2, 3, 4 и 5

Перед началом эксперимента фантом охлаждался до температуры ниже 15 °С, соответствующей температуре холодного ишемизирования сосудов [5], после чего размещались в камере. Затем закрывался защитный чехол, включался генератор, уровень мощности генератора устанавливался равным 40 Вт, и осуществлялся нагрев камеры в течение 6 минут. Затем защитный рукав открывался и производилось погружение термодатчика вдоль той же оси фантома (рис. 4, график 2). После чего термометр извлекался, закрывался защитный чехол и снова осуществлялся нагрев в течение 6 минут при том же уровне мощности. Затем снова измерялось распределение температуры вдоль центральной оси. Подобные сеансы нагрева с последующими измерениями осуществлялись в фантоме 4 раза.

Результаты исследования

По результатам измерений хорошо видны области более быстрого нагрева в сечениях сужения фантома, быстрый нагрев в этой области связан с более тонким местом фантома, так же видно, что при первом же нагреве фантома (рис. 4, график 2) проявляется неравномерный нагрев, но после нескольких сеансов нагрева происходит выравнивание температуры. Самым важным здесь результатом является соотношение максимальных значений температуры после одинаковых по длительности и мощности процедур нагрева, эта температура составила 24 °С.

Заключение

Применение полимерного связующего НЕС в совокупности с водой, солью и сахаром позволяет создать воспроизводимый и стабильный состав, диэлектрическая проницаемость которого несколько ниже проницаемости мышечной ткани, но близка к проницаемости сложного композита, каковым является конечность.

В дальнейшем можно использовать данный тип фантома конечности человека, но необходимо провести добиться более ровного температурного нагрева за счёт изменения мощности и времени воздействия СВЧ-излучения.

Список литературы

1. Горелик И.Э. Профилактика некроза при отморожениях конечностей в дореактивном и раннем реактивном периодах : автореф. дис. ... канд. мед. наук. – Кемерово, 2010. – 23 с.
2. Экспериментальное обоснование возможности использования сверхвысокочастотного излучения малой мощности в раннем реактивном периоде при глубоких холодových травмах: отчет о НИР / рук. Г.Е. Дунаевский; Проект № 8.2.09.2016, выполненный в рамках Программы повышения конкурентоспособности ТГУ, мероприятие 8.2.
3. Исследование динамики изменений электромагнитного и теплового полей в объеме фантома конечности при маломощном микроволновом нагреве : отчет о НИР / рук. Г.Е. Дунаевский; Проект № 8.2.35.2018Л, выполненный в рамках Программы повышения конкурентоспособности ТГУ, мероприятие 8.2. – Томск, 2019. – 95 с. – Пер. № НИ-ОКТР АААА – Б20 – 22002119011-2.
4. User's and Service Guide Supplement on Agilent E8363B [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.testunlimited.com/pdf/an/E8364-90027.pdf>. (дата обращения: 22.04.2023).
5. Гаврилин Е.В Регионарные нарушения внутрикостной гемодинамики в патогенез и лечении

Секция 2

ОПТИКА, ФОТОНИКА И ОПТОИНФОРМАТИКА

Разработка лабораторного стенда для изучения квантовой генерации случайных чисел

А.В. Бахус¹, М.В. Болтанский², М.И Шульга¹, Д.В. Шкрабин¹, А.А. Волков³

Научный руководитель: канд. тех. наук, доцент О.В. Колесников¹

¹Московский технический университет связи и информатики, г. Москва

²Российский Университет Дружбы Народов, г. Москва

³Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва

E-mail: sasha.bahus.01@mail.ru

Аннотация: В работе представлен пример реализации квантового генератора случайных чисел на основе научно-образовательного комплекса. Были получены экспериментальные данные, описывающие распределение вероятности того, что амплитуда генерируемых импульсов будет превышать заданный предел. Также была получена последовательность случайных битов, которая была проверена на характер случайности. На основе всех полученных данных, был сделан вывод об адекватности работы собранного квантового генератора случайных чисел.

Ключевые слова: квантовый генератор случайных чисел, квантовое распределение ключей, криптография.

Введение

Криптография в области связи необходима, как инструмент защиты конфиденциальных данных и средство противодействия возможного прослушивания канала передачи информации. Случайные числа необходимы для реализации большинства криптографических алгоритмов. Поэтому так важно реализовать такой генератор случайных чисел, который удовлетворял бы строгим требованиям случайности, так как случайные числа часто используются для генерации ключей. А от этих ключей зависит криптостойкость всей системы [1].

На сегодняшний день существует большое кол-во возможных реализаций программного генератора случайных чисел (ГСЧ). Они способны генерировать числа, но они являются псевдослучайными. Квантовый генератор же лишен этого недостатка. В возможном будущем, когда будет реализован полноценный квантовый компьютер, потребуются новые методы шифрования – квантовая криптография. Квантовая криптография использует симметричное шифрование, которое опирается на метод «одноразового блокнота». Этот метод очень требовательный к случайности ключа. Квантовый генератор случайных чисел (КГСЧ) является истинно случайным, так как основывается на истинной случайности, заложенной в основе квантовой физики.

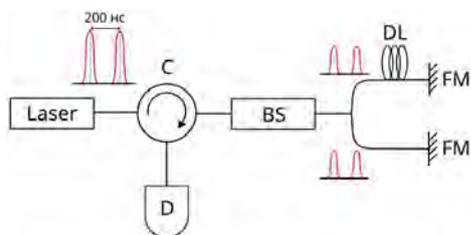
Поэтому была поставлена задача реализовать квантовый генератор случайных чисел, на

основе научно-образовательного комплекса «EMQOS 1.0», который предназначен для исследования технологий квантового распределения ключа, и создать стенд для будущего обучения студентов основам квантовой криптографии и возможной реализации генератора случайных чисел.

Материалы и методы исследования

Существует разделение генераторов случайных чисел: программные и аппаратные. Квантовые генераторы являются аппаратными и имеют разные способы реализации, например использующие однофотонные состояния [2]. Для честной реализации таких состояний требуется источники одиночных фотонов, которые, в настоящее время остаются достаточно дорогими и сложными устройствами [3]. Представленный в данной работе генератор (рис. 1) основан на рандомизации фазы полупроводникового лазера: при работе полупроводникового лазера в режиме переключения усиления каждый новый импульс появляется со случайной фазой. Поэтому, когда последовательно сгенерированные импульсы будут интерферировать между собой, на детекторе будет наблюдаться случайная амплитуда напряжения, причем случайность в данном случае будет иметь квантовое происхождение [4]. Лазер генерирует импульсы с частотой 5 МГц (200 нс между импульсами). Они отправляются в бимсплиттер, на котором разделяются на два других импульса

поделив интенсивности 50/50. Одно плечо содержит в себе задерживающую линию, которая имеет специально рассчитанную длину. Ее длина рассчитана таким образом, чтобы импульсы, которые генерируются с разностью 200 нс, интерферировали между собой.



С – циркулятор, D – детектор, BS – светоделитель, DL – линия задержки, FM – зеркало Фарадея.

Рис. 1. Схема квантового генератора случайных чисел

Результаты исследования

В качестве детектора для набора статистики используется цифровой осциллограф. По полученным данным строится гистограмма (рис. 2), которая будет описывать плотность вероятности генерации определенных значений.

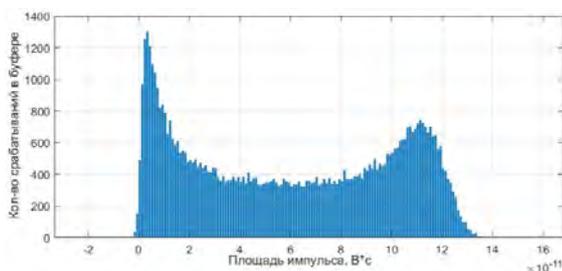


Рис. 2. Распределение вероятности

По форме построенной гистограммы можно судить о корректности работы собранной установки [5]. Также для оцифровки сигнала, выходящего из фотоприемника, можно использовать компаратор, который будет сравнивать амплитуды интерференционных импульсов с пороговым напряжением, которое можно определить из анализа полученной статистики.

По подобному принципу, на основе статистики, была получена битовая последовательность, которая также была использована для оценки работы генератора. Для этого был использован набор статистического тестирования «NIST», который предназначен для проверки последовательности битовой строчки на уникальность и случайность ее распределения [6].

После успешного прохождения 15 тестов (рис. 3), также был сделан вывод о корректной работе собранного стенда.

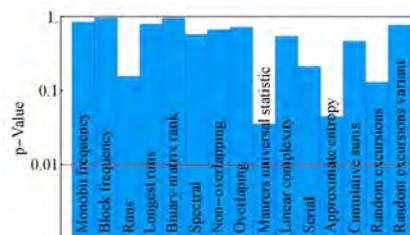


Рис. 3. Результаты прохождения тестирования

Заключение

Вследствие развития квантовых технологий, методы криптографии становятся более требовательными к генерации случайных чисел, поэтому, чтобы подготовиться к растущим запросам, необходимо научиться реализовывать максимально простым и эффективным образом квантовые генераторы случайных чисел. Достаточно простым решением этой задачи является подход, описанный в этой статье. Успешная реализация этого подхода позволило создать лабораторный стенд для обучения студентов основам квантовой криптографии.

Список литературы

1. Pivoluska M., Plesch M. Device Independent Random Number Generation // Acta physica slovacica. – 2014. – Vol. 64, No. 6. – P. 600–663.
2. Ma X., Yuan X., Cao Z., Qi B. et al. Quantum random number generation // npj Quantum information. – 2016. – Vol. 2. – P. 16021.
3. Миронов Ю.Б., Казанцев С.Ю., Шаховой Р.А. и др. Анализ перспектив развития источников одиночных фотонов в системах квантового распределения ключей // Научные исследования Земли. – 2021. – Т. 13, № 6. – С. 22–33.
4. Herrero-Collantes M. Quantum random number generators // Reviews of Modern Physics. – 2017. – Vol. 89. – P. 015004.
5. Shakhovoy R., Sych D., Sharoglazova V. et al. Quantum noise extraction from the interference of laser pulses in an optical quantum random number generator // Optics Express. – 2020. – Vol. 28(5). – P. 6209–6224.
6. Будько М.Б., Будько М.Ю., Гирик А.В. и др. Методы генерации и тестирования случайных последовательностей: учебное пособие. – СПб.: Университет ИТМО, 2019. – 70 с.

Воздействие внешних электрических полей на волоконно-оптические линии связи

Д.В. Болотов, Э.Ю. Бушуев

Научный руководитель: докт. физ.-мат. наук, профессор С.Ю. Казанцев

Московский технический университет связи и информатики, г. Москва

E-mail: d.v.bolotov@mtuci.ru

Аннотация: Создан экспериментальный стенд для исследования изменения характеристик канала связи в ВОЛС при воздействии электромагнитных полей, формируемых на лабораторной установке имитации грозовых разрядов. Установлено, что электрические поля от облака заряженного аэрозоля существенным образом изменяет поляризацию излучения, распространяющегося по волоконно-оптической линии связи. Исследованы зависимости угла поворота плоскости поляризации от параметров электрических полей, формируемых на лабораторной установке.

Ключевые слова: волоконно-оптические линии связи, квантовое распределение ключа, грозозащита, нелинейные эффекты.

Введение

Известно, что грозовые разряды могут оказывать разрушительное воздействие на волоконнооптические линии связи (ВОЛС) [1]. В последнее время, с ростом скорости передачи данных и появлением квантовых сетей, где осуществляется передача данных, защищенных по технологии квантового распределения ключей, внимание к проблеме возникновения помех в ВОЛС от грозовых разрядов существенно возросло. Оптическое волокно чувствительно к различным внешним воздействиям, что используется при создании разнообразных волоконных датчиков [2]. В последнее время из-за изменения климата, вызванного глобальным потеплением, частота гроз в средних и высоких широтах значительно возросла. Молнии вызывают не только физическое повреждение оптического кабеля, но и за счет сильных электромагнитных полей, сопровождающих грозовые разряды, изменяют поляризационные характеристики оптического кабеля [3,4], поэтому требуется всесторонний анализ факторов атмосферных разрядов, влияющих на характеристики оптического волокна. Очевидно, что изучение этих факторов целесообразно проводить в лабораторных условиях, где возможно обеспечить высокую воспроизводимость экспериментальных условий. В частности, представляется привлекательным использовать возможности уникальной установки по созданию искусственных молний, разработанной в МЭИ [5]. Широкие возможности данной установки позволяют исследовать самые разные аспекты грозовых

разрядов разряды, которые моделируются с помощью создания облака, заряженного водного аэрозоля [5, 6].

Целью настоящей работы являлось исследование воздействия электрических полей от заряженного водного аэрозоля на поляризационные характеристики оптического кабеля.

Материалы и методы исследования

Ниже описана общая схема экспериментальной установки, представленной на рисунке 1. Излучение от лазера Nolatech DFB- 14BF (Л), установленного в контроллер Thorlabs CLD1015, проходит через 5 км оптического волокна стандарта G.652, находящееся в бухте (БОВ). Далее, излучение проходит механический контроллер поляризации (КП) и направляется в поляризационный светоделитель на базе одномодового оптического волокна с сохранением поляризации ПМ1550 (ПСД), где разделяется на два плеча. В плече 1 установлен измеритель мощности (ИМ) Thorlabs S156C который подключён к системе сбора данных измерений (ССДИ). В плече 2, с целью регистрации быстрой динамики изменения мощности, установлен фотоприемник Thorlabs DXM30AF подключённый к осциллографу Tektronix DPO 7254 входящем в ССДИ. К ранее упомянутой системе подключены: антенна для детектирования электромагнитного электрических разрядов (А), фотоприемник для регистрации электрических пробоев на стержень имитирующий молниеотвод, датчик протекающего через стержень тока (ДТ).

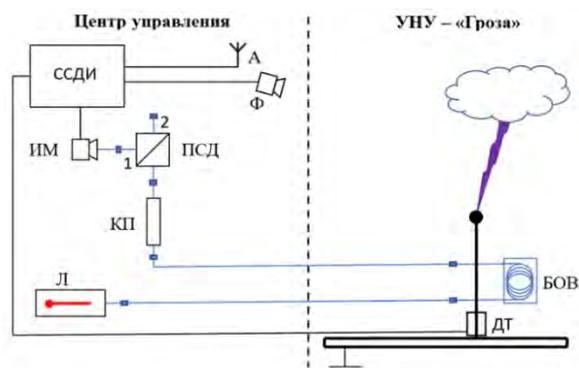


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Бухта оптического волокна размещалась на заземленной плоскости вблизи металлического стержня, имитирующего молниеотвод. Перед включением установки мощность излучения, выходящего в первое плечо светоделиителя, выводилась на максимум с помощью механического поляризационного контролера после чего включалась подача аэрозоля и высокого напряжения, после чего начинался замер исследуемых параметров. В предварительных экспериментах было установлено, что изменение мощности излучения, проходящий через плечи светоделиителя связано именно с электрическим полем облака аэрозоля. Без подачи высокого напряжения на установку, мощность лазера, регистрируемая в разных плечах поляризационного светоделиителя, со временем не менялась. Аэрозольная камера вентилировалась, оптическое волокно было надёжно закреплено, существенный нагрев БОВ, который мог бы повлиять на результаты эксперимента, не выявлен.

Результаты исследования

На рисунке 2 показана зависимость мощности лазера, регистрируемой в первом плече поляризационного светоделиителя от времени работы УНУ «Гроза». Из рисунка 2 видно, что после начала распыления в камере с БОВ заряженного аэрозоля и электрическое поле над бухтой оптического волокна увеличивается, наблюдается снижение оптической мощности, измеряемой в первом плече поляризационного светоделиителя. Светоделиитель функционирует следующим образом: он частично пропускает и частично отражает падающее на него линейно поляризованное излучение. Таким образом изменение угла поворота плоскости поляризации лазерного излучения при внешнем воздействии, в данном случае, электрического поля на оптическое волокно ведёт к изменению регистрируемой детекторами мощности оптического излучения. При этом сумма мощностей лазер-

ного излучения в двух плечах остаётся неизменной. Конечно, нельзя говорить о электрическом поле не упоминая магнитное. В [1] доказано, что на малых дистанциях электрическое поле влияет гораздо сильнее чем магнитное. Опираясь на вышеизложенное, можно заключить что приведённые экспериментальные данные показывают влияние, большей степени, электрического поля.

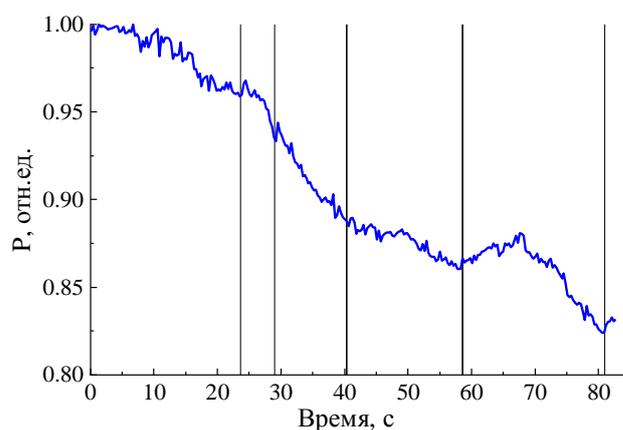


Рис. 2. Зависимость мощности лазерного излучения в первом плече поляризационного светоделиителя от времени

Изломы на рисунке 2, соответствующие замедлению снижения мощности, коррелировали с электрическими пробоями из облака заряженного аэрозоля на молниеотвод. Примеры резкого характера изменения мощности при электрических пробоях отмечена чёрными линиями. Отмечены наиболее наглядные участки. После каждого электрического пробоя с заряженного аэрозоля на молниеотвод характерно повышение мощности оптического сигнала в одном из плеч ПСД и понижение в другом. В данном случае приведён график для плеча 1.

Заключение

Обычно, влияние электрических полей на ВОЛС не принимают в расчет и основное внимание уделяется быстрым процессам изменением поляризационного состояния сигналов, возникающих вследствие эффекта Фарадея [7]. Однако наши эксперименты выявили, что электрические поля, предшествующие искровому пробую, могут существенно менять поляризационные состояния сигнала.

Благодарности

Мы благодарны сотрудникам Национального исследовательского университета «МЭИ» Темникову А.Г. и Беловой О.С., за предоставление

доступа и всестороннюю поддержку в использовании УНУ «Гроза».

Список литературы

1. Соколов С.А. Воздействие внешних электромагнитных полей на оптические кабели связи и гибридные линии: учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2018. – 214 с.
2. Болотов Д.В., Комаров О.А. Анализ потока научно-технической литературы по направлению волоконные датчики // НТИ-2022. Научная информация в современном мире: глобальные вызовы и национальные приоритеты : материалы 10-ой научной конференции с международным участием, посвященной 70-летию ВИНТИ РАН. – М: ВИНТИ РАН, 2022. – С. 533–537. – doi 10.36535/2022-9785945770829-96.
3. Кonyшев В.А., Лукашова Т.О., Наний О.Е. и др. Влияние ударов молнии на работу когерентной системы связи на основе ВОЛС-ВЛ // Прикладная фотоника. – 2020. – Т. 7, №. 2. – С. 118–129.
4. Горбатов Д.В., Дорожкин А.Н., Игуменов А.Ю. и др. Изменение поляризации света при ударе молнии: зоны изотропности анизотропного оптического волокна // Квантовая электроника. – 2022. – Т. 52, №. 10. – С. 923–928.
5. Lysov N., Temnikov A., Chernensky L. et al. The physical experimental modelling of the formation processes of upward discharges from grounded objects in the artificial thunderstorm cell's electric field // Atmosphere. – 2022. – Vol. 13. – P. 1339. – doi: 10.3390/atmos13081339.
6. Аполлонов В.В. Василяк Л.М., Верещагин И.П. и др. Экспериментальное моделирование системы лазерной молниезащиты на установке с искусственным облаком заряженного водного аэрозоля // Квантовая электроника. – 2002. – Т. 32, №. 6. – С. 523–527.
7. Charlton D., Clarke S., Doucet D. et al. Field measurements of SOP transients in OPGW, with time and location correlation to lightning strikes // Optics Express. – 2017. – Vol. 25, No 9. – P. 9689–9696.

Влияние дефектов и примесей на спектры электролюминесценции и вольтамперные характеристики алмаза

З.И. Бородулин¹

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук М.А. Шулепов^{1,2}

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск

²Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск

E-mail: zahar.borodulin12@gmail.com

Аннотация: В работе исследуется влияние примесей и дефектов кристаллической решетки алмаза на электролюминесценцию и ВАХ-характеристики алмазных образцов. Рассмотрены характеристики никелевых центров и НЗ центров для электролюминесценции. Представлены ВАХ образцов и спектры с разными дефектами.

Ключевые слова: электролюминесценция, алмаз.

Введение

Алмаз является широкозонным полупроводником с шириной запрещенной зоны 5,49 эВ. Достоинствами алмазных излучателей света является компактность, возможность интеграции с алмазными квантовыми сенсорами и при этом относительно высокая яркость. [1]. Электролюминесценция в алмазе может использоваться для создания светодиода и лазера. Такие устройства могут использоваться в бортовой радиоэлектронной аппаратуре космических аппаратов, в квантовых сенсорах, в квантовом компьютере и в системах квантового шифрования. Для создания полноценного алмазного светодиода необходимо определить, какие дефекты и примеси способствуют электролюминесценции. Из-за того, что синтез алмаза стал эффективным только в последние 10 лет, не было определено при каком напряжении и токе возникает свечение в разных дефектах.

Материалы и методы исследования

Было просканировано 84 алмазных образца. Образец алмаза прикреплялись к медной пластинке на координатном столике микроскопа. Для получения электролюминесценции была собрана схема из источника постоянного напряжения, сканирующей иглы, подключенной к отрицательному полюсу источника питания, образца, пластины, подключенной к положительному полюсу источника. Свечение регистрировалось на видеокамеру, установленной на микроскоп, а спектры регистрировались с помощью аппаратно-программного спектрометрического комплекса со спектральным диапа-

зоном 190–1100 нм. Интенсивность свечения образцов менялась, при сканировании поверхности кристалла. В некоторых точках алмаза электролюминесценция отсутствовала. Для регистрации вольтамперной характеристики (ВАХ) образец помещался в неоптический гелиевый криостат замкнутого цикла Janis. Образец закреплялся на медной пластине. К образцу в точки электролюминесценции подводился зонд. Измерения происходили при откачке воздуха из криостата. ВАХ регистрировались при напряжении от –30 до 40 В.

Результаты

Сканирование поверхности образцов показало области с высокой концентрацией дефектов и примесей (далее точки электролюминесценции), при воздействии на которые наблюдался максимум интенсивности излучения. Найдены напряжения, при которых в образцах наблюдаются интенсивный свет, который может регистрировать спектрометр. 200 В, 14 В, 50 В и 20 В для образцов С12, С13, С34 и С36, соответственно. На рисунке 1 приведены спектры электролюминесценции центров окраски 4 образцов при комнатной температуре и постоянном напряжении на зоне ЭЛ образца 300 В.

Предположительно, дефектами и примесями, которые способствуют электролюминесценции в этих образцах, являются центры никеля и НЗ[2].

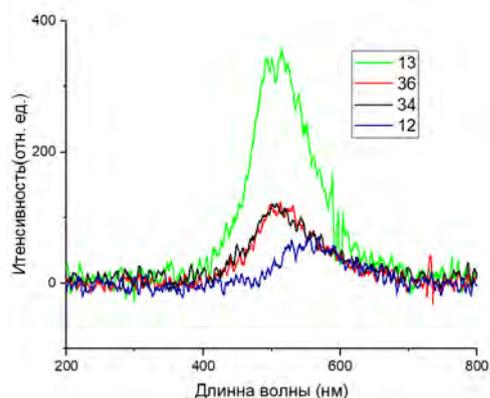


Рис. 1. Спектры электролюминесценции образцов С12, С13, С34, С36

ВАХ данных образцов в зонах электролюминесценции имеет несимметричный характер зависимости с явным преобладанием величины прямого тока над обратным. При изменении направления развертки изменяются обе ветви (прямая и обратная) ВАХ. Также обнаружен факт существенного увеличения прямого и обратного токов при вакуумировании образца. При этом максимальное увеличение прямого тока происходит примерно на 30%, а обратного на 60%. При нагревании образцов увеличивалась проводимость, а при охлаждении уменьшалась. Энергия активации по токовым измерениям для С34 и С36 370 мэВ, а С13 480 мэВ.

Исследование образца С13 показало, что оптическое излучение данного образца обнаруживается начиная со значения напряжения

смещения около 14 В как при визуальном наблюдении, так и при детектировании его фотодиодом. Несмотря на отсутствие стабильности излучения образца, средние значения потока излучения образуют линейный участок на зависимости потока излучения от протекающего тока в диапазоне напряжений от 14 до 27 В. Явное преобладанием величины прямого тока над обратным. При прямой развертке на прямой ветви ВАХ имеется резкий скачок тока при напряжении около 20 В, который немного изменяет свое положение от измерения к измерению. Данная закономерность меняет свой характер в зависимости от того, производится измерения при атмосферном давлении или при вакуумировании.

Заключение

В результате проведенных исследований выявлены зависимости спектров электролюминесценции и ВАХ от примесей и дефектов. Предположительно у определённых дефектов алмаза индивидуальная энергия активации. Это может объяснить отсутствие стабильности.

Список литературы

1. Хмельницкий Р.А. Синтетический алмаз для электроники и оптики. – М.: Издательство ИКАР, 2017. – 4 с.
2. Zaitsev A.M. Optical properties of diamond. A data handbook. – Berlin: Springer, 2001. – С. 346.

Люминесценция единичных частиц вольфрамово-рудных концентратов Барун-Нарынского техногенного месторождения

Я.И. Григоров^{1,2}

Научный руководитель: докт. физ.-мат. наук, профессор Е.Ф. Мартынович^{1,2}

¹Иркутский государственный университет, г. Иркутск

²Иркутский филиал Института лазерной физики СО РАН, г. Иркутск

E-mail: crevedcko.1@gmail.com

Аннотация: Экспериментально апробированы лазерно-оптические методы характеристики минерального состава вольфрамово-рудных месторождений на примере Барун-Нарынского поля. Результаты лазерных исследований минерального состава единичных зерен рудного концентрата в случайной выборке совпали с результатами минералогического анализа.

Ключевые слова: вольфрам, минерал, концентрат, сепарация, люминесценция, комбинационное рассеяние, месторождение, редкие земли.

Введение

В современной промышленности вольфрам занимает очень важное место и является стратегическим ресурсом. Он используется: как легирующая добавка к сталям и как компонент некоторых других особо прочных сплавов, как правило, на основе карбида вольфрама. Это жаропрочный, температура плавления 3420 °С, и химически стойкий материал, при комнатной температуре окисляется только царской водкой и смесью азотной и плавиковой кислот. Материал, которому было найдено множество применений, начиная от ламп накаливания в быту и заканчивая сердечниками броневой снарядов. Он используется в химической, горнодобывающей, оборонной промышленности и, благодаря своим свойствам, в значительной мере обеспечивает научно-технический прогресс. Поэтому исследования, связанные с источниками этого ресурса крайне важны [1–3].

Целью работы являлось изучение возможностей применения лазерно-люминесцентных методов исследования для получения детальной информации о минеральном составе и других свойствах вольфрамовых руд конкретных месторождений. В данной работе представлены результаты исследования руд Барун-Нарынского техногенного месторождения в Забайкалье.

Материалы и методы исследования

В данной работе проводились: исследования отдельных зерен вольфрамово-рудного концентрата, полученного методом винтовой сепарации (размер зерен ~ 20–150 мкм).

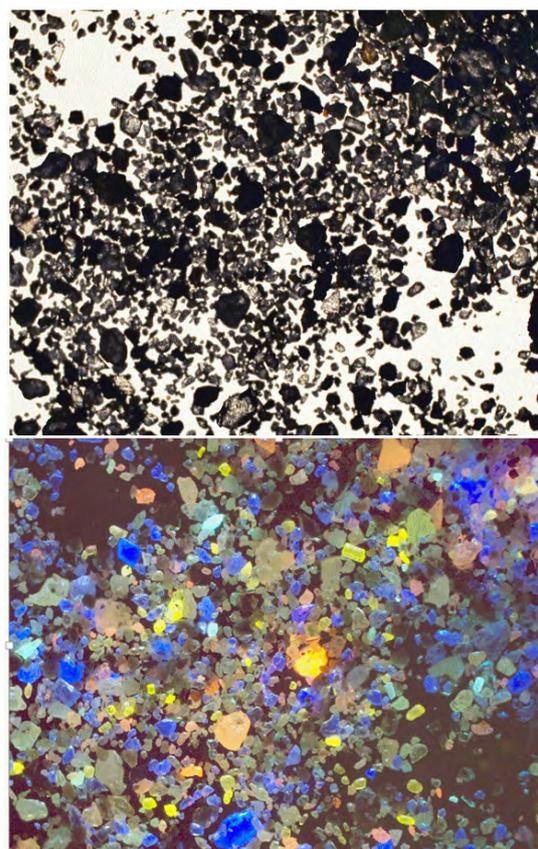


Рис. 1. Фотографии частиц концентрата при комнатном освещении (вверху) и в люминесцентном излучении, при возбуждении излучением с длиной волны 405 нм (внизу)

Вначале снимались обзорные фотографии концентрата, люминесцирующего всеми цветами радуги (рис. 1). Затем отдельные зёрна концентрата исследовались методами конфокальной сканирующей люминесцентной микроспектро-

скопии с временным разрешением с помощью микроскопа MicroTime 200, сопряженного со спектрометром Ocean Optics QE65000, а также методами конфокальной микроспектроскопии комбинационного рассеяния света (КРС) с помощью микроскопа WITec Alpha 300R. Затем спектры КРС сопоставлялись с эталонными спектрами различных минералов из информационной базы данных. Таким образом определялся минеральный состав каждой отдельной крупницы исследуемого рудного концентрата. По спектрально-временным характеристикам люминесценции определялась природа собственных и примесных центров свечения [4, 5].

Результаты исследования

Были измерены спектры фотолюминесценции (ФЛ) и её кинетические кривые, а также спектры КРС большого количества образцов, 45 зерен, вольфрамово-рудного концентрата.

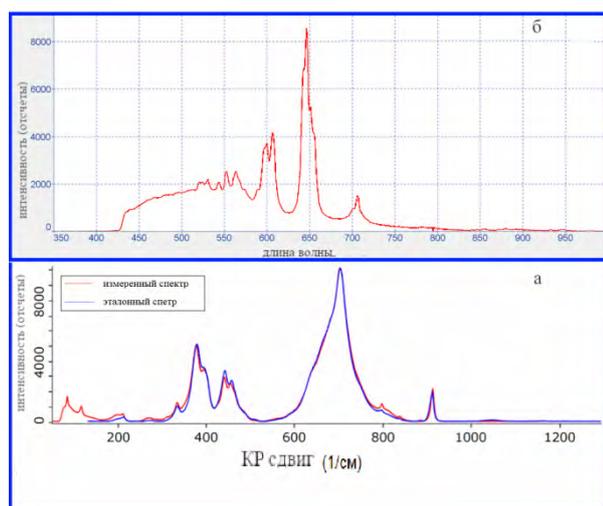


Рис. 2. Измеренный спектр комбинационного рассеяния одного из зёрен (№8) в сравнении с эталонным спектром шеелита (а) и спектр фотолюминесценции (б) того же образца

Данные, представленные на рисунке 2а в качестве примера для одного из исследованных образцов, позволяют сделать однозначный вывод о том, что данный образец – это минерал шеелит (вольфрамат кальция, CaWO_4). Нормированный спектр КРС практически полностью совпадает с эталонным спектром. Вместе с тем, люминесцентные характеристики, приведенные на рисунке 2б, показывают, что центрами лю-

минесценции в данном образце являются собственные центры WO_3 и трехвалентные редкоземельные ионы.

Для примера приведем результаты определения минералов в одной случайной выборке из 45 зерен концентрата: Шеелит + Гюбнерит – 16 зёрен, Флюорит – 8, Рутил – 4, Апатиты – 3, Циркон – 2, Пирит – 2, Барит – 2, Ярозит – 1, Анатаз – 1, Микроклин – 1, Кварц – 1, Титанит – 1, Корунд – 1, неопознанных зёрен – 2. Процент числа частиц, относящихся к минералам вольфрама в этой выборке – 36%, что соответствует данным независимого минералогического анализа этого концентрата.

Заключение

Проведенные исследования показали, что при исследовании только лазерно-оптическими методами представительной выборки частиц вольфрамово-рудных концентратов различных месторождений можно достаточно полно характеризовать минеральный состав руды, наличие в ней характерных примесей и некоторые другие свойства месторождения.

Благодарности

Автор признателен чл.-корр. РАН Д.П. Гладкочубу за предоставление возможности проведения исследований на микроскопе WITec Alpha 300R, С.А. Прокопьеву за предоставление рудного концентрата, а также А.Л. Ракевичу и Б.С. Данилову за помощь в проведении измерений.

Список литературы

1. Хатьков В. Ю., Боярко Г. Ю. Современное состояние вольфрамовой промышленности России // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – Т. 330, № 2. – С. 124–137.
2. Никонов Н.В. Вольфрам. Свойства, применение, производство, продукция. – М.: Метотехника, 2012. – 23 с.
3. Зеликман А.Н., Никитина Л.С. Вольфрам. – М.: Металлургия, 1978. – 272 с.
4. Горобец Б.С., Рогожин А.А. Спектры люминесценции минералов. Справочник. – М.: ВИМС, 2001. – 294 с.
5. Confocal Raman Microscopy / Ed. by J. Toporski, T. Dieing, O. Hollricher // Springer Series in Surface Sciences. – 2018. – Vol. 66. – 596 p.

Моделирование и оптимизация коэффициента усиления и полосы пропускания лавинного фотодиода на основе кремния и германия

Х. Диб, К.И. Хомякова

Научный руководитель: докт. физ.-мат. наук А.П. Коханенко

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск

E-mail: deeb.hazem.syr@gmail.com

Аннотация: В данной работе представлены зависимости коэффициента усиления и полосы пропускания от напряжения смещения для разных толщин слоев поглощения и умножения лавинного фотодиода на основе Ge/Si.

Ключевые слова: лавинный фотодиод, полоса пропускания, моделирование, кремний, германий.

Введение

Последние достижения в области информационных технологий, такие как большие данные, облачные вычисления, облачное хранилище и т.д, стимулируют экспоненциальный рост передачи данных на высокопроизводительных компьютерах, в центрах обработки данных и в системах связи на большие расстояния [1].

Являясь незаменимым блоком оптической линии связи, фотоприемники, обладающие высокой чувствительностью, большой полосой пропускания и совместимостью с КОМП (комплементарная структура металл-оксид-полупроводник), играют решающую роль в снижении энергопотребления линии связи за счет значительного снижения требований к мощности лазера [2]. Фотоприемники с внутренним коэффициентом усиления выгодны тем, что повышают отношение сигнал/шум и подавляют негативное влияние тепловых помех в трансимпедансных усилителях, тем самым повышая чувствительность обнаружения. Лавинные фотодиоды (ЛФД) линейного режима чаще всего используются для повышения чувствительности, но для их работы обычно требуются большие напряжения смещения.

Для устранения многих недостатков полезной альтернативой существующим технологиям обнаружения является использование германия в качестве поглотителя в тандеме со слоем умножения кремния [3-4].

Материалы и методы исследования

В данной работе с помощью программы TCAD были спроектированы пять структур лавинных фотодиодов на основе Ge/Si. На рисун-

ке 1 представлено поперечное сечение структуры лавинного фотодиода на основе Ge/Si.

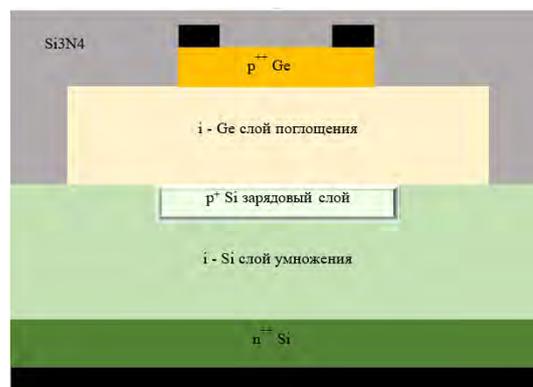


Рис. 1. Поперечное сечение структуры лавинного фотодиода на основе Ge/Si

В ходе моделирования проводилось сравнение лавинных фотодиодов на основе Ge/Si разными толщинами слоев поглощения Ge (1 мкм, 1,5 мкм, 2 мкм) и умножения Si (0,5 мкм, 1 мкм, 1,5 мкм) по коэффициенту усиления, полосе пропускания и умножению коэффициента усиления на полосу пропускания, которые существенно влияют на работу устройства.

Результаты

На рисунке 2 представлены зависимости коэффициента умножения M от разности напряжения пробоя и смещения для пяти лавинных фотодиодов на основе Ge/Si. Для данных ЛФД коэффициент усиления увеличивается при уменьшении слоя поглощения и при увеличении слоя умножения. Максимальный коэффициент усиления в линейном режиме у ЛФД с размерами Ge – 1 мкм Si – 1,5 мкм.

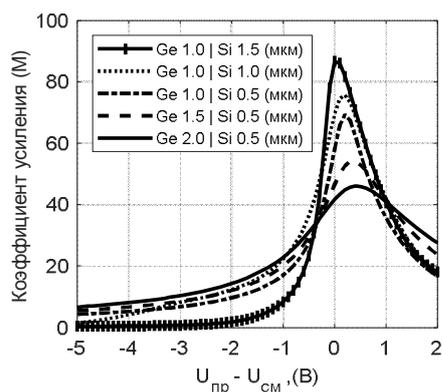


Рис. 2. Зависимость коэффициента умножения M от разности напряжения пробоя и смещения для пяти лавинных фотодиодов на основе Ge/Si

На рисунке 3 представлены зависимости полосы пропускания Δf от разности напряжения пробоя и смещения для пяти лавинных фотодиодов на основе Ge/Si при освещении на длине волны 1310 нм с входной оптической мощностью -20 дБм. У ЛФД (Ge – 1 мкм, Si – 1,5 мкм) очень маленькая полоса пропускания в отличие от ЛФД (Ge – 1 мкм, Si – 0,5 мкм).

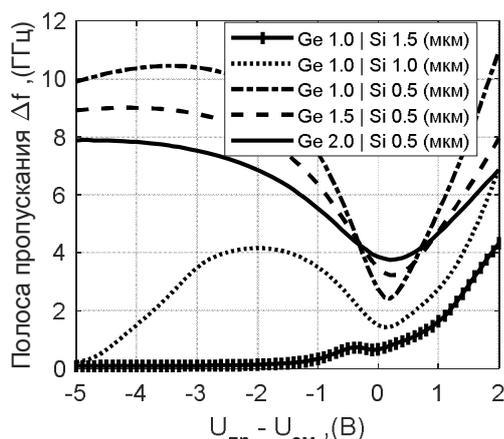


Рис. 3. Зависимость полосы пропускания Δf от разности напряжения пробоя и смещения для пяти лавинных фотодиодов на основе Ge/Si

На рисунке 4 представлена зависимость произведения коэффициента усиления на полосу пропускания от разности напряжения пробоя и смещения для пяти лавинных фотодиодов на основе Ge/Si. При рассмотрении рисунка 2 и 3 видно, что при увеличении коэффициента усиления полоса пропускания уменьшается, поэтому произведение коэффициента усиления на полосу пропускания представляет собой очень важный показатель для определения производительности лавинного фотодиода.

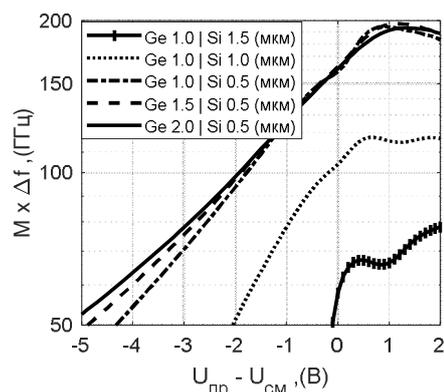


Рис. 4. Зависимость произведения $M \times \Delta f$ от разности напряжения пробоя и смещения для пяти лавинных фотодиодов на основе Ge/Si

Заключение

В целом, размеры слоев умножения и поглощения в ЛФД должны быть подобраны так, чтобы сбалансировать характеристики устройства. Конкретные размеры, обеспечивающие наилучшую производительность, будут зависеть от конкретных требований к устройству и условий эксплуатации.

Таким образом, ЛФД с толщинами слоя поглощения 1 мкм и слоем умножения 0,5 мкм является оптимальным вариантом по коэффициенту усиления, полосе пропускания и произведению коэффициента усиления на полосу пропускания. Представленные результаты моделирования параметров ЛФД послужат для создания экспериментальных структур и исследования их практических параметров.

Благодарности

Научное исследование выполнено при поддержке Программы развития Томского государственного университета (Приоритет-2030) (проект №2.0.6.22 ЛМУ).

Список литературы

1. Zeng X., Huang Z., Wang B. et al. Silicon-germanium avalanche photodiodes with direct control of electric field in charge multiplication region // Optica. – 2019. – Vol. 6. – P. 772–777.
2. Alloatti L., Ram R. J. Resonance-enhanced waveguide-coupled silicon-germanium detector // Appl. Phys. Lett. – 2016. – Vol. 108. – P. 071105.
3. Kang Y., Liu H.-D., Morse M. et al. Monolithic germanium/silicon avalanche photodiodes with 340 GHz gain-bandwidth product // Nat. Photonics. – 2009. – Vol. 3. – P. 59–63.
4. Assefa S., Xia F., Vlasov Y. A. Reinventing germanium avalanche photodetector for nanophotonic on-chip optical interconnects // Nature. – 2010. – Vol. 464. – P. 80–84.

Исследование генерации второй гармоники в новых трехкатионных скандоборатах методом Куртца–Перри

А.Я. Жамус¹

Научные руководители: канд. физ.-мат. наук, доцент В.А. Светличный¹;
канд. геол.-минерал. наук А.Б. Кузнецов²

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск

²Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск

E-mail: ammarjamous2@gmail.com

Аннотация: В данной работе исследованы нелинейно-оптические свойства новых трёхкатионных скандоборатных кристаллов $R_xLa_ySc_z(BO_3)_4$ ($R = Eu, Ho$; $x+y+z=4$). Порошковым методом Куртца–Перри изучена эффективность генерации второй гармоники (ГВГ) излучения наносекундного Nd:YAG-лазера. Определены величины эффективной нелинейной восприимчивости ($d_{эфф}$) изученных кристаллов и обсуждено влияние их химического состава на эффективность ГВГ.

Ключевые слова: нелинейная оптика, генерация второй гармоники (ГВГ), метод Куртца–Перри, скандобораты, редкоземельные элементы.

Введение

На сегодняшний день лазеры широко используются в различных технологиях. В связи с широким практическим использованием лазеров требуются повышение эффективности современных лазерных систем, и охват широких спектральных областей. Для решения этих задач остается актуальным поиск новых активных и нелинейных материалов для генерации и преобразования лазерного излучения, позволяющих преобразовывать лазерное излучение методами нелинейной оптики. Представляют также интерес многофункциональные материалы, например, так называемые кристаллы с самоудвоением частоты – материалы которые являются активной средой твердотельного лазера, и, одновременно выполняют функцию преобразования частоты [1].

Кристаллы на основе боратов всегда были перспективными нелинейно-оптическими материалами, благодаря таким свойствам как широкая область прозрачности, высокий порог лазерного разрушения, кроме того, бораты имеют широкий спектр химического состава, и кристаллизуются по разным структурам, что дает широкую возможность поискать и создать новые нелинейно-оптические кристаллы на их основе [2]. Среди известных и широко используемых нелинейных кристаллов можно выделить однокатионные ВВО, LBO, СВО, ВВО и двухкатионные КАВО, CLBO и др. Данные свойства обуславливают интерес поиска и синтеза других оксидных кристаллов на основе

боратов; в т. ч. трехкатионных ортоборатов, которые успешно синтезируются и исследуются в последнее время. В боратах редкоземельных элементов сочетается возможность лазерной генерации с широкой областью прозрачности в ультрафиолетовом диапазоне и высоким порогом лазерного разрушения [2].

Данная работа посвящена исследованию ГВГ в порошках новых кристаллов на основе боратов и определению их коэффициентов эффективной нелинейной восприимчивости, в сравнении с известным кристаллом KDP, при воздействии наносекундного (нс) излучения, методом Куртца–Перри, а также влияния их химического состава на эффективность ГВГ. Таким образом, актуальность данной работы определяется необходимостью расширения номенклатуры многофункциональных оптических материалов для решения задач нелинейной оптики.

Метод Куртца–Перри (К-П) является первым способом быстрого тестирования эффективности ГВГ, без необходимости выращивания объемных кристаллов. В своей работе [3] Куртц и Перри показали, что используя лишь кристаллические порошки можно оценить нелинейность кристалла, и определить достигается ли условие фазового синхронизма в исследуемом кристалле.

Материалы и методы исследования

Для исследования были выбраны два кристалла трёхкатионных скандоборатов

$\text{Eu}_{0,5}\text{La}_{0,5}\text{Sc}_3(\text{BO}_3)_4$ (Eu:LSB) и $\text{Ho}_{0,75}\text{La}_{0,75}\text{Sc}_{2,5}(\text{BO}_3)_4$ (Ho:LSB), выращенные методом TSSG в лаборатории роста кристаллов в институте геологии и минералогии СО РАН в городе Новосибирске. Исходные образцы представляли собой порошок из неориентированных монокристаллов. В качестве стандартного образца использовался порошок кристалла KH_2PO_4 (KDP) с известными нелинейными свойствами, а также для сравнения полученных результатов был использован порошок кристалла $\text{Tb}_{0,23}\text{La}_{0,77}\text{Sc}_3(\text{BO}_3)_4$ (TLSB) который был представлен в работе [4]. Порошки были просеяны и распределены в 7 диапазонах размеров частиц: 20-40, 40-56, 56-80, 80-100, 100-125, 125-140 и 140-200 мкм.

Для исследования эффективности ГВГ в порошковых образцах была разработана установка по исходной схеме К–П [3]. Для накачки был использован нс-импульсный Nd:YAG лазер LS-2132UTF (LOTIS ТП, Беларусь) ($\lambda = 1064$ нм, $\tau = 7$ нс). ГВГ была исследована при разных плотностях мощностей до 60 МВт/см^2 ; уровень накачки изменялся набором светофильтров, а измерение значения энергии лазерного импульса накачки производилось с помощью термокалориметра 12А-Р (Ophir). Излучение, сгенерированное исследуемым порошком на удвоенной частоте, фокусировалось линзой, а затем проходило через набор светофильтров BGG 24–26 (Thorlabs), пропускающих излучение на удвоенной частоте (532 нм), но отсекающих излучение основной гармоники (1064 нм). После этого излучение попадало на фотодиод DET100А, подключённый к осциллографу TDS 1012C-EDU (Tektronix).

Из аппроксимированных кривых интенсивности ГВГ в зависимости от плотности мощности, рассчитывался коэффициент эффективной нелинейной восприимчивости для фракций, размер которых больше 100 мкм [5] с помощью следующей формулы:

$$d_{\text{эфф}}(\text{R: LSB}) = d_{\text{эфф}}(\text{KDP}) \cdot \sqrt{\frac{I_{\text{ГВГ}}(\text{R: LSB})}{I_{\text{ГВГ}}(\text{KDP})}}, \quad (1)$$

где $d_{\text{эфф}}(\text{KDP})$, $I_{\text{ГВГ}}(\text{KDP})$ – эффективная восприимчивость и интенсивность сигнала ВГ соответственно, для кристалла KDP. $d_{\text{эфф}}(\text{R: LSB})$, $I_{\text{ГВГ}}(\text{R: LSB})$ – эффективная восприимчивость и интенсивность сигнала ВГ соответственно, для кристаллов R:LSB; (R = Eu, Ho).

Результаты исследования

На рисунке 1 приведены результаты исследования ГВГ как функция от плотностей мощностей лазера накачки. Наблюдается характер-

ная квадратичная зависимость интенсивности ГВГ от плотности мощности накачки как для стандартного образца KDP, так и для исследуемых кристаллов. они также имеют одинаковые формы кривых.

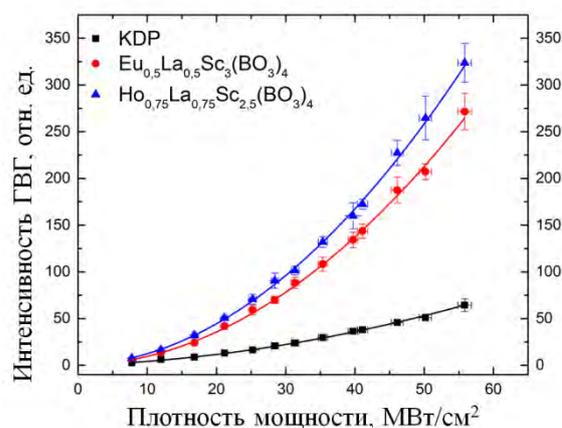


Рис. 1. Интенсивность ГВГ в зависимости от плотности мощности накачки, фракция 100-125 мкм

На рисунке 2 представлены результаты исследования ГВГ для разных размеров частиц. Как показано на рисунке, при увеличении размера фракции увеличивается эффективность ГВГ, что говорит о выполнении условия фазового синхронизма в изученных кристаллах.

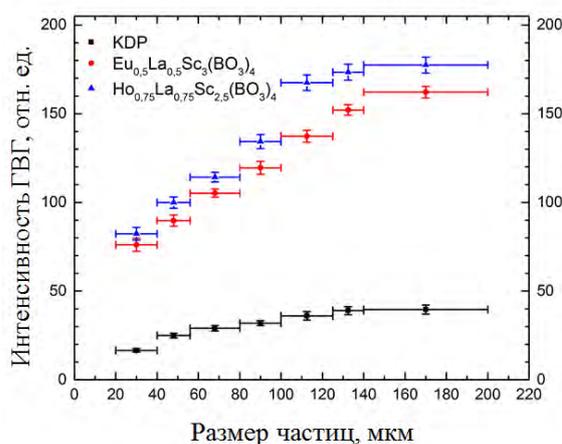


Рис. 2. Интенсивность ГВГ для разных размеров частиц кристаллов KDP, Eu:LSB, Ho:LSB

Интенсивность ГВГ примерно в 4–5 раз, чем KDP. Это превышает полученную интенсивность кристаллами $\text{K}_7\text{M}^{\text{II}}\text{Y}_2(\text{B}_5\text{O}_{10})_3$ ($\text{M}^{\text{II}} = \text{Ca}, \text{Sr}, \text{Ba}$) ($0,9-1,2 \times \text{KDP}$) [6], и также кристаллами $\text{K}_7\text{MRE}_2\text{B}_{15}\text{O}_{30}$ ($\text{M} = \text{Zn}, \text{Cd}, \text{Pb}$; $\text{RE} = \text{Sc}, \text{Y}, \text{Gd}, \text{Lu}$) ($1,5-2,1 \times \text{KDP}$) [7].

Полученные результаты также позволяют оценить эффективность нелинейного преобразования для исследуемых образцов; интенсивность ГВГ в порошках исследуемых кристаллов составляет 4,16 и 4,79 по отношению к KDP для Eu:LSB и Ho:LSB соответственно, таким образом, оценка величины эффективной нелинейной восприимчивости дает (табл. 1): $\sim 2,04 \cdot d_{\text{эфф}}(\text{KDP})$ и $\sim 2,19 \cdot d_{\text{эфф}}(\text{KDP})$ для Eu:LSB и Ho:LSB соответственно.

Таблица 1. Относительная эффективная нелинейная восприимчивость исследованных кристаллов

Фракция, мкм	$d_{\text{эфф}}/d_{\text{эфф}}(\text{KDP})$	
	Eu:LSB	Ho:LSB
100-125	1,9513	2,1551
125-140	2,0539	2,1933
140-200	2,1209	2,2184
Сред. знач.	2,0420 ± 5,41%	2,1889 ± 3,80%

Образцы $R_x\text{La}_y\text{Sc}_z(\text{BO}_3)_4$ ($R = \text{Eu}, \text{Ho}$) демонстрируют понятную зависимость эффективности ГВГ в зависимости от R : с увеличением молярной массы растет эффективность ГВГ.

Результаты исследования ГВГ в образце TLSB подтверждают полученную закономерность зависимости эффективности ГВГ от химического состава кристалла. На рисунке 3 представлены интенсивности ГВГ в зависимости от размеров фракций для $R_x\text{La}_y\text{Sc}_z(\text{BO}_3)_4$ ($R = \text{Eu}, \text{Tb}, \text{Ho}$); эффективность преобразования растет с ростом молекулярной массы редкоземельного элемента (R).

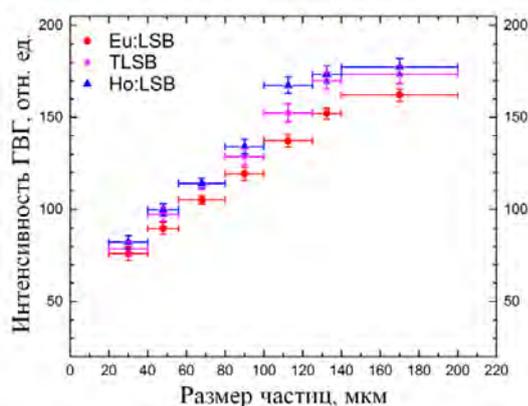


Рис. 3. Интенсивность ГВГ в зависимости от размера частиц для кристаллов $R_x\text{La}_y\text{Sc}_z(\text{BO}_3)_4$ ($R = \text{Eu}, \text{Tb}, \text{Ho}$)

Оценка величины $d_{\text{эфф}}(\text{TLSB})$ относительно $d_{\text{эфф}}(\text{KDP})$ составляет 2,08 что согласуется со значением 2,1, полученным в работе [5], это

больше чем для Eu:LSB и меньше чем для Ho:LSB.

Заключение

В результате исследований ГВГ методом К-П было установлено, что выбранные для тестирования трёхкатионные скандбораты имеют коэффициенты эффективной нелинейной восприимчивости, сравнимые с коэффициентами KDP. Кроме того, присутствие в их составе элементов из f-группы открывает возможность их применения в качестве флуоресцирующих материалов или активных сред твердотельных лазеров, что делает их перспективными для использования в качестве среды с самоудвоением частоты генерации. В дальнейшем планируются исследования спектрально-люминесцентных свойств, а также нелинейного преобразования частот, при накачке перестраиваемого фемтосекундного Ti:Sapphire лазера.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке проекта РНФ 23-19-00617.

Список литературы

- Lu D., Fang Q., Yu X., et.al. Power scaling of the self-frequency-doubled quasi-two-level Yb:YCOB laser with a 30% slope efficiency // Optics Letters. – 2019. – Vol. 44. – P. 5157–5160.
- Кузнецов А. Б. Кристаллизация, структурные особенности и оптические свойства новых редкоземельных боратов : дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – Новосибирск, 2020. – 128 с.
- Kurtz S.K., Perry T.T. A powder technique for the evaluation of nonlinear optical materials // J. Appl. Phys. – 1968. – Vol. 39(8). – P. 3798–3813.
- Kuznetsov A., Kokh A., Kononova N. et al. New scandium borates $R_x\text{La}_y\text{Sc}_z(\text{BO}_3)_4$ ($x+y+z=4$, $R=\text{Sm}, \text{Tb}$): Synthesis, growth, structure and optical properties // Materials Research Bulletin. – 2020. – Vol. 126. – P.110850–110856.
- Sutherland R.L., McLean D.G., Kirkpatrick S. Handbook of nonlinear optics. – New York : Marcel Dekker, 2003. – 946 p.
- Mutailipu M., Xie Zh., Su X. et.al. Chemical co-substitution-oriented design of rare-earth borates as potential ultraviolet nonlinear optical materials // J. Am. Chem. Soc. – 2017. – Vol. 139(50). – P. 18397–18405.
- Xie Zh., Mutailipu M., He Gu. et.al. A Series of rare-earth borates $\text{K}_7\text{MRE}_2\text{B}_{15}\text{O}_{30}$ ($M = \text{Zn}, \text{Cd}, \text{Pb}$; $\text{RE} = \text{Sc}, \text{Y}, \text{Gd}, \text{Lu}$) with large second harmonic generation responses // Chem. Mat. – 2018. – Vol. 30(7). – P. 2414–2423.

Электрофизические свойства структур Ga₂O₃/GaAs

О.С. Киселева, Б.О. Кушнарев, А.В. Цымбалов

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук, доцент В.М. Калыгина

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск

E-mail: olya.kiseleva90@mail.ru

Аннотация: В данной работе исследованы электрические и фотоэлектрические характеристики структур Ga₂O₃/n(p)-GaAs. При работе на постоянном сигнале образцы проявляют свойства фотодиода и способны работать в автономном режиме. Фотоэлектрические характеристики детекторов во время непрерывного действия излучения с $\lambda = 254$ нм определяются высокой плотностью ловушек на границе Ga₂O₃/GaAs и в объеме оксидной пленки. Средние значения напряжения холостого хода U_{xx} структур Ga₂O₃/n-GaAs составляют 0,4 В, ток короткого замыкания $I_{кз} = 1 \cdot 10^{-6}$ А. Если при прочих равных условиях Ga₂O₃ наносится на пластину GaAs:Cr, то U_{xx} повышается до 0,8 В, а $I_{кз} = 6 \cdot 10^{-9}$ А.

Ключевые слова: УФ-излучение, ток короткого замыкания, напряжение холостого хода.

Введение

Одним из перспективных направлений разработки детекторов коротковолнового излучения являются устройства, способные работать в автономном режиме. Фотодетекторы с автономным питанием обладают рядом преимуществ перед другими устройствами на основе широкозонных материалов, способных обнаруживать ультрафиолетовое излучение. Такие фотодетекторы имеют простое устройство и, что особо важно, предполагают прямую интеграцию с технологией изготовления структур металл-диэлектрик-полупроводник (МДП) [1].

Материалы и методы исследования

В данной работе были исследованы образцы Ga₂O₃/GaAs с разным типом проводимости подложки. Пленку оксида галлия получали ВЧ-магнетронным напылением на подложки n-GaAs с концентрацией $N_d = 9,5 \cdot 10^{14}$ см⁻³, либо p-GaAs с $N_a = 9 \cdot 10^{15}$ см⁻³. Толщина оксидной пленки составляла 120–150 нм. После нанесения оксидной пленки структуры не подвергались термической обработке. На поверхность Ga₂O₃ напылялся платиновый электрод с площадью 1,04 см²; на тыловую сторону полупроводниковой подложки наносили контакт в виде сплошной металлической пленки Au:Ge. Часть образцов аналогичным способом получена на пластинах GaAs:Cr.

Результаты исследования

Измерения на частоте 106 Гц показали, что вольт-фарадные и вольт-сименсные зависимости образцов на основе n-GaAs описываются

кривыми, характерными для структур металл-диэлектрик-полупроводник и обнаруживают слабую чувствительность к излучению с $\lambda = 254$ нм. При включении УФ излучения наблюдается лишь небольшой рост проводимости G в режиме обеднения, емкостные свойства структуры практически не изменяются.

Темновые вольт-амперные характеристики (ВАХ) и ВАХ при воздействии ультрафиолетового излучения исследовали при комнатной температуре с помощью источника-измерителя Keithley 2611В. В качестве источника УФ-излучения (УФИ) использовалась лампа VL-6 с фильтром на 254 нм. Измерения проводили при интенсивности УФИ равной 0,78 мВт/см².

При работе на постоянном сигнале образцы проявляют свойства фотодиода и способны работать в автономном режиме (рисунок 1) [2]. Наибольшие изменения прямых и обратных токов во время УФИ наблюдаются при первом опросе детектора (I_{L1}) и незначительно снижаются при последующих измерениях ВАХ во время непрерывного действия УФ излучения (рис. 1, кривые $I_{L2} - I_{L4}$). Среднее значение напряжения холостого хода U_{xx} структур Ga₂O₃/n-GaAs составляют 0,4 В; ток короткого замыкания $I_{кз} = 1 \cdot 10^{-6}$ А (рис. 1).

В случае образцов на основе p-GaAs и GaAs:Cr при положительных потенциалах на электроде к оксидной пленке наблюдается прямая ветвь ВАХ (рис. 2). Из этого следует, что GaAs:Cr проявляет свойства полупроводника р-типа проводимости.

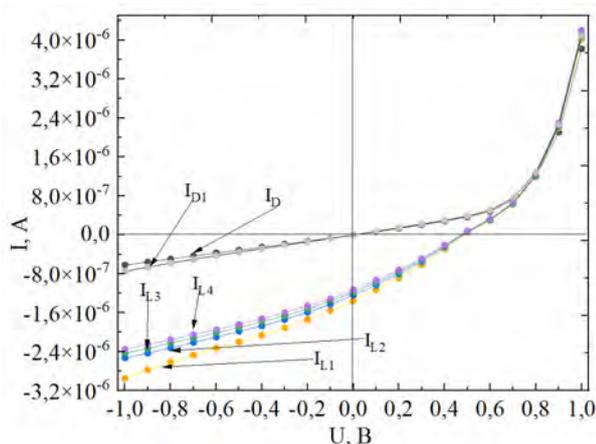


Рис. 1. ВАХ структуры $\text{Ga}_2\text{O}_3/\text{n-GaAs}$ при положительных и отрицательных потенциалах на электроде: темновые (I_D), при воздействии излучения с $\lambda = 254 \text{ нм}$ (I_L) и остаточный ток (I_{D1})

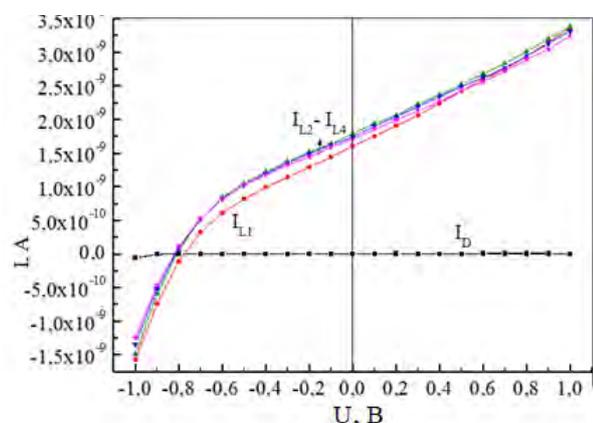


Рис. 2. ВАХ структуры $\text{Ga}_2\text{O}_3/\text{GaAs:Cr}$ при воздействии УФ-излучения и в его отсутствии

Для образца $\text{Ga}_2\text{O}_3/\text{GaAs:Cr}$ U_{xx} повышается до 0,8 В, а $I_{кз} = 6 \cdot 10^{-9} \text{ А}$. В случае же подложки р-GaAs U_{xx} составляет 0,6 В, а $I_{кз}$ несколько нА.

Подобно многим детекторам УФИ на основе пленок оксида галлия структуры $\text{M}/\text{Ga}_2\text{O}_3/\text{n-GaAs}$, исследованные в данной работе, обнаруживают остаточные токи, обозначенные на рисунке 1 как кривые I_{D1} . Фотоэлектрические характеристики детекторов во время непрерывного действия излучения с $\lambda = 254 \text{ нм}$ и наличие остаточных токов определяются высокой плотностью ловушек на границе $\text{Ga}_2\text{O}_3/\text{GaAs}$ и в объеме оксидной пленки.

Несмотря на наличие остаточных токов временные параметры работы детекторов, исследованных в данной работе, характеризуются малыми временами отклика (τ_r) и восстановления (τ_d) и составляют 1–2 секунды (рис. 3).

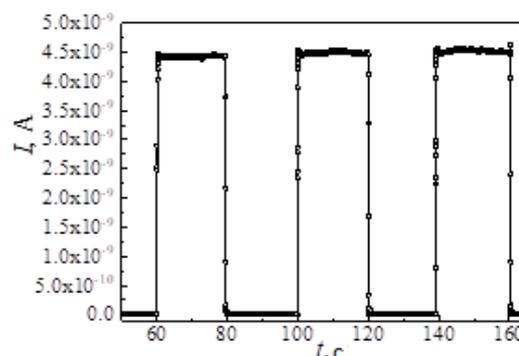


Рис. 3. Временные зависимости изменения тока в структуре $\text{Ga}_2\text{O}_3/\text{GaAs:Cr}$ при включении и выключении излучения с $\lambda = 254 \text{ нм}$, $U = 1 \text{ В}$

Заключение

После проделанной работы можно сделать вывод: образцы $\text{Ga}_2\text{O}_3/\text{GaAs}$ проявляют свойства фотодиодов, способных работать в фотovoltaическом режиме; структуры, исследованные в данной работе, обнаруживают чувствительность к глубокому УФ-диапазону; времена отклика и восстановления не превышают 1–2 секунды.

Благодарности

Научное исследование выполнено при поддержке № 075-15-2022-1132.

Список литературы

1. Bae J., Park Ji-H., Jeon D.-W., Kim J. Self-powered solar-blind $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ thin-film UV-C photodiode grown by halide vapor-phase epitaxy // APL Mater. – 2021. – Vol. 9(10). – 101108. – P. 1–7.
2. Guo D., Su Yu., Shi H. al. Self-powered ultraviolet photodetector with superhigh photoresponsivity (3.05 A/W) based on the GaN/Sn: Ga₂O₃ pn Junction // ACS Nano. – 2018. – Vol. 12(12). – P. 12827–12835.

Анализ длины димерного ряда при гетероэпитаксиальном росте Ge/Si(100) методом дифракции быстрых отраженных электронов

О.И. Кукенов, А.С. Соколов

Научный руководитель: докт. физ.-мат. наук А.П. Коханенко

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск

E-mail: okukenov@mail.ru

Аннотация: В работе представлено исследование длины димерных рядов сверхструктуры $2 \times N$ в зависимости от температуры в диапазоне 200–550 °С. Обнаружено изменение длины димерного ряда при росте Ge на Si(100) от температуры роста. Увеличение длины димерного ряда говорит о росте упругих напряжений в системе, а значит, может влиять на критическую толщину слоя Ge на Si(100).

Ключевые слова: молекулярно-лучевая эпитаксия, дифракция быстрых отраженных электронов, гетероэпитаксия, сверхструктура $2 \times N$.

Введение

Улучшение качества полупроводниковых наноструктур является важной задачей современной наноэлектроники. Кремний – самый распространённый полупроводник на Земле, поэтому соединения на его основе уделяется особое внимание. Параметры полупроводниковых наноструктур напрямую зависят от таких ростовых параметров как температура синтеза, скорость роста, ориентация кристалла относительно плоскости среза и др. Правильный подбор ростовых параметров позволяет синтезировать полупроводниковые наноструктуры с требуемыми параметрами. Несмотря на то, что исследование гетероэпитаксиального роста Ge на Si ведутся уже давно, всё ещё остаются неисследованные особенности роста. Цель работы: исследовать влияние температур в диапазоне 200–550 °С в процессе роста на размеры димерных рядов при синтезе Ge на Si(100).

Материалы и методы исследования

Для того, чтобы получаемые наноструктуры имели высокое качество и минимальное количество дефектов их синтез эпитаксиальных слоев Ge на Si(100) производился методом молекулярно-лучевой эпитаксии на установке МЛЭ «Катунь-100». Анализ проводился методом дифракции быстрых отражённых электронов ДБОЭ в процессе роста, что позволяло в режиме реального времени судить о морфологии поверхности [1].

Исследования методом ДБОЭ проводились при использовании пучка высокоэнергетических электронов (до 26 кэВ) под малыми скользкими углами (1–2°) к подложке [2–3].

Изменение дифракционных картин регистрируется на камеру высокого разрешения с по-

следующей обработкой на компьютере. Пример картины дифракции показан на рисунке 1.

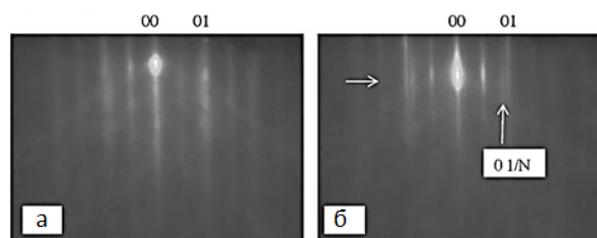


Рис. 1. Дифракционная картина в направлении [110] в случае чистого Si(100) (а) и при росте Ge на Si(100) (б)

На рисунке 1а изображена картина дифракции до начала напыления. На ней различимы рефлексы от атомов элементарных ячеек: центральный рефлекс «00» и рефлексы «01», а также между «00» и «01» располагаются рефлексы « $1/2$ » от сверхструктур 1×2 и 2×1 .

Начальной стадией формирования квантовых точек Ge на Si(100) является возникновение сверхструктуры $2 \times N$. Встраивание Ge в матрицу Si приводит к тому, что димеры объединяются в димерные ряды с разделяющими их вакансиями димеров. Благодаря упорядоченному расположению вакансий, на картине дифракции формируются рефлексы $1/N$ (рис. 1б), по которым можно судить о длине димерного ряда [4].

Дифракционный параметр $1/N$ определялся как отношение расстояния между максимумами интенсивности, соответствующими рефлексам «01» и « $1/N$ », к расстоянию между максимумами интенсивности, соответствующими рефлексам «01» и «00», выраженному в процентах [5].

Эксперименты проводились после химической очистки подложки с последующим высоковакуумным отжигом при температуре 1000 °С. Скорость роста Ge составляла $1,25 \pm 0,06$ МС/мин.

Результаты и обсуждение

Для получения температурной зависимости величины параметра $1/N$ в диапазоне температур 200–550 °С с шагом 50°С, измерялось положение рефлекса «1/N» относительно положения рефлексов «00» и «01». Величина параметра $1/N$ определялась с точностью до $\pm 0,58$ %, а температура – с точностью до $\pm 12,5$ °С.

Влияние температуры на величину дифракционного параметра показано на рисунке 2.

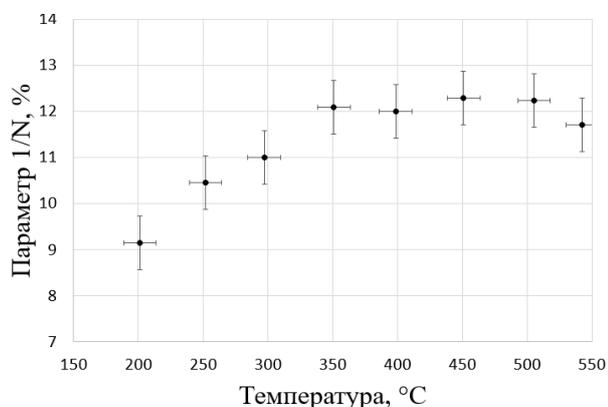


Рис. 2. Зависимость параметра $1/N$ от температуры

При повышении температуры от 200 до 350 °С происходит увеличение параметра $1/N$. Увеличение $1/N$ до уровня 11,5% говорит о том, что с ростом температуры осуществляется более полная релаксация упругих напряжений в системе за счет появления большего числа ва-

кансий димеров. Далее от 350 до 550°С параметр $1/N$ практически не меняется.

Заключение

В работе обнаружено изменение длины димерного ряда при росте Ge на Si(100) от температуры роста. Увеличение длины димерного ряда говорит о росте упругих напряжений в системе, а значит, может влиять на критическую толщину слоя Ge на Si(100) [5]. Результаты полезны при разработке технологии создания квантовых ям Ge/Si(100) и квантовых точек Ge/Si(100) с требуемыми параметрами.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 21-72-10031.

Список литературы

1. Hafez M.A., Zayed M.K., Elsayed-Ali H.E. Review: Geometric interpretation of reflection and transmission RHEED patterns // *Micron*. – 2022. – Vol. 159. – P. 103286-1–103286-21.
2. David T., Aqua J.N., Liu K. et al. New strategies for producing defect free SiGe strained nanolayers // *Scientific reports*. – 2018. – Vol. 8. – P. 2891.
3. Dirko V.V., Lozovoy K.A., Kokhanenko A.P., Voitsekhevskii A.V. Thickness-dependent elastic strain in Stranski–Krastanow growth // *Russian Physics Journal*. – 2020. – Vol. 22. – P. 19318–19325.
4. Voigtlaender B. Fundamental processes in Si/Si and Ge/Si epitaxy studies by scanning tunnelling microscopy during // *Surf. Sci. Rep.* – 2001. – Vol. 43. – P. 127–254.
5. Dirko V.V., Lozovoy K.A., Kokhanenko A.P., Voitsekhevskii A.V. High-resolution RHEED analysis of dynamics of low-temperature superstructure transitions in Ge/Si(001) epitaxial system // *Nanotechnology*. – 2021. – Vol. 33(22). – P. 115603-1–115603-8.

Дистанционное обнаружение органофосфатов

С.Н. Мурашко^{1,2}, А.Д. Сафьянов^{1,2}

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук Е.В. Горлов^{1,2}

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск

²Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск

E-mail: msn_17@mail.ru, raichu12123@gmail.com

Аннотация: представлены результаты по дистанционному обнаружению фосфорорганических соединений методом лазерной фрагментации/лазерно-индуцированной флуоресценции на расстоянии 10 м.

Ключевые слова: органофосфаты, лазерная фрагментация, лазерно-индуцированная флуоресценция.

Введение

Одними из самых токсичных веществ выступают органофосфаты, или фосфорорганические соединения (ФОС). ФОС оказывают на человеческий организм нервно-паралитическое действие, а вместе с высокой проникающей способностью такие вещества могут вызвать интерес у различных террористических группировок. Большинство используемых в настоящее время методов и средств обнаружения отравляющих веществ (ОВ) требуют предварительной процедуры пробоотбора. Такой подход не всегда может оказаться применим, поскольку существует вероятность заражения персонала, а также физической недоступности объекта контроля. В связи с этим приобретает актуальность задача создания прибора дистанционного обнаружения ОВ. Таким образом, целью настоящей работы является разработка, создание и экспериментальная проверка работоспособности лабораторного стенда для дистанционного обнаружения ФОС. Исследование может внести вклад в развитие следующих критических технологий РФ: «1. Безопасность и противодействие терроризму» и «19. Технологии мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды, предотвращения и ликвидации ее загрязнения».

Материалы и методы исследования

Методом обнаружения ОВ выбран метод лазерной фрагментации/лазерно-индуцированной флуоресценции (ЛФ/ЛИФ). Решение обусловлено высокой чувствительностью ЛФ/ЛИФ (менее *ppb*), а также возможностью проводить дистанционные измерения на расстоянии нескольких десятков метров. Его суть состоит в предварительном

разбиении молекул ОВ лазерным излучением на более простые составляющие с последующим лазерным возбуждением флуоресценции образовавшихся характеристических фрагментов. Применение лазерной фрагментации позволяет свести задачу обнаружения сложных многоатомных молекул к задаче обнаружения простых молекул «осколков». В случае органофосфатов такими характеристическими фрагментами являются молекулы оксида фосфора РО.

Фотофрагментация молекул ФОС производилась излучением третьей гармоники Nd:YAG-лазера с длиной волны $\lambda = 266$ нм. Для возбуждения флуоресценции РО-фрагментов ФОС выбран перестраиваемый Krf-лазер. Тест-объект представлял собой бумагу с нанесенными на ее поверхность следами триэтилфосфата (ТЭФ).

Приемная система построена по схеме телескопа Ньютона, блок спектральной фильтрации и фотодетектирования выполнен на базе спектрометра Shamrock SR-500i. Регистрация полученного спектра проводилась с помощью стробируемой ПЗС-камеры с усилителем яркости iStar DH-712.

Проверка работоспособности стенда проводилась путем сравнения положения экспериментально полученных полос флуоресценции РО-фрагментов с теоретическими данными. Для математического расчета положений линий испускания оксида фосфора использовались молекулярные константы и значения термов, представленные в спектроскопических базах данных ExoMol [1] и Nist [2].

Результаты исследования

На рисунке 1 представлена блок-схема лабораторного стенда для эксперименталь-

ного исследования возможности дистанционного обнаружения ФОС. Излучение лазеров фокусировалось на тест-объекте линзами Л1–Л4. Возбуждение флуоресценции РО-фрагментов, образовавшихся в результате фотодиссоциации ТЭФ, проводилось излучением с длиной волны $\lambda = 247,78$ нм соответствующей максимуму поглощения ветви P_{12} перехода $A^2\Sigma^+ (v' = 0) - X^2\Pi (v'' = 0)$ молекулы РО. Объект с нанесенными на его поверхность следами ФОС располагался на расстоянии 10 м от стэнда.

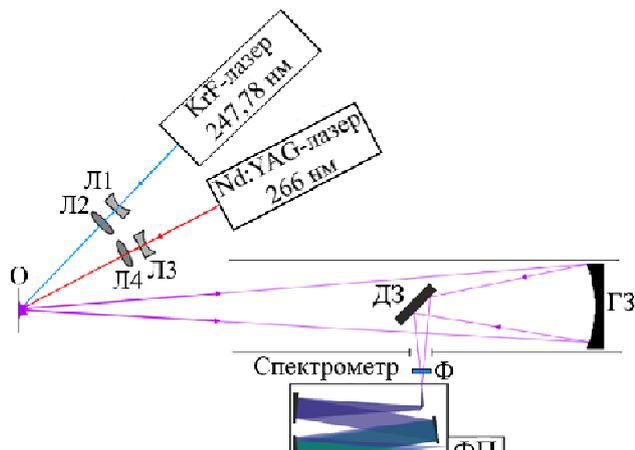


Рис. 1. Блок-схема лабораторного стэнда: Л1–Л4 – линзы; О – объект с нанесенными на его поверхность следами ФОС; ГЗ – главное зеркало приемного телескопа; ДЗ – диагональное зеркало; Ф – оптический фильтр; ФП – фотоприемник (ПЗС-камера с усилителем яркости)

Под действием лазерного излучения на поверхности объекта возникал оптический отклик, часть которого собиралась приемной оптической системой и направлялась в блок спектральной фильтрации и фотодетектирования. С целью повышения величины отношения сигнал/шум перед входной щелью спектрометра устанавливался длинноволновый отсекающий фильтр для подавления интенсивной линии обратного несмещенного рассеяния от KrF-лазера.

На рисунке 2 представлен спектр оптического сигнала, зарегистрированного при лазерном воздействии на следы ТЭФ, нанесенных на поверхность объекта.

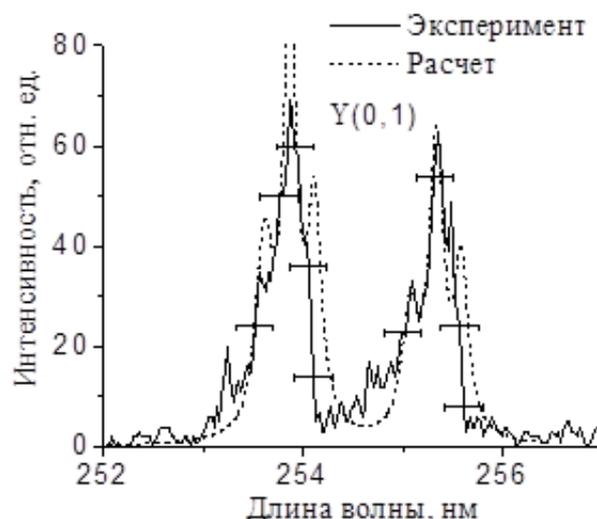


Рис. 2. Экспериментальный и расчетный спектры ЛИФ РО фрагментов

Из рисунка видно, что расчетное положение полосы флуоресценции $\gamma(0,1)$ хорошо согласуется с экспериментальными данными. Несовпадение интенсивности полосы испускания РО в сравнении теории и эксперимента обусловлено функцией пропускания длинноволнового отсекающего фильтра, влияние которой не учитывалось в расчетах.

Заключение

Создан лабораторный стэнд для дистанционного обнаружения ФОС. В ходе экспериментальной проверки работоспособности стэнда показана возможность обнаружения ТЭФ на дистанции 10 метров. Величина отношения сигнал/шум свидетельствует о возможности увеличения дальности действия прибора при тех же параметрах аппаратуры.

Благодарности

Научное исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 20-79-10297).

Список литературы

1. High temperature molecular line lists for modelling exoplanet atmospheres. – URL: <https://www.exomol.com/data/molecules/PO/31P-16O/POPS> (дата обращения 26.03.2023).
2. NIST Chemistry WebBook – URL: <https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=C14452665&Units=SI&Mask=1000#Diatomic> (дата обращения: 26.03.2023).

Спектральные и температурные зависимости импульсной катодолюминесценции азот-вакансионных центров в алмазе при температуре от 80 до 300 К

Д.А. Переседова^{1,2}

Научный руководитель: В.С. Рипенко^{1,2}

¹Томский государственный университет, г. Томск

²Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск

E-mail: dasha.d4@mail.ru

Аннотация: Работа посвящена изучению спектральных и температурных зависимостей катодолюминесценции в алмазах с различным азот-вакансионным составом. Облучение алмазных образцов проводилось сверхкоротким импульсным электронным пучком (энергия электронов до 300 кэВ) на ускорителе НОРА с отпаянной электронной трубкой ИМА-3 150Э. Получены спектры катодолюминесценции алмазных образцов в температурном диапазоне от 80 К до 300 К и исследованы их температурные зависимости. Рассчитаны спектры катодолюминесценции алмазных образцов при пониженных температурах.

Ключевые слова: алмаз, катодолюминесценция, примесь, дефект, NV центр, аппроксимация.

Введение

Алмаз – одно из наиболее драгоценных кристаллических веществ, которое встречается в природе и находит применение как в научных, так и в промышленных сферах. Алмаз - это широкозонный полупроводник (ширина запрещенной зоны 5,5 эВ), имеющий уникальные свойства по сравнению с другими полупроводниками (Si, GaAs, InP) такие как, высокая плотность укладки атомов в решетке ($0,6-0,18 \cdot 10^{-6} \text{ см}^2/\text{кг}$), высокая дырочная подвижность ($3800 \text{ см}^2 \text{ В}^2 \cdot \text{с}^{-1}$) и электронная подвижность ($4500 \text{ см}^2 \text{ В}^2 \cdot \text{с}^{-1}$), также сильные межатомные связи, малая масса атома углерода и простая структура кристаллической решетки обуславливают высокую теплопроводность ($900-2400 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$) [1]. В последние годы алмазы начинают использовать для создания датчиков солнечного ветра и черенковских детекторов [2], квантовых компьютеров, гироскопов [3]. Главным эффектом, который используется во всех оптоэлектронных устройствах на основе алмаза, является свечение алмаза под действием различных видов излучения.

Целью данной работы является изучение спектров катодолюминесценции алмазов с различным примесно-дефектным составом при температуре от 80 до 300 К. А также расчет спектров катодолюминесценции в программе MathCad.

Материалы и методы

В эксперименте использовалось два алмазных образца, описание которых представлено в таблице 1.

Таблица 1. Описание алмазных образцов

Образец	Способ получения	Наличие примеси	Размеры, мм
1(C122)	ВДВТ	NV ⁰	2.4x2.4x0.3
2(C64)	ВДВТ	Различные азот-вакансионные центры (NV ⁰ , NV ⁻ , N ₂ V)	5x3.5x0.55

Для измерения спектров катодолюминесценции образцов использовалась экспериментальная установка, представленная в работе [4]. На рисунке 1 представлена схема экспериментальной установки.

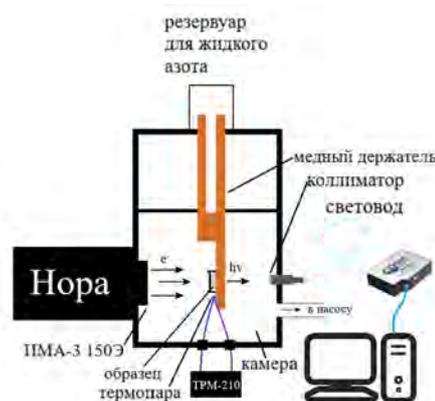


Рис. 1. Экспериментальная установка

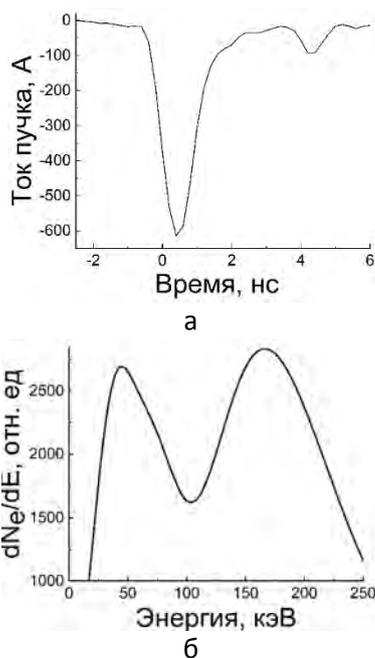


Рис.2. Осциллограмма тока пучка (а), распределение энергии электронов в пучке (б)

Характерная осциллограмма тока пучка представлена на рисунке 2а. Регистрация импульсов тока проводилась с помощью коллектора тока. Восстановление энергетического спектра электронов пучка производилось при помощи метода фильтров, в котором использовался набор алюминиевых фольг от 10 до 200 мкм [5]. Распределение электронов в пучке представлено на рисунке 2б. Как видно из рисунка максимальное количество электронов в пучке обладают энергией 40 и 170 кэВ.

Также при помощи программы MathCad проводилась аппроксимация спектров катодолуминесценции первого алмазного образца.

Результаты

На рисунке 3 представлена катодолуминесценция первого алмазного образца. С уменьшением температуры становится более явно видны бесфононные линии NV⁰ центра и центра на 389 нм, а также их фонные повторения. В области от 380 до 500 нм с максимумом на 389 нм имеется бесфононная линия она соответствует центру характерному для радиационно-термической обработки алмаза [5]. И действительно для создания в данном образце NV⁰ центров образец сначала облучали пучком электронов с энергией 3 МэВ и затем отжигали при температуре от 800–1000 К. На спектрах также имеется бесфононная линия на 575 нм, соответствующая NV⁰ центру, интенсивность которой с уменьшением температуры изменяется от 67 до 157 отн.ед. На рисунке 4 представлены температурные зависимости интенсивности

бесфононных линий NV⁰ центра, центра на 389 нм и максимум интенсивности фонного крыла NV⁰ центра.

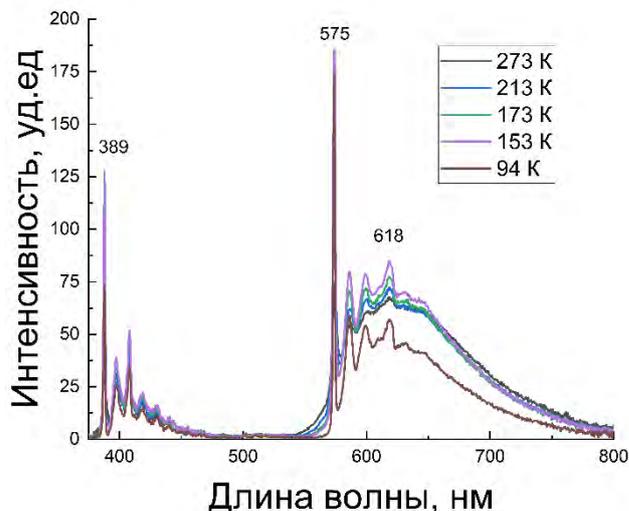


Рис. 3. Катодолуминесценция алмазного образца с содержанием NV⁰ центра

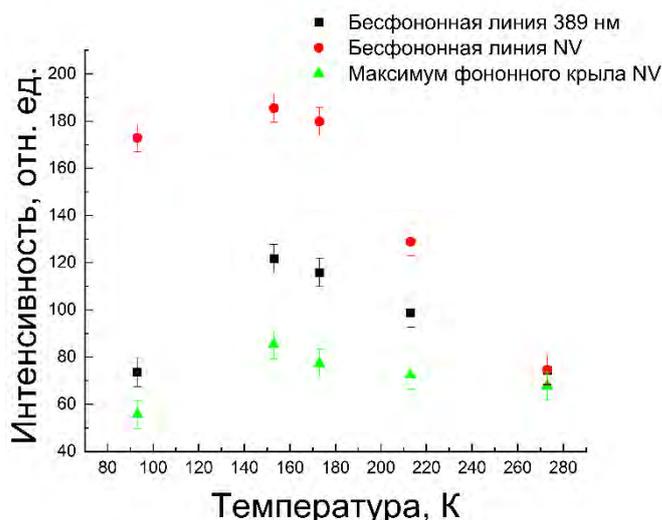


Рис. 4. Температурные зависимости бесфононной линии центра на 389 нм, бесфононной линии и фонного крыла NV⁰ центров

На рисунке 5 представлены расчетные и экспериментальные данные для образца №1 при температуре 93 К. На рисунке 6 показано разложение спектра на составляющие компоненты.

Из рисунка 9 видно, что с повышением температуры интенсивность люминесценции падает.

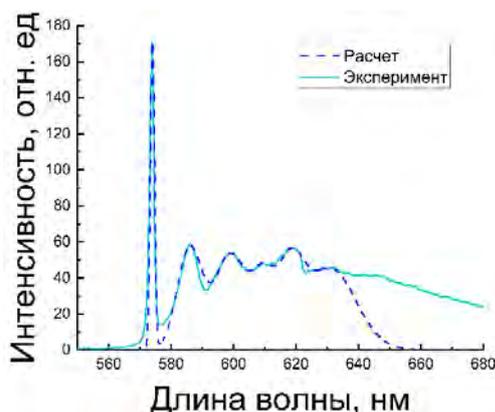


Рис. 5. Расчетные и экспериментальные спектры катодолуминесценции образца №1 при температуре 93 К

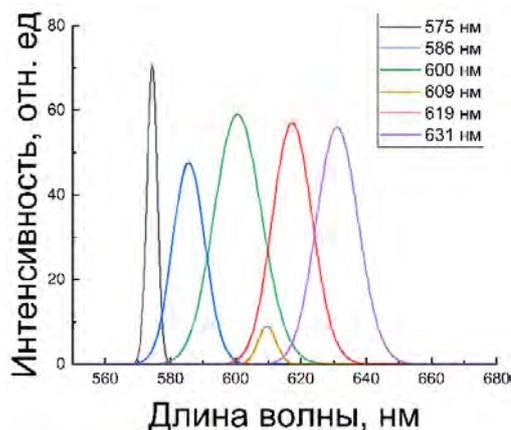


Рис. 8. Компоненты разложения спектра катодолуминесценции при температуре 273 К

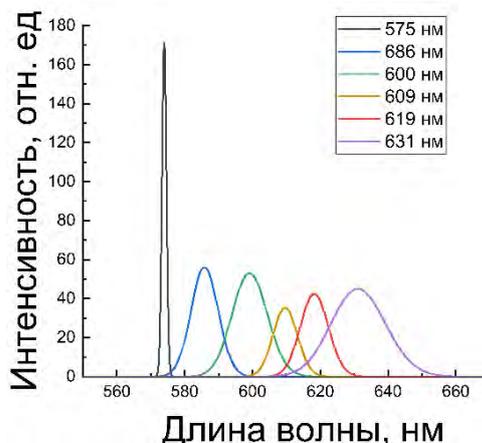


Рис. 6. Компоненты разложения спектра катодолуминесценции при температуре 93 К

Также подобные зависимости были получены для спектров катодолуминесценции образца №1 при температуре 273 К (рис. 7, 8).

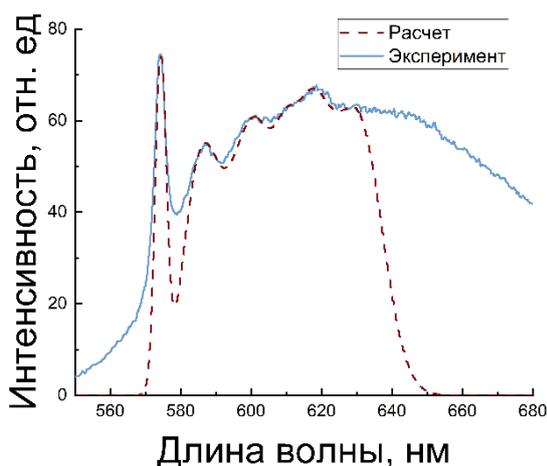


Рис. 7. Расчетные и экспериментальные спектры катодолуминесценции образца №1 при температуре 273 К

Для каждой компоненты (бесфононной линии и трех фононных повторений) были построены температурные зависимости интенсивности (рис. 9).

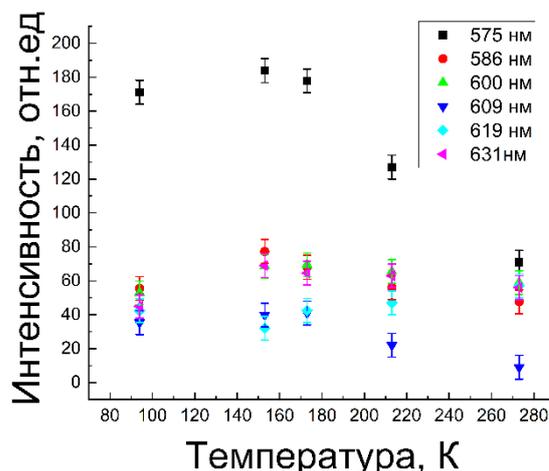


Рис. 9. Температурная зависимость интенсивности свечения бесфононной линии и трех фононных повторений

На рисунке 10 представлен спектр катодолуминесценции второго алмазного образца с содержанием N_2V центров. С повышением температуры происходит тушение катодолуминесценции. На 503,4 нм находится пик, принадлежащий N_2V центру. Также в спектрах наблюдалось широкое крыло люминесценции с максимумом на 520 нм, которое принадлежит фононным повторениям N_2V центра [6]. На рисунке 11 представлена температурная зависимость интенсивности бесфононной линии N_2V центра на 503,4 нм и широкого крыла с максимумом на 520 нм.

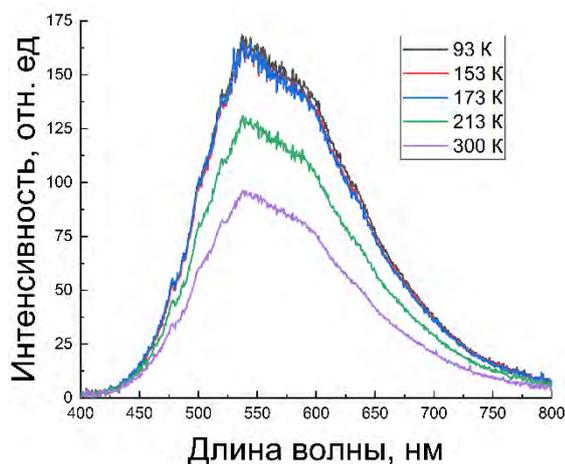


Рис. 10. Катодолуминесценция алмазного образца с содержанием N_2V центра

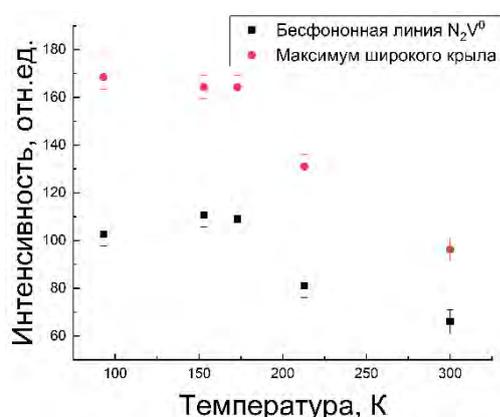


Рис. 11. Температурные зависимости бесфононной линии N_2V центра и максимума широкого крыла

Заключение

В данной работе было проведено разложение спектров катодолуминесценции образца №1 (С122) при различных температурах на четыре компонента (в однофононной области) при помощи математической среды MathCad.

Показано, что тушение всех четырех компонент спектров катодолуминесценции NV^0 центра хорошо описывается эмпирическим законом Мотта. Полученные данные уточняют информацию о температурном тушении азот-вакансионных дефектов алмазов

Благодарности

Научное исследование выполнено в рамках государственного задания Минобрнауки России, проект № FSWM-2020-0048.

Список литературы

1. Wort C.J.H., Balmer R.S. Diamond as an electronic material // *Materials Today*. – 2008. – Vol. 11(1-2). – P. 22–28.
2. Jakubowski L., Sadowski M. J., Zebrowski J. et al. Cherenkov-type diamond detectors for measurements of fast electrons in the TORESUPRA tokamak // *Journal of Applied Physics*. – 2018. – Vol. 81(1). – P. 013504.
3. Song X., Wang L., Feng F. et al. Nanoscale quantum gyroscope using a single ^{13}C nuclear spin coupled with a nearby NV center in diamond // *Journal of Applied Physics*. – 2018. – Vol. 123(1). – P. 114301.
4. Рипенко В.С., Бураченко А.Г., Переседова Д.А. и др. Краевая люминесценция алмазов при температурах от 80 до 800 К // *Известия вузов. Физика*. – 2022. – Т. 65, № 11. – С. 132–137.
5. Kozyrev A.V., Kozhevnikov V.Yu., Vorobyev M.S. et al. Reconstruction of electron beam energy spectra for vacuum and gas diodes // *Laser and Particle Beams*. – 2015. – Vol. 33, No. 2. – P. 183–192.
6. Zaitsev A.M. *Optical properties of diamond: A data handbook*. – Berlin: Springer-Verlag, 2001. – 502 p.

Температурные зависимости экситонной люминесценции в беспримесном алмазе

А.С. Попова¹

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук Е.И. Липатов^{1,2}

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск

²Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск

E-mail: popova_31_03@mail.ru

Аннотация: В данной статье исследованы спектры фотолюминесценции синтетического беспримесного алмаза, возбуждаемой импульсным лазерным излучением с длиной волны 222 нм и энергией от 4 до 25 мДж. Спектры были получены в температурном диапазоне от 85 до 300 К. Проанализированы температурные и энергетические зависимости интенсивности экситонной люминесценции в диапазоне от 85 до 300 К. Выявлены температурные границы влияния электронно-дырочной жидкости на интенсивность экситонной люминесценции – от 152 К при плотности возбуждения 6,9 МВт/см² до 197 К при плотности возбуждения 15,7 МВт/см².

Ключевые слова: фотолюминесценция, алмаз, рекомбинация, свободные экситоны, электронно-дырочная жидкость.

Введение

При воздействии на полупроводник электромагнитным излучением с энергией квантов, приблизительно равной ширине запрещенной зоны материала, происходит генерация электронно-дырочных пар (ЭДП) и их последующая термализация. В прямозонных бездефектных полупроводниках ЭДП рекомбинируют в межзонных переходах, а в непрямозонных полупроводниках рекомбинация происходит преимущественно через формирование свободных экситонов (СЭ). При охлаждении полупроводника и/или высокой плотности возбуждения происходит конденсация СЭ в капли электронно-дырочной жидкости (ЭДЖ) (рис. 1) [1].

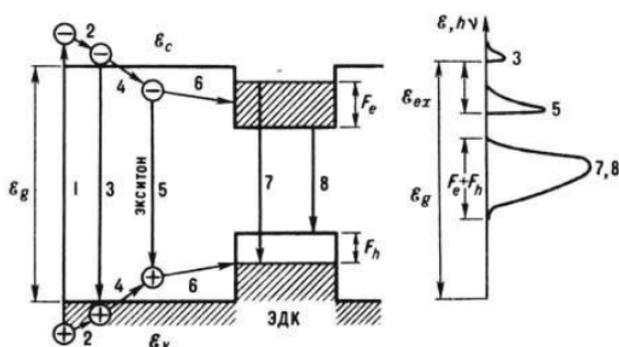


Рис. 1. Схема неравновесных энергетических состояний в полупроводнике и физический механизм образования электронно-дырочной жидкости [1]

Фотолюминесценция (ФЛ) является одним из методов спектрального анализа твердого тела. В спектрах краевой ФЛ широкозонных по-

лупроводников, в зависимости от условий возбуждения, наблюдается группа пиков и полос, вызванная рекомбинацией СЭ и ЭДЖ с генерацией различных фононных мод.

Эксперименты по исследованию конденсации СЭ в капли ЭДЖ проводились для таких полупроводников, как Ge, Si, SiC, GaAs, CdS, CdTe и др. [2]. Алмаз отличается от данных материалов высоким удельным сопротивлением и напряжением пробоя, большой шириной запрещенной зоны, а также, не только высокой, но и близкой по значению подвижностью носителей зарядов. Все эти характеристики алмаза позволяют наблюдать ЭДЖ в спектрах ФЛ при более высоких температурах, чем в других полупроводниках. Так, например, в экспериментах с Si ЭДЖ наблюдалась при $T = 24,5$ К, в Ge при $T = 6,7$ К, а в алмазе при $T < 200$ К [3–6].

Формирование ЭДЖ в кристалле приводит к усилению фототока [2, 7]. Данный эффект может найти применение в углеродной электронике и в оптических коммутаторах больших мощностей, характеризующихся меньшей временной нестабильностью срабатывания по сравнению с электрическими разрядниками (меньшим джиттером).

В данной работе приводятся результаты исследования спектров краевой фотолюминесценции беспримесного синтетического алмаза и анализ температурных зависимостей интенсивности свечения свободных экситонов при различных плотностях лазерного возбуждения с

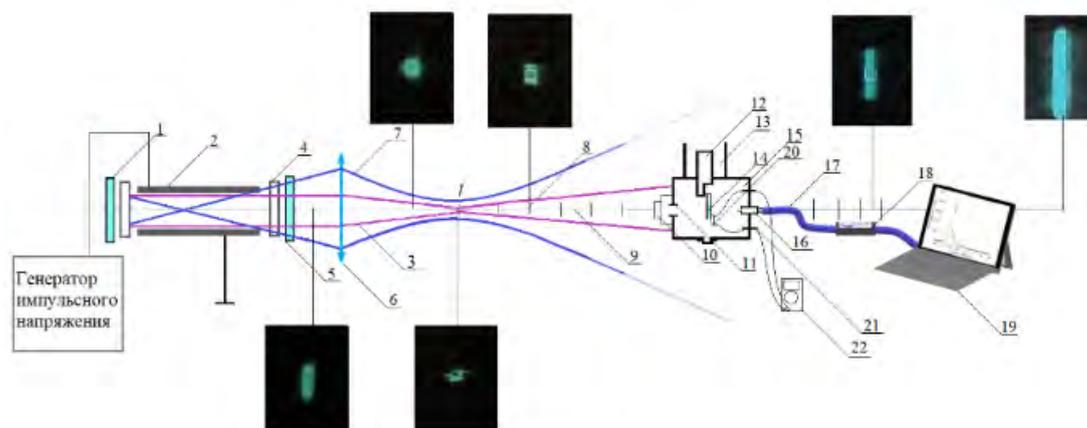


Рис. 2. Схема эксперимента

целью установления признаков появления электронно-дырочной жидкости в образце.

Материалы и методы исследования

В работе был исследован беспримесный синтетический алмаз, выращенный методом газохимического осаждения (ГХО), представляющий собой пластину размерами $5 \times 5 \times 0,25$ мм³.

Спектры ФЛ регистрировались с помощью экспериментальной установки, схема которой показана на рисунке 2.

Для возбуждения ФЛ использовался эксимерный КгСl-лазер (элементы лазера схематично показаны под номерами 1, 2, 5) с длиной волны излучения 222 нм, частотой следования импульсов 1 Гц и газовой смесью – HCl/Kr/Ne = 3 Тор/120 Тор/3 атм. Энергия лазерного импульса варьировалась от 4,11 мДж до 25,08 мДж, в зависимости от положения камеры с образцом. Алмазный образец (14) фиксировался на медной пластине, установленной на теплоотвод (12) в камере (15). Охлаждение образца проводилось добавлением жидкого азота в специальную емкость (13). Температура измерялась терморезистором (20), закрепленным на медной пластине, и регистрировалась подключенным к нему мультиметром (22) через вакуумноплотные электрические вводы (21). Для предотвращения осаждения конденсата на кварцевое стекло (10) и образец, камера снабжалась системой вакуумирования. В эксперименте была использована цилиндрическая собирающая линза (6) для фокусирования вынужденного (3) и рассеивания спонтанного излучения (7) лазера. Вынужденное излучение, проходя через кварцевое стекло и квадратную апертуру (11), попадало на алмазный образец, возбуждая в нем ФЛ. С помощью коллиматора (16)

свечение люминесценции, прошедшее через образец, собиралось из телесного угла 25° и через световод (17) направлялось в спектрометр (18), затем, с помощью специального программного обеспечения представлялось в виде спектров ФЛ (19). Камера с образцом фиксировалась на оптической скамье (9) в нескольких положениях (8) – на разных расстояниях от фокуса, для регистрации спектров ФЛ, возбуждаемой лазерным излучением с различной плотностью энергии. На фотографиях приведена люминесценция белой бумаги под действием УФ лазерного излучения в различных положениях на оптической оси.

Для аппроксимации температурных зависимостей интенсивности доминирующего пика ФЛ была использована формула (1), предложенная в [8].

$$P = P_X + F_X \exp\left(-\frac{E_X}{kt}\right) + R_T * \frac{P_B}{P_B + F_B \exp\left(\frac{E_B}{kT}\right)}, \quad (1)$$

где P – скорость распада СЭ, P_X – скорость аннигиляции, E_X – энергия связи, F_X – коэффициент частоты, R_T – скорость захвата СЭ примесями, P_B – скорость аннигиляции связанных экситонов без учета скорости термической диссоциации на СЭ и примеси, F_B – частотный коэффициент, E_B – энергия связи СЭ. Интенсивность полосы излучательной рекомбинации СЭ пропорциональна их времени жизни, при этом время жизни СЭ обратно пропорционально скорости распада СЭ.

Первое слагаемое уравнения отвечает за скорость аннигиляции СЭ, второе – за термически активируемую ионизацию экситонов, третье – за скорость захвата СЭ мелкими ловушками.

Температурные зависимости аппроксимировались двумя кривыми: штрихпунктирная кривая описывает всю область зависимости, учитывая все слагаемые формулы (1) с индивиду-

альными коэффициентами для каждой плотности возбуждения; сплошная кривая описывает высокотемпературную область, учитывая первое и второе слагаемые формулы (1) оставляя при этом значения коэффициентов третьего слагаемого неизменными, относительно зависимости с наименьшей плотностью возбуждения ФЛ ($2,6 \text{ МВт/см}^2$).

Результаты

На рисунке 3а приведены спектры краевой ФЛ беспримесного алмаза при плотности возбуждения $2,6 \text{ МВт/см}^2$, $10,04 \text{ МВт/см}^2$ и $15,7 \text{ МВт/см}^2$ при $T = 293 \text{ К}$, а на рисунке 3б при температуре 89 К , 171 К и 293 К и плотности возбуждения $15,7 \text{ МВт/см}^2$.

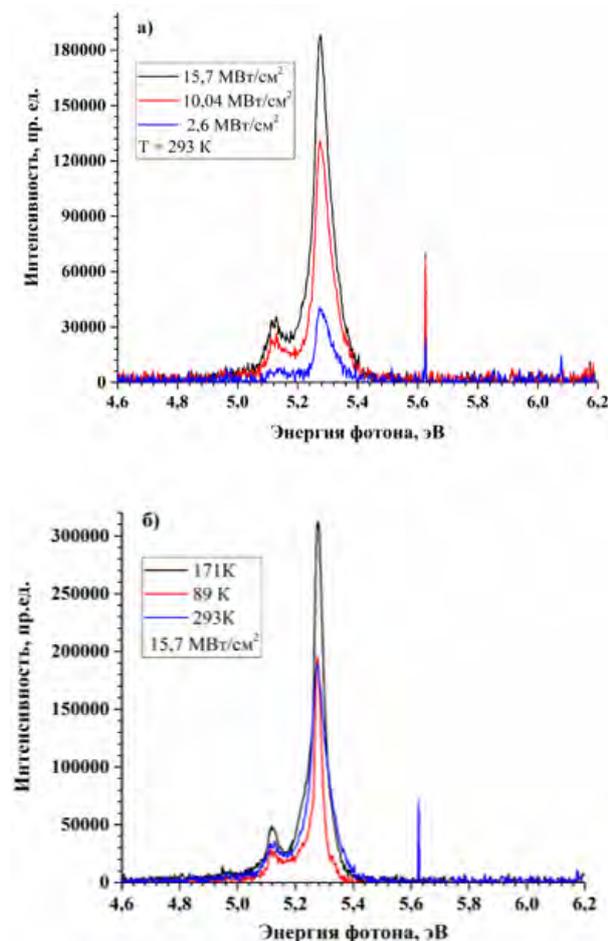


Рис. 3. Спектры краевой фотолуминесценции беспримесного алмаза

По полученным спектрам были построены и аппроксимированы температурные зависимости интенсивности доминирующего пика ФЛ, вызванного рекомбинацией СЭ с генерацией ТО фона (рис. 4). Данный пик имеет спектральный максимум на 235 нм .

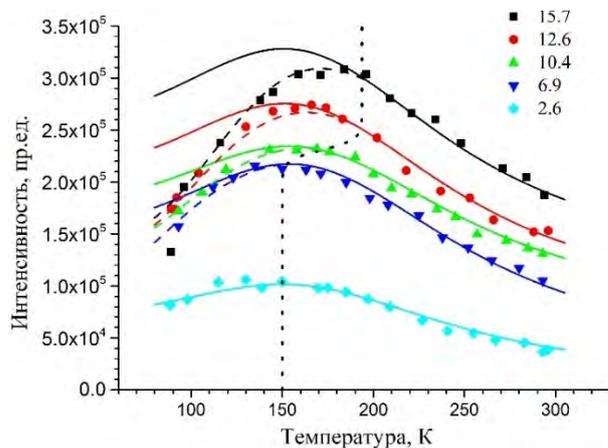


Рис. 4. Температурная зависимость доминирующего пика ФЛ

Данный характер температурной зависимости означает, что с повышением температуры увеличивается вероятность безызлучательных процессов (второе слагаемое формулы 1), а с понижением температуры снижается вероятность освобождения экситонов, захватываемых мелкими ловушками (третье слагаемое формулы 1). Характер температурной зависимости интенсивности пика ФЛ обусловлен температурной зависимостью времени жизни свободных экситонов. Предположим, что температурная зависимость интенсивности ФЛ при плотности возбуждения $2,6 \text{ МВт/см}^2$ соответствует классическому виду зависимости времени жизни экситонов. При увеличении плотности возбуждения СЭ формируют биекситоны, экситонные комплексы и капли ЭДЖ. Поэтому можно предположить, что формирование капель ЭДЖ уменьшает интенсивность полосы излучательной рекомбинации СЭ и влияет на вид температурной зависимости ФЛ.

Точка расхождения двух аппроксимирующих кривых является точкой, которой соответствует температура конденсации СЭ в капли ЭДЖ. С увеличением энергии лазерного импульса, температура, при которой становится заметным убывание СЭ в капли ЭДЖ смещается в высокотемпературную область (табл. 1).

Таблица 1. Изменение температуры конденсации СЭ в ЭДЖ с увеличением плотности возбуждения ФЛ

Плотность возбуждения ФЛ, МВт/см^2	Температура конденсации СЭ в ЭДЖ, К
6,9	152
10,4	174
12,6	190
15,7	197

Заключение

В результате проделанной работы исследованы температурные и энергетические зависи-

мости доминирующего пика ФЛ алмаза. Характер температурных зависимостей доминирующего экситонного пика позволяет регистрировать косвенным методом температуру конденсации ЭДЖ в алмазе.

Выявлены признаки появления электронно-дырочной жидкости в образце: температурные границы, в пределах которых происходит конденсация СЭ в капли ЭДЖ – от 152 К при плотности возбуждения 6,9 МВт/см² до 197 К при плотности возбуждения 15,7 МВт/см². Полученный результат позволяет фиксировать формирование ЭДЖ в алмазном образце без декомпозиции спектров ФЛ на фоновые компоненты излучательной рекомбинации СЭ и ЭДЖ.

Благодарности

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИСЭ СО РАН, проект №FWRM-2021-0014.

Список литературы

1. Физическая энциклопедия / под ред. А.М. Прохорова. – М.: Мир, 1988. – 703 с.
2. Келдыш Л.В. Электронно-дырочные капли в полупроводниках. – М.: Наука. – 1988. – с. 468.
3. Vouk M.A. Conditions necessary for the electron-hole liquid in diamond and calculation of its parameters // Journal Physics of the Solid State. – 1979. – Vol. 12. – P. 2305 – 2312.
4. Thonke K., Schliesing R., Teofilov N. et al. Electron-hole drops in synthetic diamond // Diamond and Related Materials. – 2000. – P. 428–431.
5. Shimano R., Nagai M., Horiuchi K. et al. Formation of a high Tc electron-hole liquid in diamond // Physical review letters. – 2002. – Vol. 88, No. 5. – P. 057404.
6. Липатов Е.И., Генин Д.Е., Тарасенко В.Ф. Рекомбинационное излучение в синтетическом и природном алмазе при воздействии импульсным лазерным УФ излучением // Известия ВУЗов. Физика. – 2015. – Т. 58, № 7. – С. 36-46.
7. Липатов Е.И., Генин Д.Е., Тарасенко В.Ф. Импульсная фотопроводимость алмаза при квазистационарном возбуждении лазерным излучением на 222 нм в условиях существования электронно-дырочной жидкости // Письма в ЖЭТФ. – 2016. – Т. 103, № 11. – С. 755–761.
8. Takiyama K., Abd-Elrahman M.I., Fujita T., Oda T. Photoluminescence and decay kinetics of indirect free excitons in diamonds under the near-resonant laser excitation // Solid State Communications. – 1996. – Vol. 99(11). – P. 793–797.

Флуоресценция как средство для формирования признаков классификации морских организмов

А.А. Пфайф

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент И.Г. Половцев

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск

E-mail: nastya.pfayff17@mail.ru

Аннотация: В настоящей работе рассмотрена возможность применения рамановской спектроскопии одноклеточных водорослей для их визуализации. Под действием синего излучения фитопланктонные клетки начинают светиться. Для регистрации и наблюдения планктонных организмов используется погруженная цифровая голографическая камера, позволяющая получить информацию о каждой исследуемой частице в заданной единице объема. Представлены результаты наблюдения микроскопической водоросли – хлореллы.

Ключевые слова: флуоресценция, планктон, цифровая голографическая камера, излучение.

Введение

Планктон является основой жизни в океане и занимает важнейшее место в биогенном круговороте химических веществ, также существенно влияет на все трофические связи и сети в океане [1].

Существует множество приборов для изучения и измерения планктона, и особо выделяется цифровая голографическая камера, которая позволяет наблюдать весь планктон, содержащийся в измерительном объеме [2].

Разделение наблюдаемых организмов на таксоны производится посредством численной классификации. Для одноклеточных водорослей такие признаки сформулировать технически сложно ввиду того, что их микроскопические размеры находятся на пределе оптического разрешения. Но отличить изображения одноклеточных водорослей от изображений прочих частиц взвеси можно с помощью явления рамановского рассеяния света [3].

Целью данной работы является постановка эксперимента по изучению возможностей цифровой голографической камеры для визуализации морских организмов посредством рамановской флуоресценции.

Материалы и методы исследования

В работе используется флуоресцентный метод, или метод рамановской спектроскопии. Это неразрушающий метод получения чувствительных измерений разнообразных групп органических соединений, основанный на селективном преобразовании излучаемым объектом коротковолнового излучения в длинноволновое рамановское рассеяние.

Аппаратурным обеспечением эксперимента является цифровая голографическая камера ДНС, разработанная в лаборатории радиофизических и оптических методов изучения окружающей среды ТГУ. Устройство оснащено лазерным волоконным модулем МЛ150-450/520/660 (используются синий, красный и зеленый лазеры) и CMOS-камерой Мако G-507. Для блокировки возбуждающего излучения используется обрезаящий фильтр ВLP01-442R-25 [4]. Камера подключается к компьютеру, и с помощью программ Vimbe Viewer и Holo Disp происходит настройка управления, режима освещения и регистрации и обработки данных. С помощью специального алгоритма программы ДНС Main производится обработка выбранной части голограммы с целью восстановления изображения.

Схема эксперимента приведена на рисунке 1. Через кювету, наполненную раствором с клетками хлореллы пропускают излучение.

Раствор для исследования был подготовлен так, чтобы концентрация клеток была близка к природной в фотическом слое озера (т.е. $0,2 \cdot 10^6$ шт./мл). Перед экспериментом раствор длительное время выдерживался в темноте, чтобы часть клеток погибла.

Красный лазер позволяет записать голограммы в режиме регистрации голограмм. Синий лазер используется для возбуждения флуоресценции, при этом камера регистрирует не голограммы, а расфокусированные изображения объектов, светящихся под действием синего света.

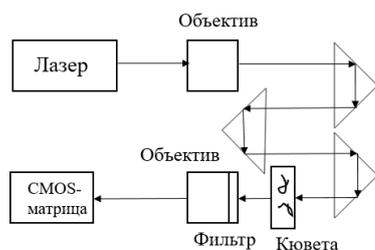


Рис. 1. Схема установки

Результаты исследования

Поскольку клетки хлореллы микроскопические, выбирается некоторая область голограммы, в пределах которой производится численное восстановление изображения (рисунок 2а).

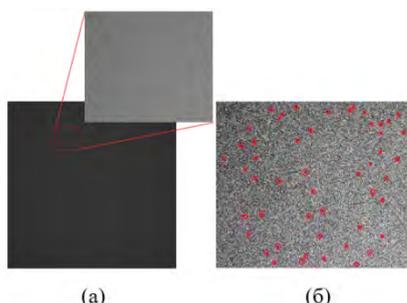


Рис. 2. Зарегистрированная голограмма и восстановленное изображение клеток хлореллы

Визуализация, позволяющая увидеть восстановленные изображения клеток хлореллы на фоне жидкости и прочих частиц, представлена на рисунке 2б. Восстановленные изображения клеток хлореллы – это темные пятна, выделенные на рисунке красными кружочками. Размер клетки (15 мкм) сопоставим с размером пикселя камеры (7,5 мкм), поэтому ее тонкая структура не разрешается. Посчитанная концентрация черных точек составила $0,16 \cdot 10^6$ шт./мл, что близко к значению в подготовленной пробе.

Светящиеся под действием фиолетового света клетки хлореллы представлены на рисунке 3. Посчитанная концентрация светящихся точек составила $0,002 \cdot 10^6$ шт./мл. Это и есть живые клетки.

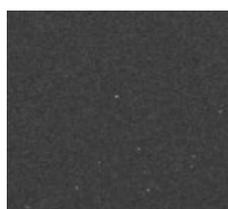


Рис. 3. Светящиеся клетки хлореллы под действием фиолетового излучения

Заключение

В ходе эксперимента были продемонстрированы возможности ДНС для обнаружения микроскопических водорослей. Это подтверждает возможность применения рамановского рассеяния для наблюдения за фитопланктоном, не выходя за рамки конструкции ДНС. При этом, используя различные варианты освещения, что предусмотрено конструкцией ДНС, возможно не просто выделить хлорофиллсодержащие живые клетки, но и классифицировать их по пигментации. Тем самым решить проблему глобальных наблюдений за красными водорослями.

Благодарности

За помощь в проведении исследования и организации цифрового голографического эксперимента благодарю Н.С. Кириллова, старшего преподавателя ТГУ, А.Ю. Давыдову, научного сотрудника лаборатории ТГУ, канд. физ.-мат. наук, Кондратову О.В., старшего лаборанта Центра биотестирования безопасности нанотехнологий и наноматериалов научного управления ТГУ, за предоставленный биологический материал для оптических экспериментов и исследований.

Научное исследование проводилось на оборудовании Томского государственного университета.

Список литературы

1. Boss E., Waite A.M., Karstensen J. et al. Recommendations for plankton measurements on OceanSITES mooring with relevance to other observing sites // *Frontiers in Marine Science*. – 2022. – Vol. 9. – P. 2–9.
2. Камера цифровая голографическая погружная ДНС-0,65-60А-1,0L. Паспорт, Э2.ПО.01 ПС – Томск: Национальный исследовательский Томский государственный университет, 2020. – 64 с.
3. Takanashi T., Liu Z., Thevar T. et al. Multimodal image and spectral feature learning for efficient analysis of water-suspended particles // *Optics Express*. – 2023. – Vol. 31. – P. 7493–7496.
4. BLP01-442R-25 – Краевой длинноволновый фильтр 442 нм серии EdgeBasic [Электронный ресурс]. – URL: <https://lenlasers.ru/product/blp01-442r-25-kraevoy-dlinnovolnovyy-filtr-442-nm-serii-edgebasic/#props> (дата обращения 12.03.2023).

Расчет зависимости характеристик просветляющего покрытия на алмазе с измененной поверхностью от формы и размера каналов

В.В. Чащин¹

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук Е.И. Липатов^{1,2}

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

²Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск, Россия

E-mail: lloodia@yandex.ru

Аннотация: Создана модель просветляющего покрытия алмаза с измененным поверхностным рельефом. Рассчитаны коэффициенты пропускания и отражения для каналов трех форм (трапеция, треугольник, полу-эллипс). Приведены оптимальные размеры геометрии для каждой формы сечения канала.

Ключевые слова: алмаз, просветляющее покрытие, периодическая структура, метод конечных элементов, компьютерное моделирование.

Введение

Алмаз является перспективным полупроводниковым материалом для использования в фотонных и оптических устройствах ввиду своих уникальных свойств. Говоря об использовании алмаза в качестве лазерного активного элемента [1, 2], нельзя не отметить высокий показатель преломления этого материала. При оптической накачке алмазного активного элемента на длине волны $\lambda = 532$ нм, пропускание составляет около 83%, что делает актуальным дополнительное просветление используемого алмаза.

Задача просветления алмазной пластины на длину волны $\lambda = 10,6$ мкм путем изменения поверхностного рельефа была рассмотрена в работах [3, 4]. После численного воспроизведения результатов этих работ, была предпринята попытка масштабирования предложенных структур на длину волны $\lambda = 532$ нм, а также изменение предложенной формы структуры.

Целью данной работы является расчет необходимых геометрических параметров периодической структуры на поверхности алмаза, расчет спектров пропускания и отражения в диапазоне длин волн 350–1000 нм с ожидаемым максимумом пропускания на длине волны $\lambda_0 = 532$ нм и установление зависимости изменения пропускания и отражения алмаза от выбранной геометрической формы структуры.

Компьютерное моделирование

Для построения модели и ее последующего расчета в данной работе использовался расчет-

ный пакет COMSOL Multiphysics, модуль Wave optics. В основе расчетов лежит метод конечных элементов: после построения геометрии модели и присвоения материалов, происходит разбиение на сетку, в каждом узле которой происходит расчет уравнений Максвелла.

В качестве периодической структуры в представленных моделях используются чередующиеся каналы – вырезы на поверхности подложки. На рисунке 1 представлены варианты используемой геометрии: голубая часть – воздух, серая – алмазная подложка. В зависимости от формы сечения каналов выбрано три варианта геометрии: треугольные каналы (рисунок 1а), трапециевидные каналы (рисунок 1б), эллиптические каналы (рис. 1в).

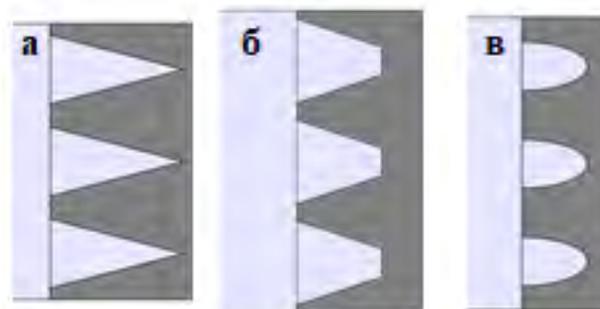


Рис. 1. Варианты используемой геометрии модели

Моделирование структур производилось в зависимости от следующих параметров (рис. 2): расстоянии между каналами (dis), период структуры (A), основание канала (b), глубина

канала (d). Для каждой используемой формы каналов было выбрано по три набора геометрических параметров, в зависимости от расстояния между соседними каналами.

Максимально допустимый период структуры, рассчитывается как:

$$A_{\max} = \frac{\lambda}{n}, \quad (1)$$

где λ – длина волны, n – показатель преломления материала. Так, для длины волны λ_0 , максимально допустимый период структуры равен $A_{\max} = 220$ нм. Однако, для правильности расчетов, используя диапазон длин волн 350–1000 нм, необходимо использовать период структуры, соответствующий минимальной длине волны $\lambda = 350$ нм ($A_{\max} = 145$ нм соответственно).

При использовании периода структуры $A < A_{\max}$, для падающего излучения длины волны λ эта структура будет эквивалентна сплошному слою с эффективным показателем преломления n_{eff} , меньшим, чем показатель преломления используемого материала n , что и приводит к просветлению поверхности.

Для определения требуемой глубины канала рассчитывались зависимости пропускания и отражения структур от глубины канала. Глубина канала выбиралась такой, чтобы при фиксированных прочих параметрах на длине волны λ_0 , структура обладала наибольшим пропусканием и наименьшим отражением.

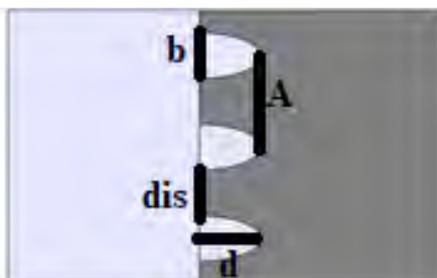


Рис. 2. Используемые геометрические параметры в модели

Результаты исследования

Пример расчета зависимости пропускания и отражения структуры от глубины канала при геометрии канала «полу-эллипс», $dis = 40$ нм, $A = 80$ нм, $b = 40$ нм приведен на рисунке 3, из которого видно, что глубину канала необходимо выбрать равной 75 нм.

В таблице 1 приведены определенные значения глубины канала для всех рассмотренных вариантов формы сечения и геометрических параметров канала.

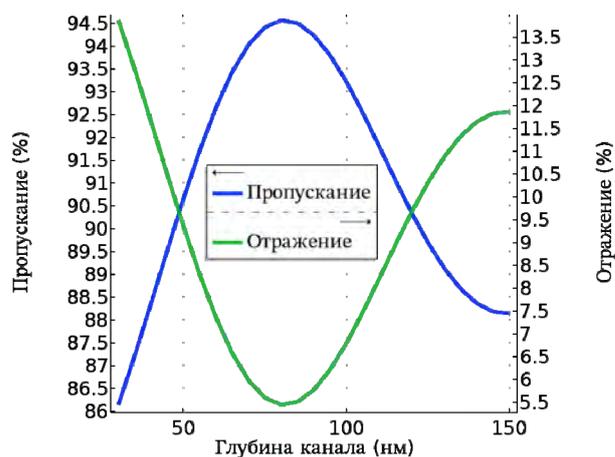


Рис. 3. Зависимость пропускания и отражения структуры от глубины канала

Таблица 1. Глубина канала в зависимости от формы сечения и совокупности прочих геометрических параметров

Форма канала		Треугольник	Трапеция	Полу-эллипс
Параметры, нм		Глубина канала, нм		
dis = 20	A = 80 b = 60	115	90	105
	A = 100 b = 80	115	95	110
	A = 120 b = 100	120	100	115
dis = 40	A = 80 b = 40	95	75	80
	A = 100 b = 60	100	80	85
	A = 120 b = 80	105	85	90
dis = 60	A = 80 b = 20	85	70	70
	A = 100 b = 40	90	75	75
	A = 120 b = 60	95	75	80

Из рассчитанных параметров основное внимание было уделено наборам с наибольшим расстоянием между каналами ($dis = 60$ нм), поскольку такие структуры потенциально осуществимы на практике.

На рисунках 4-6 представлены спектры пропускания для трех форм сечения каналов при расстоянии между каналами 60 нм с периодами структуры 80, 100 и 120 нм. Как можно заметить, при использовании геометрий «треугольник» и «трапеция», максимум пропускания для любых наборов геометрических параметров находится в диапазоне длин волн 560-580 нм, что не соответствует ожидаемому максимуму пропускания на длине волны λ_0 .

При этом, используя геометрию «полу-эллипс», для двух случаев (синий, зеленый графики на рисунке 6), максимум пропускания находится на длине волны $\lambda = 535$ нм, что сопоставимо с ожидаемым.

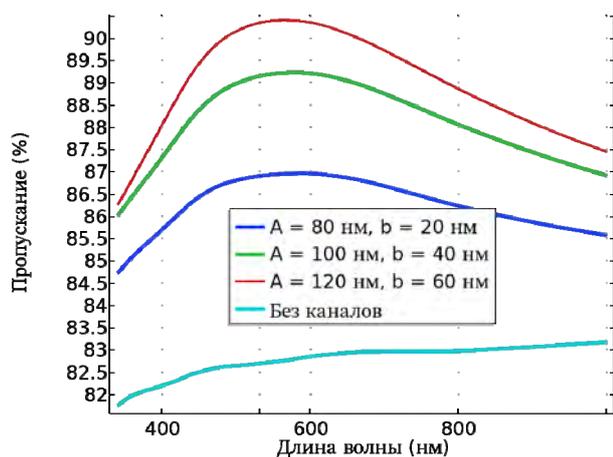


Рис. 4. Рассчитанные спектры пропускания при использовании геометрии «треугольник»

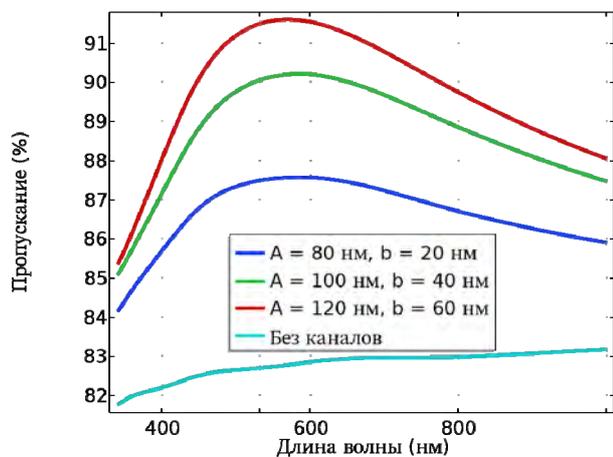


Рис. 5. Рассчитанные спектры пропускания при использовании геометрии «трапеция»

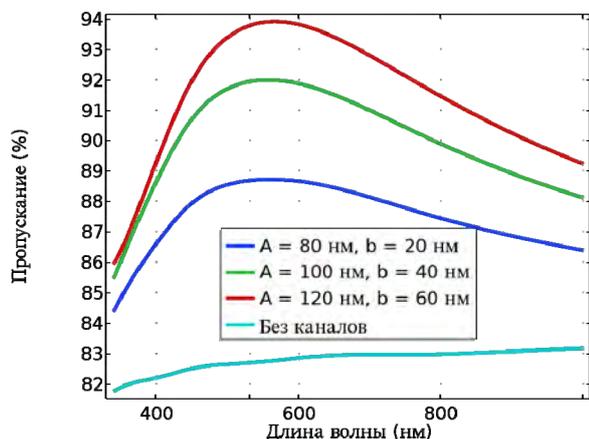


Рис. 6. Рассчитанные спектры пропускания при использовании геометрии «полу-эллипс»

Заключение

Оптимальной для использования является структура с сечением каналов в форме полу-эллипса. При расстоянии между каналами 60 нм, периоде структуры 100 нм, ширине основания 40 нм и глубине канала 75 нм, коэффициент пропускания увеличивается на 9% (92% с измененным рельефом, 83% с «чистой» поверхностью). Максимум пропускания находится на длине волны $\lambda = 535$ нм, что сопоставимо с ожидаемым. Полученные результаты говорят о возможности использования подобных структур в качестве просветляющих покрытий алмазных активных элементов.

Список литературы

1. Липатов Е.И., Генин Д.Е., Шулепов М.А. и др. Сверхлюминесценция в фоновом крыле спектра фотолюминесценции NV-центров в алмазе при оптической накачке на $\lambda = 532$ нм // Квантовая электроника. – 2022. – Т. 52, № 5. – С. 465–468.
2. Липатов Е.И., Генин Д.Е., Шулепов М.А. и др. Сверхлюминесценция на NV-центрах в синтетическом алмазе с накачкой лазерным излучением в диапазоне 532–575 нм // Известия вузов. Физика. – 2022. – Т. 65, № 11. – С. 82–85.
3. Головашкин Д.Л., Павельев В.С., Соيفер В.А. Моделирование прохождения электромагнитной волны через антиотражающую алмазную структуру // Известия Самарского научного центра РАН. – 1999. – Т. 1, № 1. – С. 95–98.
4. Кононенко В.В., Кононенко Т.В., Конов В.И. и др. Создание на поверхности алмазных пленок антиотражающих микроструктур методом лазерного рисования // Квантовая электроника. – 1999. – Т. 26, № 2. – С. 158–162.

Оценка средней скорости распределения ключей в оптическом канале связи между беспилотными летательными аппаратами

Ф.А. Якименко

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук Д.Е. Каширский

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск

E-mail: filipp.yakimenko.98@mail.ru

Аннотация: В данной работе представлены результаты моделирования средней скорости передачи данных в оптическом канале связи между беспилотными летательными аппаратами. Получены зависимости средней скорости распределения ключей по протоколу BB84 от диаметров выходных и входных линз приёмопередающих блоков с учётом ослабления лазерного излучения за счет поглощения атмосферой и возникающей в ней турбулентности.

Ключевые слова: ключ, средняя скорость, беспилотный летательный аппарат, протокол BB84, оптический канал.

Введение

В новейших информационных системах и телекоммуникационных сетях криптографические методы защиты информации признаны наиболее эффективными. Достоинством таких методов является использование криптографического ключа, под которым понимается некоторая секретная информация, доступная законному владельцу информации и неизвестной злоумышленнику. В системе распределения ключа по протоколу BB84 в качестве среды распространения сигнала, в основном, используют волоконно-оптические каналы связи [1]. Однако такую проводную связь не всегда целесообразно использовать. Существуют системы, в которых в качестве среды распространения сигнала используют атмосферный или же беспроводной канал связи [2].

Атмосферные оптические линии связи (АОЛС) позволяют создавать надежные каналы связи на расстояниях от нескольких сантиметров до сотен километров. АОЛС устойчивы к электромагнитным помехам и сами не создают их. Такие системы обычно развертываются в топологии "точка-точка" и предполагают отсутствие препятствий в прямой видимости распространения сигнала. Но, с другой стороны, реализация практических информационных систем требует более сложных сетевых топологий. В частности, речь идет о развертывании коммуникаций в полевых условиях. Одним из решений проблемы является использование беспилотных летательных аппаратов (БЛА или БПЛА) [3]. В перспективе, такие мобильные

сети, построенные на платформах БЛА, могут быть подключены к наземным оптоволоконным сетям и спутниковой связи для дальнейшего расширения сети, что в итоге позволит сформировать практическую многофункциональную глобальную сеть связи.

Размещаемые передающие и приемные блоки системы генерации ключа на платформе БЛА должны быть небольшими, компактными. Из-за относительно небольших размеров таких блоков на БЛА накладываются определенные ограничения на скорость передачи данных и дальность связи. Поэтому в данной работе проводится оценка средней скорости распределения ключей (ССРК) по протоколу BB84 в оптическом канале связи между БЛА. Для расчета влияния турбулентности структурная характеристика флуктуаций показателя преломления воздуха задавалась равной $5 \cdot 10^{-16}$, $5 \cdot 10^{-15}$, $5 \cdot 10^{-14}$, $5 \cdot 10^{-13} \text{ см}^{-2/3}$.

Материалы и методы исследования

Расчет ССРК проводился по формуле из [4] для длин волн, использованных в [5–8]. Учитывались потери в канале связи, вызванные расходимостью пучка (простая геометрическая модель и модель гауссова пучка), поглощением и турбулентностью атмосферы [9–10]. При моделировании расстояние между БЛА составляло 500 м. Лазерные импульсы были ослаблены до состояния 0,1 фотон/импульс. Частота следования ослабленных лазерных импульсов составляла 50 МГц, а вероятность детектирования фотона детектором – 20%. Поглощение атмо-

сферы рассчитывалось для средних широт в летнее время.

Результаты

На рисунке 1 продемонстрированы результаты расчёта ССРК в зависимости от диаметров апертур приемо-передающих блоков для разных длин волн и двух моделей расходимости пучка (простая геометрическая модель – сплошная линия, модель гауссова пучка – штрихпунктирная линия). С увеличением апертур до 4 см происходит рост ССРК, а при больших значениях диаметра апертур ССРК практически не подвержена изменениям. Для длины волны 635 нм наблюдается наибольшая ССРК.

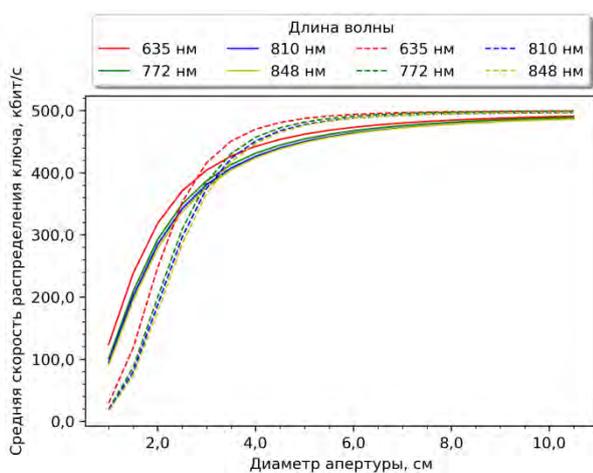


Рис. 1. Зависимость ССРК от диаметра апертур приемо-передающих устройств

На рисунке 2 приведены результаты расчета ССРК для модели гауссова пучка с длиной волны 810 нм без (кривая 5) и с (кривые 1-4) учетом турбулентности атмосферы.

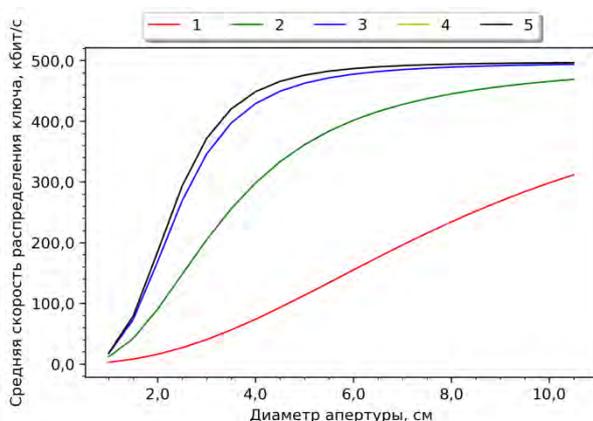


Рис. 2. Зависимость ССРК от диаметра апертур приемо-передающих устройств при наличии турбулентности атмосферы

При слабой турбулентности атмосферы доминирует расходимость пучка (кривые 4 и 5 совпадают). В случае сильной турбулентности атмосферы (кривая 1) наблюдается резкое падение ССРК. Влияние турбулентности атмосферы на ССРК снижается с ростом диаметра апертур приемо-передающих устройств.

Заключение

Проведенное исследование показало, что с точки зрения обеспечения компактности приемо-передающих устройств без особой потери ССРК оптимальными являются диаметры апертур порядка 4–6 см. Сильная турбулентность атмосферы приводит к пятикратному занижению ССРК.

Благодарности

Исследование выполнено при поддержке Программы развития Томского государственного университета (Приоритет-2030), проект № 2.0.6.2022 ЛМУ.

Список литературы

1. Zhaxalykov T., Begimbayeva Y. Research of quantum key distribution protocols: BB84, B92, E91 // Scientific Journal of Astana IT University. – 2022. – Vol. 10. – P. 4–14. – doi: 10.37943/QRKJ7456.
2. Ursin R., Tiefenbacher F., Schmitt-Manderbach T. et al. Free-space distribution of entanglement and single photons over 144 km // Nature Physics. – 2006. – Vol. 3. – P. 481–486. – doi: 10.1038/nphys629.
3. Marris E. Drones in science: fly, and bring me data // Nature. – 2013. – Vol. 498. – P. 156–158.
4. Третьяков Д.Б., Коляко А.В., Плешков А.С. и др. Генерация квантового ключа в однофотонных системах связи // Автометрия. – 2016. – Т. 52, № 3. – С. 44–54. – doi: 10.15372/AUT20160507.
5. Liu H.-Y., Tian X.-H., Gu C. et al. Drone-based entanglement distribution towards mobile quantum networks // National Science Review. – 2020. – Vol. 7(5). – P. 921–928. – doi: 10.1093/nsr/nwz227.
6. Rarity J.G., Tapster P. R., Gorman P.M. Secure free-space key exchange to 1.9 km and beyond // Journal of Modern Optics. – 2001. – Vol. 48(13). – P. 1887–1901. – doi: 10.1080/09500340108240895.
7. Liao S.-K., Cai W.-Q., Liu W.-Y. et al. Satellite-to-ground quantum key distribution // Nature. – 2017. – Vol. 549. – P. 43–47.
8. Buttler W.T., Hughes R.J., Kwiat P.G. et al. Practical free-space quantum key distribution over 1 km // Phys. Rev. Lett. – 1998. – Vol. 81(15). – P. 3283–3286. – doi: 10.1103/PhysRevLett.81.3283.
9. Ghassemlooy Z., Popoola W.O. Terrestrial free-space optical communications // Mobile and Wire-

less Communications Network Layer and Circuit Level Design. – InTech, 2010. – P. 355–391.

10. Зуев В.Е., Банах В. А., Покасов В.В. Оптика турбулентной атмосферы. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 271 с.

Секция 3

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ**

Применение многосердцевинного оптического волокна в квантовых телекоммуникациях

А.И. Зайцев

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент А.Л. Зубилевич

Московский технический университет связи и информатики, г. Москва

E-mail: a.zaitcev96@yandex.ru

Аннотация: Представлены результаты экспериментальных исследований, демонстрирующих возможности применения многосердцевинного оптического волокна для создания многоканального источника одиночных фотонов и передачи данных в квантовых сетях.

Ключевые слова: многосердцевинное оптическое волокно, квантовый канал, источник одиночных фотонов, детектор одиночных фотонов.

Введение

Современный мир переживает настоящую революцию в области квантовых технологий. Это связано с растущей потребностью в более быстрых и надежных способах обработки и передачи информации [1]. Несмотря на то, что разработка квантовых компьютеров в настоящее время доступна только нескольким лабораториям, ученые уже сегодня работают над созданием квантовых сетей, которые могут обеспечить безопасную передачу данных посредством одиночных фотонов [2, 3].

В настоящее время квантовые сети базируются на основе технологии квантового распределения ключей (КРК), которая обеспечивает высокую степень защиты данных от взлома [4]. Современные исследования показывают, что в ближайшем будущем следует ожидать значительный прогресс в области квантовых технологий, что приведет к созданию новых, более мощных и эффективных систем обработки и передачи информации [2, 4]. При этом ключевыми элементами, необходимыми для развития большинства современных квантовых технологий являются детекторы и источники одиночных фотонов [1, 5]. Детекторы одиночных фотонов (ДОФ) серийно производятся в ряде стран, а по источникам одиночных фотонов (ИОФ) пока такого прогресса не наблюдается, они остаются дорогостоящими изделиями, которые выпускаются в крайне ограниченном количестве [5, 6]. Поэтому задача по разработке простых и надежных ИОФ в телекоммуникационном диапазоне длин волн, которые можно применять для задач КРК и метрологии ДОФ,

является актуальной на сегодняшний день [6]. Целью настоящей работы являлось проверка возможности реализации простого и надежного многоканального ИОФ на основе ослабленных лазерных импульсов для задач метрологии и квантовой связи.

Экспериментальная установка и методики

На основе многосердцевинного оптического волокна (МСВ) произведенного ПАО ПНППК был реализован метод генерации квазиодиночных фотонов. Схема установки представлена на рисунке 1.

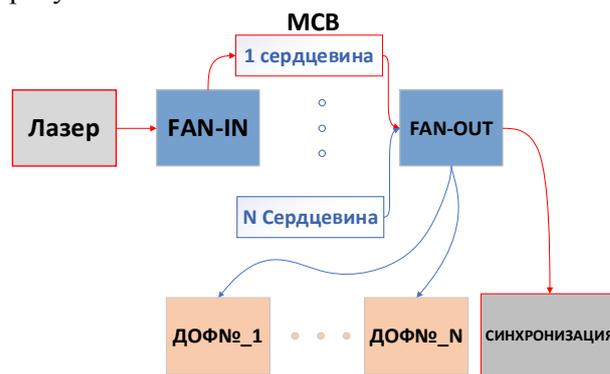


Рис. 1. Схема источника одиночных фотонов на основе МСВ

Принцип работы: в односердцевинное оптическое волокно подается лазерный импульс, после чего через устройство ввода в МСВ «FAN-IN» сигнал проходит через многоканальную структуру и выходит на другой стороне через устройство вывода «FAN-OUT» анало-

гично [4]. В МСВ образовывается N сигналов, которые равняются количеству сердцевин в МСВ. Один из сигналов – прямой от лазерного излучения, является синхронизирующим. В остальных сердцевинах появляются оптические перекрестные помехи от сердцевины, в которую распространяется лазерный импульс, связано это с особенностью структуры МСВ [4]. В эксперименте было использовано гексагональное оптическое волокно с семью сердцевинами (поперечное сечение изображено на рисунке 2). Затухание сигнала между соседними сердцевинами равно 80дБ и обеспечивает появление квазиоднофотонных состояний при прохождении классического лазерного импульса в одной из сердцевин [4].

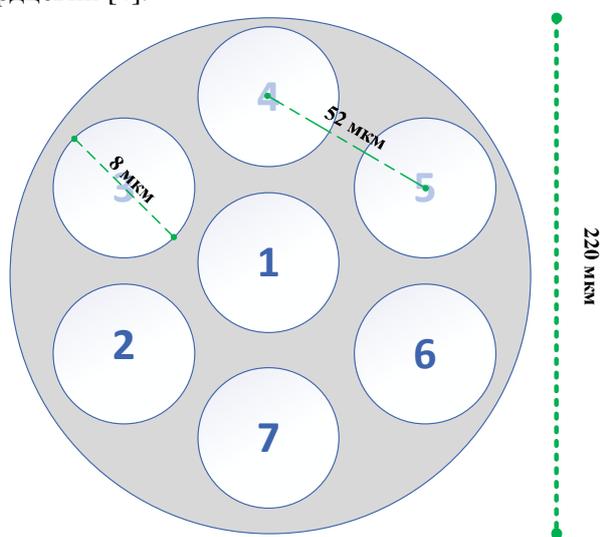


Рис. 2. Поперечное сечение 7-сердцевинного оптического волокна

Для анализа потоков фотонов в сердцевинах использовался ДОФ в установке EMQOS 1.0 компании КуРЭйт [7].

Результаты экспериментов

На установке EMQOS 1.0 были получены гистограммы отсчетов ДОФ с боковых сердцевин МСВ. Типичные гистограммы показаны на рисунках 3–6.

На рисунке 3 продемонстрирована гистограмма, когда лазерное излучение вводилось в четвертый канал, а детектирование фотонов проводилось с шестого канала.

На рисунке 4 изображены темновые срабатывания ДОФ.

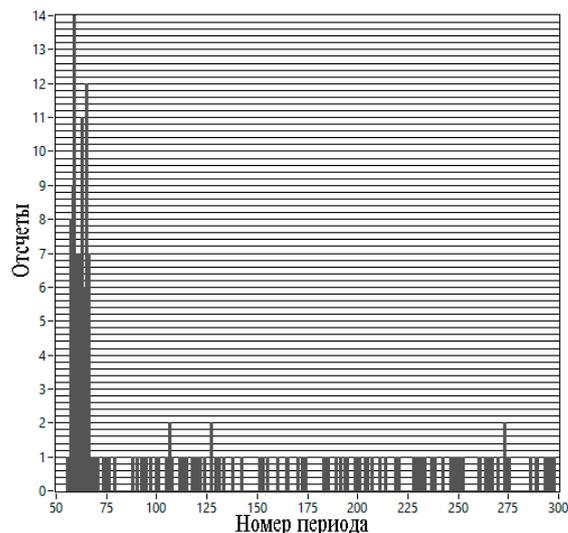


Рис. 3. Гистограмма отсчетов ДОФ опыт №1

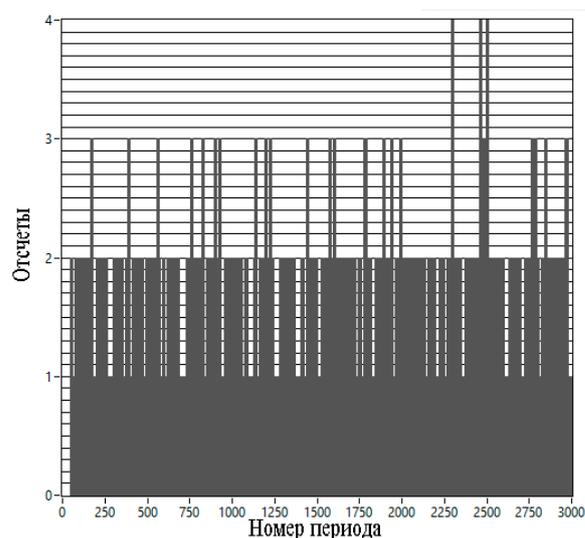


Рис. 4. Гистограмма отсчетов ДОФ опыт №2

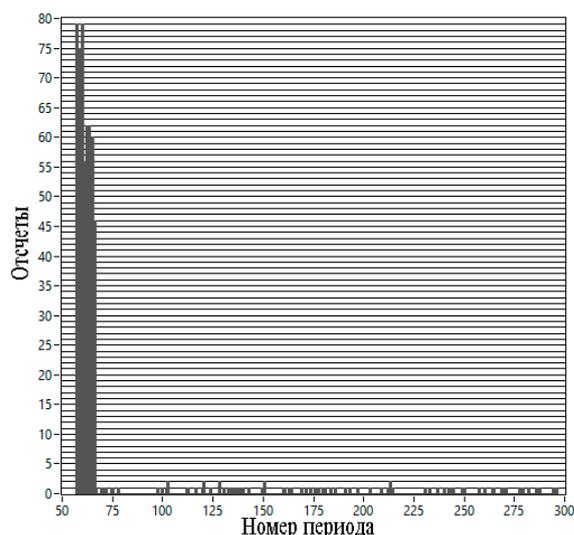


Рис. 5. Гистограмма отсчетов ДОФ опыт №3

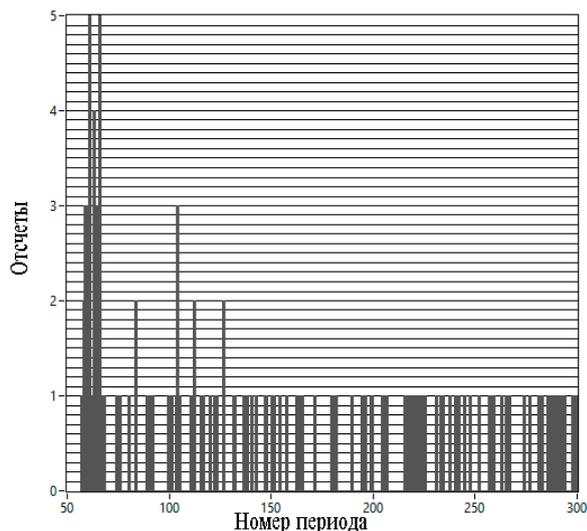


Рис. 6. Гистограмма отсчетов ДОФ опыт №4

На рисунках 5-6 гистограммы срабатываний снимались также с шестой сердцевинки, за входящее излучение отвечали седьмая и третья сердцевинки соответственно. На основе программного обеспечения EMQOS 1.0 была проанализирована статистика фотонов с боковых сердцевин. Она соответствовала статистике лазерного импульса, ослабленного до однофотонного состояния. В экспериментах было установлено, что количество срабатываний ДОФ зависит от расстояния между сердцевинками, поэтому для выравнивания статистики необходима установка в разные сердцевинки переменных аттенуаторов.

Заключение

Продемонстрирована возможность создания простого квазиоднофотонного источника фотонов на основе МСВ. ИОФ на основе МСВ с 7-ю сердцевинками позволяет одновременно калибровать и настраивать до 6 ДОФ, что позволит

ускорить производство элементной базы и развертывание сетей с КРК.

Список литературы

1. Кулик С.П. Квантовые технологии: современное состояние и перспективы // Наноиндустрия. – 2020. – Т. 13, № S4(99). – С. 702. – doi 10.22184/1993-8578.2020.13.4s.702.
2. Martin V., Brito Ju.P., Escribano C. et al. Quantum technologies in the telecommunications industry // EPJ Quantum Technology. – 2021. – Vol. 8(1). – P. 19.
3. Быковский А.Ю., Компанец И.Н. Квантовая криптография и комбинированные схемы коммуникационных сетей на ее основе // Квантовая электроника. – 2018. – Т. 48, № 9. – С. 777–801.
4. Егорова О. и др. Применение многосердцевинных оптических волокон для квантовых сетей // Первая миля. – 2022. – № 8(108). – С. 44–51. – doi: 10.22184/2070-8963.2022.108.8.44.51.
5. Зайцев А., Зубилевич А., Колесников О. и др. Источники одиночных фотонов для инфокоммуникационных систем // Первая миля. – 2022. – № 6(106). – С. 64–69. – doi: 10.22184/2070-8963.2022.106.6.64.68.
6. Миронов Ю.Б., Казанцев С.Ю., Шаховой Р.А. и др. Анализ перспектив развития источников одиночных фотонов в системах квантового распределения ключей // Научные исследования в космических исследованиях Земли. – 2021. – Т. 13., – № 6. – С. 22–33. – doi: 10.36724/2409-5419-2021-13-6-22-33.
7. Rabenandrasana J., Bachus A.V., Kazieva T.V. et al. Development of a metrological system for measuring the characteristics of single photon detectors based on an educational platform EMQOS 1.0 // 2023 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications. – IEEE, 2023. – P. 1–4.

Применение человеко-машинного взаимодействия для исследования моделей машинного обучения

Ю.В. Кайкова

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Н.В. Елисеева

Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», г. Москва

E-mail: iiiiuliiii@mail.ru

Аннотация: В данной работе рассмотрен способ повышения «объяснимости» результатов машинного обучения, а именно тематического моделирования, через интерфейс системы. Будут выделены параметры, которые влияют на работу метода LDA, и предоставлена возможность человеку ими управлять, а также производить визуальную интерпретацию и оценку полученных результатов. В работе представлен способ создания графического интерфейса для управления методами машинного обучения, а также визуальной интерпретации результатов их работы.

Ключевые слова: машинное обучение, объяснимость, человеко-компьютерное взаимодействие, интерфейс.

Введение

С развитием методов машинного обучения и их широким внедрением в автоматизированный процесс принятия решений, возникает ряд вопросов о том, как обычные пользователи могут взаимодействовать с такими системами, не имея специализированных знаний в этой области. Кроме того, возникает необходимость повышения доверия к решениям, основанным на методах машинного обучения. В связи с этим все более актуальной становится тема интерпретируемого машинного обучения и его связи с человеко-компьютерным взаимодействием [1].

Что же может повысить «объяснимость» машинного обучения и, как следствие, доверие человека к его результатам? Решить данную проблему можно при помощи применения на практике методов человеко-машинного взаимодействия, а именно создания системы визуальной интерпретации моделей машинного обучения. Поэтому целью данной работы является выделение параметров метода тематического моделирования и предоставление конечному пользователю возможности работы с ними посредством создания интерфейса.

Методы решения

После анализа существующих систем визуальной интерпретации моделей машинного обучения (а именно Silva, AI Fairness 360, What-If Tool, FairML, Lime и SHAP) было выяснено, что одним из способов создания эффективного

интерфейса – это выделение параметров, которые влияют на работу метода, и обеспечение возможности экспертам их контролирования (рис. 1).

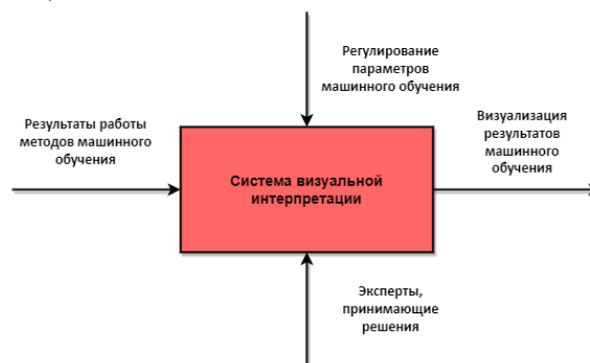


Рис. 1. Схема работы системы визуальной интерпретации методов машинного обучения

Каждая модель машинного обучения имеет свои параметры и гиперпараметры. Гиперпараметры – это настройки алгоритма машинного обучения, которые специалист по данным настраивает перед началом обучения, их можно изменять и оценивать их влияние на результаты работы модели. А параметры модели представляют то, чему модель учится в процессе обучения, они закодированы в самом методе и являются скрытыми. То есть для применения в системе визуальной интерпретации нужно определить гиперпараметры метода.

Для дальнейшей работы был выбран самый популярный метод тематического моделирования – латентное размещение Дирихле (от англ.

Latent Dirichlet allocation или LDA), в нем есть три гиперпараметра:

1. Количество тем (T) – это количество тем, которые нужно выделить из корпуса текстов [2]. Если количество тем слишком мало, то темы будут слишком широкими и будут отражать несколько понятий одновременно. Если же количество тем слишком большое, то каждое понятие может быть разбито на несколько тем, что приведет к созданию неинтерпретируемых тем со своеобразными словосочетаниями [3].

2. Параметр альфа (α) представляет априорное распределение Дирихле для документов-тем, что определяет, насколько темы будут представлены в каждом документе [4]. Уменьшение значения альфа приведет к уменьшению количества тем в каждом документе, а увеличение – к увеличению. Значение альфа должно быть положительным, но не равным нулю, обычно в качестве значения по умолчанию используется $0,1$ или $50/T$, где T – количество тем [5].

3. Параметр бета (β) представляет априорное распределение Дирихле для тем-слов и определяет, насколько слова будут представлены в каждой теме [4]. Уменьшение значения бета приведет к уменьшению количества слов в каждой теме, а увеличение – к увеличению. Значение бета также должно быть положительным и не равным нулю, обычно в качестве значения по умолчанию используется $0,1$ [5].

В идеале нужно, чтобы тексты состояли только из нескольких тем, а темам принадлежали только несколько слов, именно поэтому значения параметров альфа и бета обычно устанавливаются ниже единицы.

Результаты исследования

На рисунке 2 проиллюстрирован разработанный интерфейс системы, что был построен после ознакомления с гиперпараметрами метода тематического моделирования LDA.

В графическом интерфейсе такой системы можно будет регулировать 3 значения: количество тем, которое можно изобразить, как поле ввода для значения, альфа и бета – ползунков для настройки значения. Также рядом расположится значок «i», при нажатии на который появится подсказка о том, что делает конкретный параметр.

Возможность объяснения и регулирования гиперпараметров поможет конечным пользователям, а именно экспертам, которые разбираются в конкретной области, но имеют разный уро-

вень знаний в области машинного обучения, самостоятельно настроить метод тематического моделирования, и, соответственно, разобраться в результатах его работы.

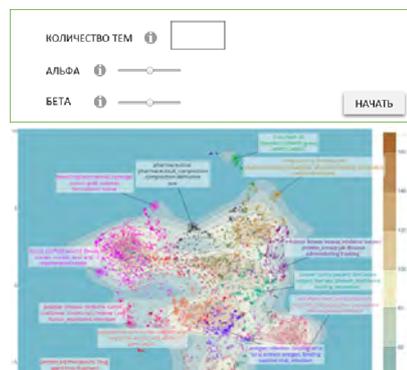


Рис. 2. Интерфейс системы визуальной интерпретации

Заключение

Данная система позволит экспертам лучше понимать результаты машинного обучения, а соответственно и улучшить выводы, основанные на них. В дальнейшем можно добавить в систему и другие методы тематического моделирования с их гиперпараметрами, метрики для их сравнения, а также добавить разные виды графики.

Список литературы

1. Mishra S., Rzeszotarski J.M. Designing interactive transfer learning tools for ML non-experts. – doi: 10.1145/3411764.3445096 // CHI '21: Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. – 2021. – P. 1–15.
2. Землянский С.А., Аксёнов С.В., Лызин И.А. и др. Тематическое моделирование в контексте медицинских текстов // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2021. – Т. 24, № 4. – С. 58–64.
3. Binkley D., Heinz D., Lawrie D., Overfelt J. Understanding LDA in source code analysis // ICPC 2014: Proceedings of the 22nd International Conference on Program Comprehension. – 2014. – P. 26–36. – doi: 10.1145/2597008.2597150.
4. Москалевич Г. Н. Тематическая модель «латентное размещение Дирихле (LDA)» как одна из исследовательских технологий в сфере теории и практики сми // Современные сми в контексте информационных технологий. – 2020. – С. 20–25.
5. Putri I.R., Kusumaningrum R. Latent Dirichlet Allocation (LDA) for sentiment analysis toward tourism review in Indonesia. – doi: 10.1088/1742-6596/801/1/012073 // Journal of Physics: Conference Series. – 2017. – Vol. 801(1). – 012073.

Опыт применения нейросетевого алгоритма для решения задачи фокусировки при воспроизведении цифровых голограмм планктона на примере *Daphnia Magna*

М.М. Курков

Научный руководитель: докт. тех. наук, профессор В.Т. Калайда

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск

E-mail: kurkov190801@mail.ru

Аннотация: В работе представлены результаты исследований возможностей нейросетевых алгоритмов в применении к задаче цифровой фокусировки изображений зоопланктона при их цифровом воспроизведении из цифровых голограмм. Описаны особенности алгоритмов распознавания и воспроизведения изображений. Обсуждаются возможности реализации в составе ДНС- технологии для неинвазивного автоматического выделения *Daphnia Magna* из результатов цифрового голографического эксперимента в контексте биотестирования акваторий.

Ключевые слова: цифровая голография, цифровая голографическая камера, 2D - картирование при воспроизведении цифровых голограмм, цифровая фокусировка, нейросетевые алгоритмы, глубокое обучение, классификация и распознавание зоопланктона, биотестирование качества воды.

Введение

Планктон – это микроскопические организмы, которые обитают в водоемах и перемещаются только за счет течения. Планктон является первичным звеном в пищевой цепи морских экосистем, изменения в его популяции и разнообразии могут служить индикатором изменений в экосистеме в целом [1]. Основными биоиндикационными параметрами является численность и видовое распределение планктона в водоёме. В настоящей работе для этой цели используется погружная цифровая голографическая камера (ДНС) [2]. В отличие от известных методов [3, 4], ДНС технология позволяет получить детальные характеристики формы, размера и концентрации планктона в исследуемом объёме *in situ*. При численном восстановлении изображений из голограммы актуальной является задача фокусировки при построении 2D образов объёма, поскольку известные алгоритмы имеют физические ограничения, связанные с дифракцией [5].

В связи с этим, привлекательной представляется возможность распознавания изображений среди нефокусированных.

Материалы и методы исследования

Этот вопрос был изучен в отношении алгоритма Виолы-Джонса. Метод Виолы-Джонса представляет собой подход для решения задачи

поиска объектов на изображении [6]. Алгоритм, предложенный Полом Виолой и Майклом Джонсом в 2001 году, изначально разрабатывался для поиска лиц на изображениях в режиме реального времени, в настоящее время его различные модификации активно применяются в задачах поиска на изображениях множества других объектов [7,8]. Такая популярность обусловлена тем фактом, что алгоритм показывает отличные результаты и высокую стабильность к геометрическим искажениям и яркостным изменениям. Именно эти свойства позволяют надеяться на его устойчивость к дефокусировкам.

Стабильная работа алгоритма основывается на использовании трёх принципов:

1. Использование признаков Хаара при обучении классификаторов для описания объектов

Значение признаков Хаара вычисляется как разность сумм пикселей областей изображения внутри черных и белых прямоугольников равного размера, что позволяет описать характерные особенности объектов, связанные с перепадами яркости.

2. Интегральное представление изображения, что позволяет быстро рассчитывать суммарную яркость произвольного прямоугольника на данном изображении. Интегральное представление изображения – это матрица, совпадающая по размерам с исходным изображением. В каждом элементе ее хранится сумма ин-

тенсивностей всех пикселей, находящихся левее и выше данного элемента.

3. Использование сканирующего окна – сканирующее окно – это матрица, меньшая по сравнению с изображением, данное окно в процессе обучения проходит по длине и ширине изображения на каждом шаге вычисляя около 200 000 вариантов расположения признаков Хаара, составляя карту признаков.

Для обучения алгоритма был сформирован датасет из 880 изображений *Daphnia Magna*, полученных при восстановлении с цифровых голограмм. 65 изображений составили валидационную выборку, среди которых были изображения с остаточной дефокусировкой.

Для программной реализации был выбран язык C# и библиотека winforms, позволяющая создавать оконные приложения windows. Алгоритм был обучен с помощью инструментов, встроенных в библиотеку компьютерного зрения OpenCV.

Для оценки качества тестирования на валидационной выборке использовались параметры точности и полноты [9].

Результат работы оконного приложения для распознавания изображений *Daphnia Magna* на восстановленных изображениях показан на рисунке 1.

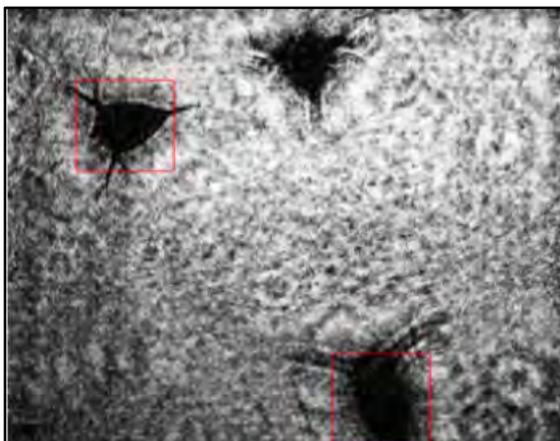


Рис. 1. Пример работы нейронной сети по методу Виолы-Джонса по распознаванию *Daphnia Magna* на нефокусированных изображениях

После обработки валидационной выборки параметры точности и полноты составили 40% и 99%, соответственно. Как видно, точность оказалась не высокой, но, в этом случае, более важным параметром является полнота, которая характеризует долю правильно классифицированных объектов данного класса среди всех

объектов данного класса. Значение полноты ~ 100%, говорит о том, что способность алгоритма в определении *Daphnia Magna* среди расфокусированных изображений высока.

Заключение

Обнаруженная способность алгоритма Виолы-Джонса обнаруживать расфокусированные объекты является очень важной для цифровой голографии. Это свойство может стать основой для создания алгоритмов распознавания, работающих непосредственно с цифровой голограммой объекта, что предполагает другие принципы формирования датасета.

Список литературы

1. Арефьева И.В. Планктон как биоиндикатор экологического состояния водоемов // Научные труды НГТУ. – 2017. – Т. 2. – С. 63.
2. Dyomin V.V., Olenin A.L., Polovtsev I.G., Kamenev D.V. Marine tests of a digital holographic module using a measuring technological Platform // Oceanology. – 2018. – Vol. 58. – P. 749–759.
3. Чуйко Г.М., Томилина И.И., Холмогорова Н.В. Методы биодиагностики в водной экотоксикологии // Токсикологический вестник. – 2022. – Т. 30, № 5. – С. 315–322.
4. Thompson C.R.S., Bron J.E., Bui S. Illuminating the planktonic stages of salmon lice: A unique fluorescence signal for rapid identification of a rare copepod in zooplankton assemblages // J. Fish. Dis. – 2021. – Vol. 44(7). – P. 1–17.
5. Демин В.В., Давыдова А.Ю., Половцев И.Г. и др. Точность определения продольных координат частиц методом цифровой голографии. // Оптика атмосферы и океана. – 2022. – Т. 35, № 12. – С. 979–986.
6. Viola P., Jones M., Snow D. Detecting pedestrians using patterns of motion and appearance // Int. J. Comput. Vis. – 2005. – Vol. 63, No. 2. – P. 153–161.
7. Escalera S., Radeva P. Fast greyscale road sign model matching and recognition // Recent Adv. Artif. Intell. Res. Dev. – Amsterdam: IOS Press, 2004. – P. 69–76.
8. Усилин, С.А. Аралазаров В.В. Шоломов Д. Распознавание гильоширных элементов: определение страниц паспорта РФ // Труды Института системного анализа РАН. Обработка информационных и графических ресурсов. – 2013. – Т. 63, № 3. – С. 106–110.
9. Saito T., Rehmsmeier M. The precision-recall plot is more informative than the ROC plot when evaluating binary classifiers on imbalanced datasets // PLoS ONE. – 2015. – Vol. 10(3). – e0118432. – P. 1–21.

Разработка системы навигации автономной плавающей платформы для исследования акватории озера Байкал

Е.О. Кушков

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук, доцент С.Н. Торгаев;
канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. Д.А. Пестунов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

E-mail: eok14@tpu.ru

Аннотация: в работе представлены этапы разработки системы навигации автономной плавающей измерительной платформы на основе трехосевого магнитометра, акселерометра и данных со спутников GPS. Приведен разработанный алгоритм калибровки для исключения влияния крена и тангажа на данные цифрового компаса. Описан алгоритм навигации в условиях реальной эксплуатации измерительной платформы.

Ключевые слова: электронный компас, навигация, калибровка магнитометра, крен, тангаж.

Введение

В настоящее время остро стоит проблема выявления источников загрязнения Байкала. Для определения состояния озера проводят измерения различных параметров среды, таких как количество метана и углекислого газа на различных глубинах, химический состав воды, состояние биоты, температура и уровень воды. Для автоматизированного сбора некоторых из перечисленных параметров может применяться автономная плавающая платформа.

Целью данной работы является разработка алгоритма навигации плавающей платформы, устойчивого к влиянию внешних факторов.

Для курсирования платформы по заданному маршруту необходимо решить задачу навигации. В разрабатываемой платформе используется связка из трехосевого магнитометра НМС5883L [1], датчика GPS и акселерометра. Для решения задачи навигации необходимо провести калибровку магнитометра, исключить влияния крена и тангажа на данные цифрового компаса, разработать алгоритм навигации от исходной точки к конечной с реакцией на внешние факторы (волны, ветер).

Материалы и методы исследования

Полученные данные с магнитометра имеют в себе искажения hard & soft iron [2], которые необходимо скорректировать.

Hard iron искажения, возникающие из-за наличия вблизи датчика магнита (искажения от двигателей платформы) смещают ноль.

Soft iron искажения, возникающие по причине наличия рядом с датчиком ферромагнитных материалов (металлический каркас платформы) вытягивает облако точек вдоль некоторой оси.

Процесс калибровки магнитометра сводится к вращению датчика в пространстве вокруг некоторых произвольных осей и фиксации показаний.

$$x_{\text{cal}} = \left(x - \left(x_{\text{min}} + \frac{x_{\text{max}} - x_{\text{min}}}{2} \right) \right) \frac{2R}{x_{\text{max}} - x_{\text{min}}} \quad (1)$$

где x_{cal} – откалиброванное значение, x – координата, x_{min} – минимальная координата, x_{max} – максимальная координата, R – желаемый радиус сферы.

Откалиброванные значения по всем трем осям были получены путем подстановки соответствующих значений по каждой оси в формулу (1).

На рисунке 1 представлены два облака точек, серое – до калибровки, представляющее собой сплюснутую сферу с видимым смещением нуля и небольшим искажением по оси Z, черное – после калибровки, убрано смещение нуля и приведено к сфере с заданным радиусом.

По откалиброванным данным магнитометра необходимо получить угол к северу. Цифровой компас должен быть не чувствителен к крену и тангажу платформы. Углы крена и тангажа [3] взяты из показаний акселерометра.

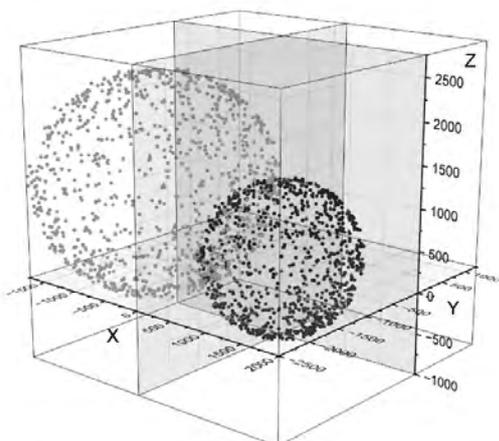


Рис. 1. «Облака» точек для калибровки магнитометра: серый цвет – некалиброванные значения; черный – калиброванные значения

$$x_{\text{comp}} = x_{\text{cal}} \cos(\theta) + y_{\text{cal}} \sin(\theta) \sin(\zeta) + z_{\text{cal}} \sin(\theta) \cos(\zeta) \quad (2)$$

где θ – угол тангажа, ζ – угол крена.

$$y_{\text{comp}} = y_{\text{cal}} \cos(\zeta) - z_{\text{cal}} \sin(\zeta) \quad (3)$$

$$H = (\text{atan2}(x_{\text{comp}}, -y_{\text{comp}}) \cdot \frac{180^\circ}{\pi} + 270^\circ) \bmod 360^\circ \quad (4)$$

где H – угол к северу.

По формулам (2) и (3) получим исправленные значения координат. Подставив их в формулу (4), получим искомый угол к северу.

Результаты исследования

Навигация платформы осуществляется по данным датчика GPS и цифрового компаса. Ввиду малых расстояний между стартовой и финишной точками вместо задачи на сфере [4], задача решается на плоскости. Расстояние между двумя широтами одинаково в любой точке Земли, но между двумя долготами зависит от положения и уменьшается к полюсам.

$$lat_{\text{dist}} = (lat_{\text{goal}} - lat_{\text{cur}}) \cdot \frac{2\pi R_{\oplus}}{360} \quad (5)$$

где lat_{cur} – текущая широта по GPS, lat_{goal} – целевая широта, R_{\oplus} – радиус Земли.

$$long_{\text{dist}} = (long_{\text{goal}} - long_{\text{cur}}) \cdot \frac{2\pi R_{\oplus}}{360} \cdot \cos(lat_{\text{cur}}) \quad (6)$$

где $long_{\text{cur}}$ – текущая долгота по GPS, $long_{\text{goal}}$ – целевая долгота.

$$L = \sqrt{(lat_{\text{dist}})^2 + (long_{\text{dist}})^2} \quad (7)$$

где L – расстояние между точками.

$$\varphi = (\text{atan2}(lat_{\text{dist}}, -long_{\text{dist}}) \cdot \frac{180^\circ}{\pi} + 270^\circ) \bmod 360^\circ \quad (8)$$

где φ – угол направления (угол к северу вектора, образованного точкой текущего положения и финишной точкой).

По формулам (7) и (8) определим расстояние до финишной точки и угол движения.

Алгоритм навигации, пример работы на рисунке 2, состоит из последовательного циклического выполнения команд с проверкой условий:

1. Определение L и φ .

2. Сравнение расстояния L с радиусом погрешности r . Если $L \leq r$, то остановка движения. Если $L > r$ то:

3. Определение вхождения φ в область

$H \pm \frac{\alpha}{2}$, где поисковой угол α – заданная чувствительность, чем α меньше, тем более короткий путь пройдет платформа (в случае сильных ветров α стоит увеличивать). Если φ входит в область, то движение вперед. Если не входит:

4. Определение стороны кратчайшего поворота. Поворот в нужную сторону.

5.

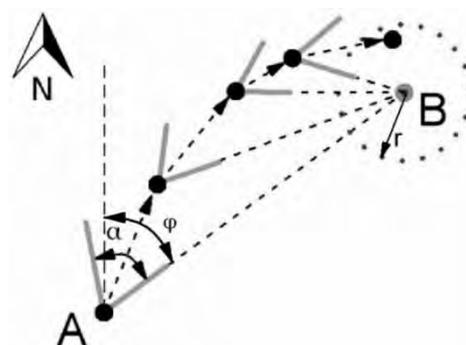


Рис. 2. Пример работы алгоритма: α – поисковой угол, φ – угол направления, А – стартовая точка, В – финишная точка, r – радиус погрешности

Заключение

В результате разработан алгоритм навигации платформы с исключением влияния крена и тангажа (калибровка магнитометра) и уменьшенным влиянием внешних факторов и инертности платформы на навигацию (наличие поискового угла и циклической проверки условий).

Список литературы

1. Honeywel. 3-axis digital compass ICHMC5883L. – Plymouth : Honeywell International, 2012. – 20 p.

2. Konvalin C. Compensating for tilt, hard-iron, and soft-iron effects // Sens. Mag. – 2009. – Vol. 26. – P. 1–11.
3. Евсегнеев О.А. Калибровка магнитометра. Электронный компас [Электронный ресурс] // Robotclass. – Екатеринбург, 2016. – URL: <https://robotclass.ru/articles/magnetometer-and-compass>. (дата обращения: 15.04.2023).
4. Дубин М.Ю. Вычисление расстояния и начального азимута между двумя точками на сфере [Электронный ресурс] // GIS-Lab – М., 2006. – URL: <https://gis-lab.info/qa/great-circles.html> (дата обращения: 20.04.2023).

Эффективность автоматического создания виртуальных предприятий

О.А. Лобанов

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент В.Е. Петров

Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», г. Москва

E-mail: lobanov98oleg@mail.ru

Аннотация: В данной работе описана платформа для объединения предприятий, которая позволяет создавать проекты при удовлетворении каждого участника системы в реальном масштабе времени с помощью автоматизированной системы поиска свободных ресурсов каждого из участников проекта. При создании виртуальных предприятий в такой системе должно сохраняться условие выгодности каждого участника данного объединения при организации единого производства. В работе показаны преимущества предприятий, которые вступят в такую единую систему, и выгодность такого взаимодействия предприятий для формирования виртуального предприятия в реальном времени.

Ключевые слова: виртуальное предприятие, система платформенного решения, оптимальное производство, паутина решений.

Введение

Виртуальное предприятие – это предприятие, которое объединяет географически разрозненные экономические субъекты, которые взаимодействуют в процессе совместного производства, используя преимущественно электронные средства коммуникаций. В основе подобной организации управления лежит принцип разделения и специализации труда. [2]

Предприятиям достаточно тяжело найти для себя заказы, для конкуренции приходится тратить много средств на рекламу и поиск возможных покупателей. [1] Внедрение платформы позволит предприятиям сосредоточиться на производствах, передав полностью поиск и подготовку заказов на отдельную компанию, которая будет разрабатывать платформу.

Целью статьи является обзор эффективности внедрения платформы для формирования возможности производств, и в дальнейшем автоматического формирования виртуальных предприятий для выполнения необходимых сборных заказов.

Результаты исследования

Жизненный цикл виртуального предприятия обычно делят на:

- фазу выявления перспективной возможности для создания виртуального предприятия;
- фазу создания виртуального предприятия;

- фазу функционирования виртуального предприятия;
- фазу ликвидации виртуального предприятия;
- фазу распада виртуального предприятия. [3]

Платформа будет создаваться на сервере отдельной компании. Всем заинтересованным предприятиям будет предложено присоединиться к платформе для получения заказов от нее и формирования единого виртуального производства.

В системе платформенного решения планируется использовать жизненный цикл виртуального предприятия в следующем виде:

- подключение к системе;
- обработка заказа платформой;
- формирование предприятия под заданную стоимость и передача мощностей;
- функционирование виртуального предприятия;
- остановка виртуального предприятия;
- переход мощностей под другое виртуальное предприятие.

Получается, что некоторые основные этапы жизненного цикла виртуального предприятия полностью ложатся на создаваемую систему. Это позволит повысить эффективность виртуальных производств и скорость их создания. Виртуальным предприятиям больше не надо искать заказчика и другие предприятия для объ-

единения, а так же искать ресурсы для создания виртуального производства.

Для платформы и создания оптимального производства требуется собрать информацию о поставщиках, информацию о компаниях логистики и полный, точный заказ клиента. Из этих данных будет формироваться оптимально возможное производство, и выдаваться задачи компаниям, которые вошли в это производство. Платформа так же должна искать новых покупателей с помощью рекламы и анализировать рынок, для определения изменения спроса на продукцию и быстрой перестройки на новое производство под эти изменения.

Платформа должна включать: закупки, продажи, производства, заказы, сервисы, маркетинг. В платформе происходит: формирование спецификации продукции и технологических норм изготовления, формирование доступной ресурсной и технологической базы предприятий, формирование крупно-узловой состава изделия, сбор статистики выполнения заказа, определение всех исполнителей заказа, формирование графика кооперации с подбором поставщика и контроль исполнения в реальном времени.

Предполагается, что платформа будет выполнять следующие действия после получения заказа:

1) отбирать предприятия, которые способны изготовить выбранную номенклатуру этапа согласно спецификации продукции;

2) выбирать предприятия, которые на данный момент обладают доступными ресурсами или запасами для изготовления необходимых компонент, или предприятия, которые в ближайшее время освободятся и смогут взять заказ;

3) вычисление рейтинга поставщиков под выбранный критерий. Критерий составляется в зависимости от цены изделий, качества, и оценкой насколько давно предприятие получало заказ. Платформа должна выдавать заказы всем участвующим предприятиям.

Результатом платформы будет паутина решений, в этой паутине составляются все воз-

можные решения, а потом отбираются по нескольким критериям: времени, цене, качеству и времени от выполнения последнего заказа. После выбора предприятий создается диаграмма Ганта данного производства, и платформа выделяет виртуальные мощности для объединения предприятий и начала функционирования этих предприятия.

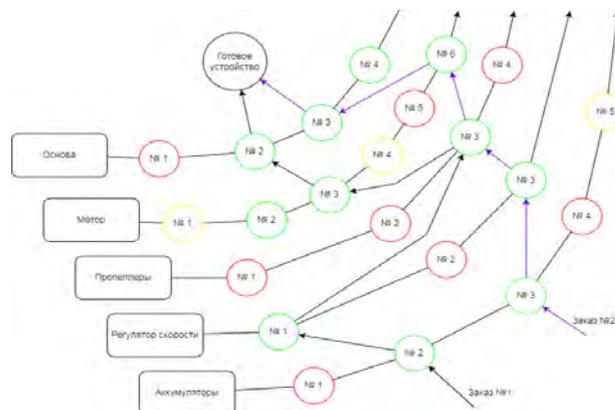


Рис. 1. Паутина решений платформы

Заключение

Планируется продолжить изучение текущей возможности разработки платформы для формирования виртуальных предприятий и подготовить техническое задание для разработки такой системы. Платформа должна выдавать заказы всем участвующим предприятиям.

Текущая разработка должна ускорить процесс реализации заказа и помочь российским предприятиям конкурировать с импортными производствами.

Список литературы

1. Катаев А.В. Виртуальные бизнес-организации. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 120 с.
2. Тимашова Л.А., Рамазанов С.К., Бондар Л.А. и др. Организация виртуальных предприятий. – Луганск: Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, 2004. – 368 с.
3. Шептунов С.А. Жизненный цикл продукции. – М.: Янус-К, 2003. – 244 с.

Исследование возможностей оптимизации беспроводных систем связи внутри помещений

К.А. Минаев

Научный руководитель: докт. техн. наук, профессор А.П. Преображенский

Воронежский институт высоких технологий, г. Воронеж

E-mail: wowcircle68@gmail.com

Аннотация: В данной работе проведено исследование, связанное с оптимизацией систем связи внутри помещений. Представлен алгоритм распространения радиоволн через стену. Затем проведено обобщение на распространение радиоволн внутри помещения, состоящего из нескольких комнат. Получены результаты оптимизации передающего устройства внутри помещения.

Ключевые слова: беспроводная система связи, оптимизация, моделирование, распространение радиоволн.

Введение

Для данной работы была поставлена цель – провести комплексную оценку распространения Wi-Fi сигнала и оптимизировать расположение передающего устройства внутри помещения. Чтобы достичь вышеописанной цели, необходимо было решить следующие задачи: провести моделирование распространения сигнала через препятствие, затем провести моделирование распространения сигнала внутри помещения и оптимизировать расположение передающего устройства для обеспечения максимального уровня сигнала на приёмнике.

Актуальность исследования моделей распространения Wi-Fi сигнала и, впоследствии, метода оптимизации расположения Wi-Fi-передающих устройств обусловлена востребованностью использования подобных методов внутри крупных компаний и предприятий с целью повысить эффективность передачи данных [1, 2].

Материалы и методы исследования

Была рассмотрена задача распространения электромагнитной волны от передающего устройства. В качестве источника радиосигнала рассматривался изотропный излучатель. Для решения данной задачи был разработан алгоритм, базирующийся на принципах геометрической оптики.

Используя общую модель распространения Wi-Fi сигнала, рассчитывалась мощность принимаемого сигнала и уровня его затухания в заданных условиях [3, 4].

Рассматривалась следующая ситуация: На расстоянии $R_1 = 3$ м от электроизоляционной бетонной стены ($\epsilon_2 = 7,2$; $\mu_2 = 1$; $tg\delta = 0.084$), толщиной $h = 0,22$ м расположен Wi-Fi роутер мощностью 20 дБм с коэффициентом усиления антенны 5 дБм, что даёт выходную мощность $P_A = 63,2$ дБм раздающий сигнал в воздухе ($\epsilon_1 = 1$; $\mu_1 = 1$). Принимающая антенна находится по ту сторону этой стены на расстоянии $R_2 = 5$ м. Третьей средой так же считается воздух. Рассматривая Wi-Fi роутер стандарта IEEE 802.11ac, использующего частоту 5 ГГц, можно сказать, что длина волны его сигнала $\lambda = 0,06$ м.

Имея исходные данные, был произведён расчёт затухания и мощности сигнала [5, 6], который попадёт на принимающую антенну в данных условиях [7, 8], используя разработанный алгоритм. Для того, чтобы автоматизировать процесс вычислений, была написана программа на языке C++, которая позволила быстро определить значения мощностей при заданных условиях.

Результаты исследования

Далее была рассмотрена приведённая выше модель отдельного препятствия для моделирования распространения радиосигнала в помещении. В качестве помещения рассмотрена квартира из 4 комнат. План квартиры представлен на рисунке 1.

Квартира была разбита на одинаковые пронумерованные квадраты, а затем в каждом из них был проведён расчёт мощности и затухания сигнала. В рассмотренном случае стены состоят

из кирпича ($\varepsilon_2 = 5,86$; $\mu_2 = 1$; $tg\delta = 0.116$) и имеют толщину $h = 0.11$ м.

Остальное пространство – воздух ($\varepsilon_1 = 1$; $\mu_1 = 1$). Wi-Fi роутер TP-Link Archer C6U AC1200 MU-MIMO расположен в верхнем правом квадрате верхней комнаты. Параметры R_1 и R_2 будут зависеть от расстояния между центрами квадратов, которое равно 2 м. Роутер распространяет сигнал на частоте 5 ГГц.

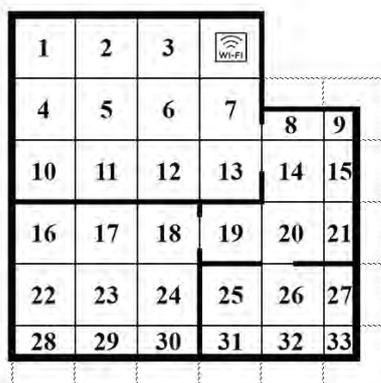


Рис. 1. Схема квартиры

Используя предлагаемую методику оценки уровней сигнала внутри помещения, рассматривалась задача оптимизации в том же помещении квартиры. Цель – расположить роутер так, чтобы внутри квартиры сигнал распространялся как можно более эффективно, то есть, чтобы в каждой точке принимаемый сигнал испытывал как можно меньшее затухание [9].

Для решения такой задачи использовался метод случайного поиска с последовательным сужением области определения значений - применялся метод сеток. Для каждого участка сетки задействовался метод локальной оптимизации, иначе именуемый методом золотого сечения [4].

Всего для данного помещения необходимо было реализовать порядка 80 000 итераций. Поэтому, для выполнения поставленной задачи алгоритм эффективного расположения роутера был реализован в созданной программе с использованием алгоритма Брезенхема.

В качестве оптимального расположения роутера был найден квадрат 12.

Заключение

Таким образом, применив комплексный алгоритм, базирующийся на комбинации метода физической оптики и оптимизации расположе-

ния передающего устройства, который включает в себя метод сеток и локальной оптимизации, было рассчитано наиболее эффективное расположение роутера внутри помещения.

На основе предложенной модели алгоритма можно проводить оценку оптимальной установки Wi-Fi передающих устройств без необходимости привлечения реального оборудования с учётом характеристик помещения, то есть на основе вычислительного эксперимента.

Список литературы

1. Мишин Я.А. О системах автоматизированного проектирования в беспроводных сетях // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2013. – № 10. – С. 153–156.
2. Львович Я.Е., Карлин П.В., Преображенский Ю.П. Об особенностях моделирования беспроводных сенсорных сетей // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2021. – № 4(39). – С. 20–23.
3. Милошенко О.В. Методы оценки характеристик распространения радиоволн в системах подвижной радиосвязи // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2012. – № 9. – С. 60–62.
4. Ерасов С.В. Оптимизационные процессы в электродинамических задачах // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2013. – № 10. – С. 20–26.
5. Львович Я.Е., Преображенский Ю.П., Ружицкий Е. Особенности оптимизации беспроводных систем связи // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2022. – № 1(40). – С. 68–71.
6. Львович Я.Е., Преображенский Ю.П., Ружицкий Е. Анализ возможностей управления системами "интернет вещей" // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2022. – № 2(41). – С. 112–115.
7. Гайдамака Ю.В., Самуйлов А.К., Бегишев В.О., и др. Оценка характеристик интерференции при взаимодействии беспроводных устройств в смежных помещениях прямоугольной формы // Т-Сопп: Телекоммуникации и транспорт. – 2015. – Т. 9, № 11. – С. 41–45.
8. Львович Я.Е., Преображенский Ю.П., Ружицкий Е. Анализ характеристик современных ip-сетей связи // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2022. – № 3(42). – С. 64–67.
9. Львович И.Я., Чупринская Ю.Л., Аветисян Т.В. Анализ подходов, позволяющих проводить позиционирование объектов // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2021. – № 3(38). – С. 42–45.

Методы проектирования сети беспроводных точек доступа для технологии интернета вещей

А.А. Сиротинин

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент С.В. Исаев

Красноярский научный центр Сибирского отделения РАН, г. Красноярск

E-mail: slitch@icm.krasn.ru

Аннотация: В настоящей работе представлены основные проблемы при организации беспроводной сети стандарта 802.11, в частности, для использования технологии интернета вещей. Методом измерений построена цифровая модель уровней мощности сигнала для здания научного института. Измеренные значения уровней сигнала хорошо согласуются с рассчитанными по дополненной модели Мотли–Кинана с учетом затухания сигнала в стенах и перекрытиях, что дает возможность использовать их при решении поставленных задач оптимизации.

Ключевые слова: модель Мотли–Кинана, беспроводные точки доступа, задача оптимизации, уровень сигнала.

Введение

В настоящее время существует проблема оптимального расположения точек доступа для выхода в интернет в целом, и для интернета вещей в частности [1, 2]. Хаотичное расположение источников сигнала, отсутствие учёта материалов, из которых построено сооружение, материалов внутренней отделки и особенностей помещений способны существенно снизить мощность и качество передачи данных, что в свою очередь приводит к потере части данных, к серьезным задержкам при передаче определенных данных или вовсе к потере связи с конечными устройствами. В таком случае, становится невозможным стабильное отслеживание важных параметров от устройств интернета вещей, таких как датчики температуры, датчики задымленности, влажности, что в свою очередь не позволяет оперативно предпринимать действия по устранению нештатного изменения параметров.

Материалы и методы исследования

Основным методом для определения распространения Wi-Fi сигнала стандарта IEEE 802.11 является модель Мотли–Кинана [3]:

$$RSS(d) = RSS(d_0) - 10a \lg \left(\frac{d}{d_0} \right), \quad (1)$$

где $RSS(d)$ – мощность сигнала (RSS – Received Signal Strength) (дБм), определяемая устройством на расстоянии d от точки доступа, $RSS(d_0)$

– мощность сигнала (дБм), измеренная на расстоянии $d_0 = 1$ м от точки доступа, a – коэффициент, учитывающий потери сигнала Wi-Fi в окружающей среде. В работе [4] представлена дополненная модель Мотли–Кинана, которая учитывает также затухание сигнала в стенах, перегородках и межэтажных перекрытиях:

$$RSS(d) = RSS(d_0) - 10a \lg \left(\frac{d}{d_0} \right) + \sum_{r=1}^L l_r w_r + FAF, \quad (2)$$

где L – количество стен, l_r – количество стен с затуханием w_r , FAF – затухание в межэтажном перекрытии.

Поставим задачу оптимального расположения беспроводных точек доступа [5]. Для этого необходимо определить начальные условия. Так как, качественное оборудование для беспроводной передачи данных стоит довольно дорого, то первым условием зададим снизить количество точек доступа и ретрансляторов, оптимально расположив их в здании. Вторым важным условием будет скорость передачи данных с контрольной точки, это условие должно стремиться к максимуму. В дальнейшем данную задачу можно расширить, добавив другие условия, например, взаимное перекрытие каналов [6].

Предположим, что есть несколько зон с хорошим уровнем приема. Определяем приоритет для каждой из них. Также следует установить минимальную скорость для любой зоны. Таким образом, имеем N_c ячеек, для которых необхо-

димому задать приоритет F_j и минимальную скорость V_j .

Для начала нам необходимо разбить обследуемый объект на клетки, количество клеток будет N_p , в каждой клетке можно разместить оборудование для передачи данных N_{tr} , для каждого типа оборудования нужно учесть стоимость коммуникаций и прикладного оборудования, стоимость которого известна и равна C_i ; $1 \leq i \leq N_p$, стоимость оборудования для передачи данных C_k тоже известна: $1 \leq k \leq N_c$.

Определяем матрицу X булевых переменных x_{ik} . Значение переменной x_{ik} , равное 1, означает, что точка доступа k -типа помещена в i -й клетке, а значение равное 0 означает, что оборудование не установлено.

Задача оптимизации будет заключаться в том, чтобы получить максимальную скорость в максимальном количестве клеток в соответствии с приоритетами, при минимальных затратах. Запишем условия:

$$\begin{aligned} V_j(X)F_j &\rightarrow \max, & V_j &\geq V_{\min j}, \\ \sum_{i=1}^{N_p} \sum_{k=1}^{N_{tr}} (C_i + C_k)x_{ik} &\rightarrow \min, \\ \sum_{k=1}^{N_{tr}} x_{ik} &\leq 1, \quad \forall i \in [1; N_p], \\ x_{ik} &\in \{0, 1\}, \quad \forall i \in [1; N_p], \quad \forall k \in [1; N_{tr}]. \end{aligned}$$

Здесь $V_j(X)$ – максимальная скорость в контрольной точке i , F_j – приоритет у j -й контрольной точки, N_p – возможные места для установки точек доступа, N_{tr} – количество точек доступа, $V_{\min j}$ – минимально необходимая скорость.

Результаты исследования

Уровень мощности сигнала был рассчитан по модели Мотли–Кинана и проведено сравнение с измеренными значениями.

Для примера приведем расчёт по методу Мотли–Кинана для трёх рабочих мест, находящихся в различных условиях: рабочее место находится в прямой видимости от точки доступа; рабочее место находится за стеной; рабочее место находится под точкой доступа.

Уровень сигнала для первого рабочего места, рассчитанный по формуле (1): $RSS(d) = -51$ дБм, при этом $RSS(d_0) = -39$ дБм, $a = 2$ – коэффициент затухания для воздуха, $d = 4$ м.

Уровень сигнала для второго рабочего места, рассчитанный по формуле (2): $RSS(d) = -68$ дБм, при этом $RSS(d_0) = -39$ дБм, $a = 2$, $d = 5$ м, $l_r = 1$, $w_r = -15$ дБ – затухание для межкомнатной стены (2,4 ГГц).

Уровень сигнала для третьего рабочего места, рассчитанный по формуле (2): $RSS(d) = -68$ дБм, при этом $RSS(d_0) = -39$ дБм, $a = 2$, $d = 6,4$ м, $FAF = 12,9$ дБ – затухание в межэтажном перекрытии (2,4 ГГц).

Сопоставив рассчитанные уровни сигнала с измеренными мы убедились в том, что возможно рассчитать по методу Мотли–Кинана уровень мощности сигнала в любой точке исследуемого объекта с минимальной погрешностью и использовать полученные значения для решения задач оптимального расположения точек доступа.

Заключение

В работе методом измерений построена цифровая модель распространения уровня сигналов Wi-Fi в здании научного института. Проведена верификация модели Мотли–Кинана с данными, полученными методом измерений. На основе модели и реальных данных можно уточнить характеристики строительных конструкций. Поставлена задача оптимизации расположения беспроводных точек доступа с учетом максимальной скорости при минимальных затратах.

Список литературы

1. Srinidhi N.N., Kumar S.M.D., Venugopal K.R. Network optimizations in the internet of things: A review // Eng. Sci. Tech., Int. J. – 2019. – Vol. 22(1). – P. 1-21.
2. Арефьев А.В., Афанасьева О.В., Вешев Н.А. и др. Проблемы построения больших локальных сетей интернета вещей // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2022. – Т. 10. – С. 261–267.
3. Motley A.J., Keenan J.M.P. Personal communication radio coverage in buildings at 900 MHz and 1700 MHz. // Electronics Letters. – 1988. – Vol. 24, No.12. – P. 763–764.
4. Zhang Y., Wang F., Shen Y. et al. A study of indoor distributed calculation model of mobile communication. Information Computing and Applications: Second International Conference, Qinhuangdao, China. Proceedings, Part I 2, 2011. – P. 458–465.
5. Kazakovtsev L.A. Wireless coverage optimization based on data provided by built-in measurement tools // World Appl. Sci. J. – 2013. – Vol. 22. – P. 8–15.
6. Wang W., Capitaneanu S. L., Marinca D. et al. Comparative analysis of channel models for industrial IoT wireless communication // IEEE Access. – 2019. – Vol. 7. – P. 91627-91640.

Парсинг и структурный анализ созвездий

М.В. Соколов, В.Э. Данилкин

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук Ю.А. Злобина

Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток

E-mail: zlobina.iua@dvfu.ru

Аннотация: В работе рассматриваются неправильные точечные множества, построенные на основе созвездий. Сбор всех необходимых данных, их предварительная обработка и все расчеты были автоматизированы с использованием языка программирования Python. На основе полученных данных построены и качественно проанализированы статистические распределения для всех созвездий.

Ключевые слова: парсинг, очистка данных, гистограмма, распределение, космология, циклическая модель.

Введение

С древних времен человечество интересовал вопрос, как устроена Вселенная. У многих народов существовали свои космологические мифы: представления о том, как зарождается мир, как из хаоса возникает порядок. Люди наблюдали за звездами и осуществляли по ним навигацию. Первая карта звездного неба была составлена Евдоксом за 400 лет до н.э. и содержала 28 созвездий. Потом был труд Птолемея «Альмагест» (Великое математическое построение астрономии в XIII книгах). Но настоящий прорыв астрономия пережила в XX веке.

С 1922 г. Международный астрономический союз разделил все небо на 88 созвездий, а их границы были окончательно установлены в 1928 г. Сейчас в свободном доступе можно найти подробные карты с описанием всех звезд, входящих в созвездия.

В данной работе предлагается простой метод оценки структурного состава созвездий, исходя из статистических распределений.

Данные и средства разработки

Вся необходимая информация для работы получена с английской версии свободной энциклопедии «Википедия». Преимуществом данного ресурса является удобный формат, хорошая структурированность страниц, кроме того, в Википедии есть отдельная страница со ссылками на таблицы, содержащие все необходимые для работы данные, что упрощает автоматизацию сбора информации. Под автоматизацией понимается парсинг – процесс автоматического извлечения данных из источника и пре-

образования их в структурированный формат, удобный для анализа и обработки. С этой целью на языке программирования Python была написана программа, позволяющая собрать данные из интернет-источника.

В целом, процесс парсинга данных в нашем случае состоит из нескольких шагов, которые включают подготовку ссылок, извлечение данных из страниц, преобразование данных в необходимый формат и вид, и создание структурированной таблицы, которая содержит все данные, необходимые для проведения дальнейшего исследования. В процессе подготовки данных возникали различные проблемы, например, вместо знака «минус» стоял знак «тире», но Python позволяет без особого труда выполнить очистку подобного рода грязных данных.

В результате парсинга были собраны данные о 88 созвездиях, создано соответствующее число файлов в csv-формате, содержащих следующую информацию о звездах: прямое восхождение, склонение, видимая звездная величина и расстояние от Земли в световых годах.

От экваториальной системы координат мы перешли к декартовой, и все расстояния в дальнейшем находили в этой системе координат.

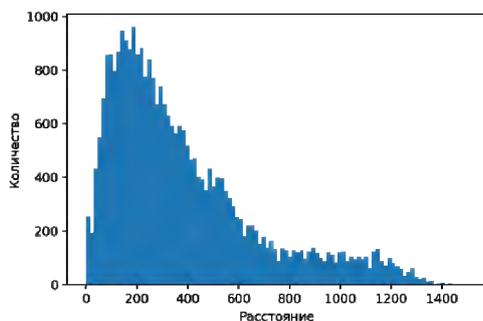
Методы исследования

Каждому созвездию был поставлен в соответствие полносвязный граф. Для всех графов были построены симметричные матрицы расстояний, имеющие в общем случае размерность $N \times N$, где N – число звезд в созвездии. Наименьшее число звезд содержится в созвездии Резец $N_{\text{Caelum}} = 30$, а наибольшее – в созвездии

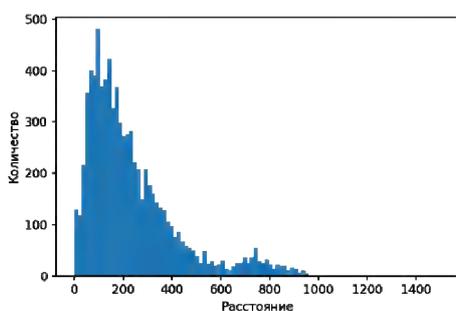
Центавр $N_{\text{Centaurus}} = 326$. Но так как не для всех звезд известны расстояния до Земли, то максимальное число точек, используемое для построения гистограммы, составило $315^2 = 99\,225$.

Результаты исследования

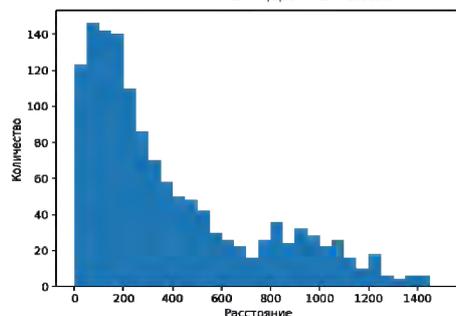
В результате проведенных построений мы получили 88 распределений, некоторые из которых представлены на рисунке 1.



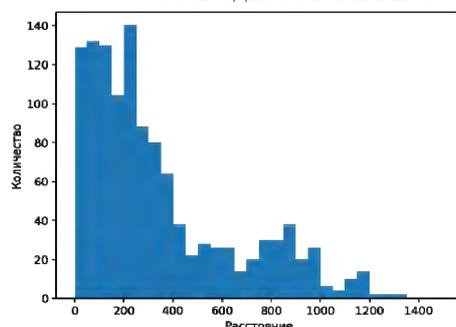
Созвездие Андромеда



Созвездие Феникс



Созвездие Золотая Рыба



Созвездие Часы

Рис. 1. Распределения попарных расстояний

Оказалось, что многие распределения имеют несколько мод. Особенно ярко бимодальная структура распределений выражена для созвездий, которые расположены в южном полушарии неба. Но у распределений созвездий северного полушария тоже можно увидеть в «хвосте» вторые моды существенных размеров, которыми нельзя пренебречь. Как видно из представленных распределений, мультимодальный характер гистограмм не зависит от числа звезд в созвездии.

С целью сравнительного анализа нами были созданы гистограммы расстояний для сгенерированного множества случайных точек. Гистограммы расстояний в этом случае имели одномодальную колоколовидную форму, характерную для нормального распределения.

Мультимодальная структура распределений попарных расстояний созвездий может быть следствием различных факторов. Возможно, она передает геометрические особенности формы созвездий, но возможно, выявленный характер распределений является следствием того, что созвездия образованы в результате действия нескольких последовательных случайных процессов, например, Больших взрывов. В этом случае мультимодальность распределения косвенным образом подтверждает циклическую теорию развития Вселенной, которую столетие назад предложил великий русский математик и физик Александр Александрович Фридман. Этой теории придерживались Альберт Эйнштейн и Роджер Пенроуз [1, 2]. Кроме того, в 2001 году ученые Принстонского университета Стейнхардт и Турок выдвинули свою циклическую версию развития Вселенной, которую поддержали многие ученые [3, 4].

Заключение

В данной работе описан универсальный метод поиска закономерностей в большой базе астрономических данных, приведены результаты исследований. Возможно, это позволит лучше понять процессы эволюции.

Список литературы

1. Gorkavyi N.N., Tyul'bashev S.A. Black holes and neutron stars in an oscillating Universe // *Astrophys. Bull.* – 2021. – Vol. 76(3). – P. 229–247.
2. Пенроуз Р. Циклы времени. Новый взгляд на эволюцию Вселенной / пер. с англ. Р. Пенроуз. – М.: Бинوم. Лаборатория знаний, 2014. – 333 с.
3. Steinhardt P.J., Turok N. A cyclic model of the Universe // *Science.* – 2001. – Vol. 296, no. 5572. – P. 1436–1439.

4. Вселенная. Ведущие учёные обсуждают происхождение, структуру и загадки космоса / под ред.

Дж. Брокмана. – М.: АСТ, 2018. – 480 с.

Реализация режима обучения по теме «Поиск фиктивных переменных булевой функции»

В.И. Тишкова

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент С.А. Прокопенко

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск

E-mail: valeriatshk@gmail.com

Аннотация: В работе представлен результат программной реализации тренажера, который позволяет обучать студента поиску фиктивных переменных булевой функции. В данном тренажере реализуется логика взаимодействия студента с обучающей системой, прописана реакция системы на любые действия студента, и, кроме того, студенту выдаются комментарии на его неправильные действия. Трек обучения реализуется посредством перехода между веб-страницами

Ключевые слова: булева функция, фиктивная переменная, тренажер, программная реализация.

Введение

При синтезе и анализе цифровых схем задача поиска фиктивных переменных булевой является актуальной. В связи с этим требуется научить студентов выявлять и удалять фиктивные переменные булевой функции [1]. Для этого разрабатывается тренажер, позволяющий автоматизировать процесс обучения студента решению данной задачи. В данной работе реализована только часть тренажера: поиск фиктивных переменных булевой функции.

Материалы и методы исследования

В первую очередь требуется определиться с выбором платформы, на которой будет запускаться программная реализация режима обучения. Так как первая часть тренажера, режим демонстрации [2], был реализован с помощью SCORM пакета [3] и интегрирован в MOODLE [4], то предлагается и режим обучения интегрировать в MOODLE.

Реализуем режим обучения в виде веб-страницы. Для создания страницы используются язык разметки HTML [5], таблица каскадных стилей CSS [6] и язык программирования JavaScript [7].

Логика обучения, то есть модель взаимодействия студента с обучающей системой, изложена в [8].

Результаты исследования

В данной работе для обучения ограничимся только булевыми функциями четырех аргументов. Чтобы исключить возможность повторения заданий, была создана псевдослучайная генера-

ция булевой функции, которая выдается студенту в виде таблицы истинности.

Реализация тренажера идет непосредственно по модели (расширенному автомату [8]). В каждом состоянии автомата описывается определенный шаг алгоритма обучения, прописано поведение обучающей системы на всевозможные в данном состоянии действия студента.

Сначала студент выбирает одну из четырех переменных булевой функции, с которой он будет работать (в расширенном автомате состояние 0).

На рисунке 1 представлен результат реализации поведения автомата в состоянии 0, в котором совершается выбор одной из четырех переменных функции для последующей работы.

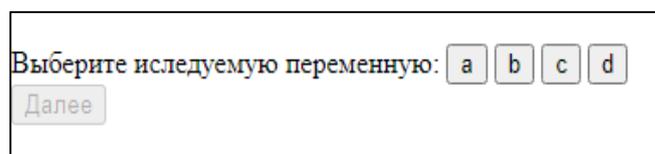


Рис. 1. Реализация поведения автомата в начальном состоянии 0

Пока никакая переменная не выбрана, студент не сможет перейти к следующей части. После совершения выбора (нажатия на кнопку переменной) становится активной кнопка «Далее», и после ее нажатия студент переводится на другую страницу.

Теперь студенту требуется указать пары наборов, на которых необходимо сравнивать значения функции. Эти действия студента заключены в состояниях 1–8 расширенного автомата.

Реализация поведения автомата в данных состояниях приведена на рисунке 2.

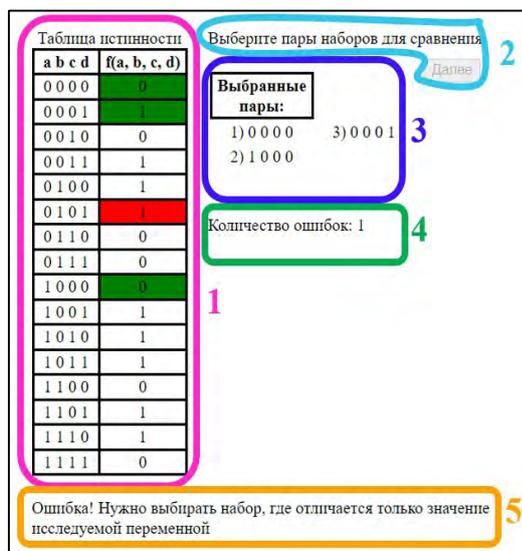


Рис. 2. Реализация поведения автомата в состояниях 1–8

На рисунке 2 выделены пять блоков: 1 – таблица истинности функции; 2 – задание и кнопка «Далее»; 3 – пары наборов, выбранные студентом; 4 – счетчик ошибок; 5 – объяснение ошибки, объяснение появляется только после совершения ошибки.

Студент выбирает соответствующие пары наборов для сравнения путем нажатия на значение функции на данных наборах в блоке 1. Если соответствующие пары определены правильно, то они добавляются в блок 3, а сами значения функции на данных наборах окрашиваются в зеленый цвет. Если студент совершает ошибку (неправильно выбирает пару наборов), то значение функции на втором наборе из указанной пары подкрашивается на некоторое время красным цветом для акцентирования внимания студента на ошибке, в блоке 4 число ошибок увеличивается на 1, а в блоке 5 появляется подсказка, какая ошибка совершена.

Если студент правильно указал все пары соответствующих наборов, то кнопка «Далее» в блоке 2 становится активной, и после ее нажатия студент будет переведен на страницу выбора очередной переменной для ее исследования (рис. 1).

Если студент совершает три ошибки (трижды неправильно устанавливает соответствие между наборами), то расширенный автомат переходит в состояние 11, в котором никакое дей-

ствие студента не может быть выполнено, а студенту выдается сообщение о необходимости повторения теоретического материала.

Следует отметить, что при переходе на страницу выбора очередной переменной булевой функции, система помнит, какие переменные студент уже выбирал. Поэтому кнопки, соотносящиеся с этими переменными, становятся неактивными.

Заключение

В данной работе программно реализован этап обучения студента алгоритму поиска фиктивных переменных булевой функции. Реализация выполнена в виде веб-страницы согласно ранее разработанной модели взаимодействия студента с обучающей системой.

В дальнейшем планируется создать этап для обучения студентов алгоритму удаления фиктивных переменных булевой функции.

Список литературы

1. Быкова С.В., Буркатовская Ю.Б. Булевы функции : учебно-метод. комплекс дистанционного образования. – Томск: ИДО ТГУ, 2006. – URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000243756> (дата обращения: 25.04.2023).
2. Тишкова В.И., Разработка SCORM пакета режима демонстрации алгоритма поиска и удаления фиктивных переменных булевой функции // Девятнадцатая всероссийская конференция студенческих научно-исследовательских инкубаторов (СНИИ–2022) : сборник трудов. – Томск, 2022. – С. 155–159.
3. SCORM Explained 101: An introduction to SCORM. – URL: <https://scorm.com/scorm-explained/one-minute-scorm-overview> (дата обращения: 26.04.2022).
4. MOODLE. – URL: <https://moodle.org> (дата обращения: 26.04.2022).
5. HTML. – URL: <https://html.com> (дата обращения 26.12.22).
6. CSS. – URL: <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Glossary/CSS> (дата обращения 26.12.22).
7. JavaScript. – URL: <https://learn.javascript.ru> (дата обращения 26.12.22).
8. Тишкова В.И., Прокопенко С.А. Применение модели расширенного автомата для обучения алгоритму поиска фиктивных переменных булевой функции // Новые информационные технологии в исследовании сложных структур: материалы XIV междунар. конф. – Томск, 2022. – С. 7. – URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/koha:000924628> (дата обращения: 25.04.2023).

Применение модели расширенного автомата для описания интерфейсной части обучающих тренажеров

А.Р. Шайдуллин

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Н.В. Шабалдина

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск

E-mail: artikwf64@gmail.com

Аннотация: Работа рассматривает описание интерфейсной части обучающих тренажеров с использованием формальной модели, а именно расширенного автомата. В большинстве случаев тренажеры имеют интерфейсную и основную части. Предлагается унифицировать интерфейсную часть для упрощения разработки, обеспечивая разработчикам возможность сосредоточиться на разработке основной логики тренажеров. Взаимодействие между интерфейсной и основной частями может быть описано композицией расширенных автоматов при определенных ограничениях.

Ключевые слова: расширенный автомат, автоматная композиция, интерфейс, обучающий тренажер.

Введение

В Национальном исследовательском Томском государственном университете используют систему управления обучением *Moodle*, в которой размещаются внешние модули, тренажеры для расширения имеющегося функционала. Курс «Теория автоматов» содержит свои тренажеры [1, 2]. Также другие курсы имеют свои тренажеры с интерфейсной и основной частями. В работах [3–4] использованы модели конечных и расширенных автоматов при описании обучающих тренажеров. Цель исследования – описать унифицированную интерфейсную часть тренажеров на основе модели расширенного автомата [5].

Определения и обозначения

Конечный автомат – это пятёрка $A = (S, I, O, \psi, \varphi)$ [5], где S – конечное множество состояний; I – конечное множество входных символов; O – конечное множество выходных символов; $\psi: S \times I \rightarrow S$ – функция переходов; $\varphi: S \times I \rightarrow O$ – функция выходов. Расширенный автомат дополняет конечный автомат контекстными (внутренними) переменными, входными и выходными параметрами, и предикатами.

Взаимодействие автоматов описывается автоматной композицией [5].

Результаты

Расширенный автомат (рис. 1), описывающий интерфейсную часть обучающих тренажеров, состоит из 3 состояний $\{s_0, s_1, s_2\}$, имеет входной алфавит $\{ID, Score\}$ и выходной алфавит $\{Task, Lecture, Succeed, Unavailable\}$.

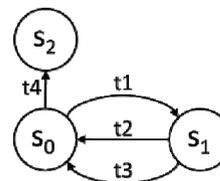


Рис. 1. Модель расширенного автомата, описывающая интерфейсную часть обучающих тренажеров

Поясним обозначения символов входного и выходного алфавитов:

ID (поступает от пользователя по каналу 1 на интерфейс, рис. 2) – идентификационный номер студента, используемый для получения соответствующих данных о студенте;

Score (поступает от тренажера на интерфейс по каналу 3, рис. 2) – текущая оценка студента при выполнении практического задания;

Task (поступает от интерфейса на тренажер по каналу 2, рис. 2) – запрос на выдачу задания с определенного уровня;

Lecture (поступает от интерфейса пользователю по каналу 4, рис. 2) – уведомление студента о необходимости повторного изучения лекционного материала, если его текущая оценка ниже пороговой;

Succeed (поступает от интерфейса пользователю по каналу 4, рис. 2) – уведомление о том, что студент успешно справился с заданием соответствующего уровня;

Unavailable (поступает от интерфейса пользователю по каналу 4, рис. 2) – уведомление о недоступности задания для студента. Причины недоступности могут быть следующими: студент полностью выполнил задание на всех

уровнях сложности; у студента закончились попытки на выполнение задания; у студента отсутствует доступ к данному заданию из-за отсутствия записи на соответствующий курс.

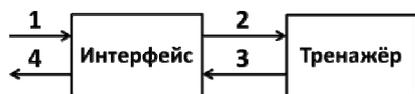


Рис. 2. Композиция интерфейсной части и основной части (тренажера)

В автомате имеются предикаты: $Available == true$, $Available == false$, $Level \leq 3$, $Level > 3$, $Attempt \leq n$, $Attempt > n$, $Score \geq Limit$, $Score < Limit$. Также, чтобы отслеживать уровень пройденного задания и оставшееся количество попыток, имеются две контекстные переменные, $Level$ и $Attempt$ соответственно.

Переходы расширенного автомата (рисунок 1) описываются следующим образом:

t1: ID , $Available == true$, $Attempt \leq n$, $Level \leq 3 / Task(Level)$,

t2: $Score$, $Score < Limit / Lecture$, $Attempt = Attempt + 1$, $Level = Level - 1$

t3: $Score$, $Score \geq Limit / Succeed$, $Attempt = Attempt + 1$, $Level = Level + 1$,

t4: ID , $Available == false$,

$Attempt > n$, $Level > 3 / Unavailable$.

Далее опишем сами состояния.

s_0 : Студент выбирает задание и проверяются следующие условия: доступность задания для студента ($Available == true$), количество попыток не превышает максимального значения ($Attempt \leq n$, где n – натуральное число) и студент не выполнил все 3 уровня сложности задания ($Level \leq 3$). Если все условия выполнены, происходит переход в состояние s_1 , где студент начинает выполнение задания. В противном случае происходит переход в состояние s_2 .

s_1 : Выполнение студентом задания. Если оценка за выполненное задание ниже пороговой ($Score < Limit$), то студенту предлагается пройти лекционный материал, при этом количество использованных попыток увеличивается ($Attempt = Attempt + 1$), уровень сложности понижается ($Level = Level - 1$). Если оценка выше пороговой ($Score \geq Limit$), то студент справил-

ся с данным уровнем сложности задания, при этом количество использованных попыток увеличивается ($Attempt = Attempt + 1$), а уровень сложности увеличивается ($Level = Level + 1$). Происходит переход в состояние s_0 .

s_2 : Тупиковое состояние, возникающее, когда студент полностью выполнил задание, исчерпал все попытки или не имеет доступа к данному заданию.

Заключение

В статье описано использование модели расширенного автомата для интерфейсной части обучающих тренажеров, что позволяет унифицировать ее и упростить разработку тренажеров. Дальнейшие исследования направлены на анализ взаимодействия композиции интерфейсной части и автомата, определяющего основную часть тренажера.

Список литературы

1. Мануилов В.А. Разработка тренажеров по тестированию дискретных систем // Труды XVIII Всерос. конф. студенческих научно-исследовательских инкубаторов. – Томск: СТУ, 2021. – С. 249.
2. Шайдуллин А.Р. Разработка тренажера «Минимизация конечных автоматов» // Труды XVIII Всерос. конф. студенческих научно-исследовательских инкубаторов. – Томск: СТУ, 2021. – С. 266.
3. Никитин П. В., Горохова Р. И. Проектирование интеллектуальной обучающей системы на основе теории конечных автоматов // Вестник ИрГТУ. – 2015. – №10 (105) – С. 33–37.
4. Тишкова В.И., Прокопенко С.А. Применение модели расширенного автомата для обучения алгоритму поиска фиктивных переменных булевой функции // Новые информационные технологии в исследовании сложных структур : материалы XIV междунар. конф. – Томск, 2022. – С. 7.
5. Широкова Е.В., Прокопенко С.А., Шабалдина Н.В. К построению параллельной композиции расширенных автоматов // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2019. – № 48. – С. 83–90.

Автоматизированный поиск полуволнового напряжения на фазомодуляторе интерферометра системы квантового распределения ключей

З.Г. Кузубаев

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук, доцент М.Л. Громов

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск

E-mail: daplunc@mail.ru

Аннотация: В работе рассмотрена проблема поиска напряжения на фазомодуляторе, который стоит в одном из плеч интерферометра системы квантового распределения ключей, при котором данный фазомодулятор обеспечивает сдвиг фазы на половину длины волны. Поставленная задача решается аппроксимацией зависимости интенсивности интерферометра от поданного напряжения на фазомодулятор. Метод реализован программно.

Ключевые слова: квантовое распределение ключей, автоматизация, поиск напряжения, интерферометр, протокол.

Введение

В данной работе рассмотрена проблема поиска напряжения на фазомодуляторе, который расположен в одном из плеч интерферометра системы квантового распределения ключей (КРК) [1], при котором данный фазомодулятор обеспечивает сдвиг фазы на половину длины волны.

Одна из задач систем безопасной передачи информации между двумя абонентами телекоммуникационной сети состоит в распределении ключа между абонентами, с помощью которого данные абоненты будут шифровать информацию. Ключ должен быть распределён (передан) так, чтобы злоумышленники не могли его перехватить или восстановить по побочной информации, возникающей в процессе передачи ключа. Существует множество способов организации безопасного распределения ключа. Один из таких способов описывается протоколом BB84 [2]. Этот протокол использует законы квантовой механики, которые позволяют обнаружить факт перехвата или подмены ключа. В частности, используется тот факт, что фотон невозможно разделить, квантовое состояние одиночной частицы невозможно скопировать и измерение его уничтожает или изменяет состояние. То есть вмешательство третьего лица может быть обнаружено. Данный протокол предполагает использование оборудования, которое каждый раз необходимо настраивать, в частности интерферометр, кото-

рый позволяет наблюдать эффект интерференции.

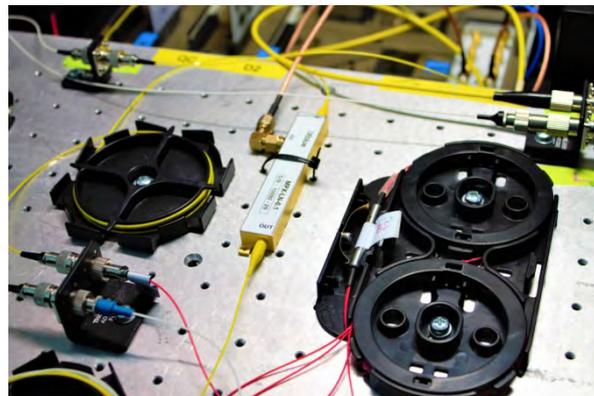


Рис. 1. Фотография интерферометра с фазомодулятором

В одном из плеч данного интерферометра встроен фазомодулятор (рис. 1), настройка которого осуществляется вручную. Разработка программного обеспечения для автоматической настройки оборудования представляется как решение этой проблемы.

Методы и материалы

Метод настройки фазомодулятора следующий. Будем изменять напряжение с некоторым малым шагом и измерять интенсивность излучения на выходе интерферометра. Полученная зависимость интенсивности от напряжения на фазомодуляторе будет иметь два максимума.

Точка первого максимума соответствует напряжению, при котором фазомодулятор обеспечивает сдвиг на половину длины волны, второго – на целую длину волны. Поскольку измерения зашумлены, а максимумы выражены не чётко (в окрестности точки максимума значения интенсивности близки к максимуму), для нахождения точки максимума зависимость сначала аппроксимируется. Причем для этого используется для этого только половина полученных данных, чтобы, во-первых, избежать необходимость аппроксимировать минимум между двумя максимумами (а это потребует дополнительные ресурсы), а во-вторых, использовать вторую половину данных для верификации полученного в конечном итоге результата.

С теоретической точки зрения зависимость интенсивности на выходе интерферометра от поданного на фазовый модулятор напряжения описывается как модуль синуса. Ошибка аппроксимации синуса полиномом третьей степени составляет величины порядка 10^{-3} и менее [3]. Это соответствует точности измерений. Поэтому в данной работе на стадии теоретической подготовки используется для аппроксимации полином третьей степени.

Для программной реализации описанного метода использовался стандартный регрессионный анализ из библиотеки ALGLIB [4], которая позволяет получать регрессор на основе любых базовых функций.

Результаты

Опираясь на библиотеку ALGLIB, была разработана программа, которая позволяет выбирать полиномы любой степени, изменяя перед запуском программы необходимое значение. Это позволяет точно определить необходимую степень полинома экспериментально для аппроксимации полученных значений за-

висимостей, интенсивности от напряжения. Для верификации выбранной степени аппроксимирующего полинома, сначала использовался полином второй степени. Получившийся результат не удовлетворял требованиям (среднее отклонение аппроксимирующей функции от значений составило около 322 единиц). Далее был взят полином третьей степени и в результате аппроксимация оказалась удовлетворительной (среднее отклонение 33). Дальнейшее увеличение степени полинома не улучшало результат (среднее отклонение начало расти). По полученным коэффициентам полинома была найдена его производная, ее корни, из которых была выбрана точка первого максимума.

Заключение

Таким образом, разработана программа вычисляющие корни полинома по полученным значениям измерений, описанным методом в разделах выше. Полученное значение на экспериментальных данных хорошо согласовывалось с визуальным способом определения искомого напряжения.

Список литературы

1. Методическое пособие по квантовым коммуникациям. Квантовое распределение ключа. – М. : КуРэйт, 2019. – 46 с.
2. BB84. В [Электронный ресурс] // Википедия. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/BB84> (дата обращения: 11.01.2023).
3. Агаркова Е.В. Сравнение аппроксимации синуса рядами Маклорена и полиномами Чебышёва // Актуальные исследования. – 2021. – № 40 (67). – С. 6–9.
4. ALGLIB. (2021). ALGLIB: cross-platform numerical analysis and data processing library. – URL: <https://www.alglib.net> (access date: 17.03.2023).

Разработка программы обработки изображений с использованием инструментов квантовых вычислений

М.А. Олейник

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук, доцент С.Н. Торгаев

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск

E-mail: marinamoro149@gmail.com

Аннотация: В работе представлены результаты программной реализации простейших методов обработки изображения с использованием пакета Qiskit. В частности, реализованы программы обработки изображения размером 8×8 с цветовой гаммой в градациях серого. Также реализован способ программной реализации RGB изображений.

Ключевые слова: кубит, гейт, алгоритм, квантовый компьютер, изображение, градация цветового тона, цвет.

Введение

Согласно принципам квантовой физики, вычислительная мощность квантовой машины огромна по сравнению с классической. Благодаря способности квантовых компьютеров решать определенные вычислительные задачи экспоненциально быстрее классических, они могут найти применение в самых различных областях, таких как криптография, машинное обучение, искусственный интеллект и т.д.

Квантовая обработка изображений – это направление исследований в области квантовой информации и квантовых вычислений. Данное направление посвящено использованию свойств квантовой механики для представления изображений в квантовом компьютере, а затем, основываясь на этом формате изображения, реализовать различные операции над изображениями.

Целью данной работы является разработка программы считывания изображения, его обработки посредством квантовых алгоритмов и построения результата обработки.

Материалы и методы

В данной работе рассматривается использование цветовой модели или же визуальной разницы для кодирования содержимого изображения [1]. В такой модели используется кубитовая решетка, в которой цвет может быть представлен в формате традиционных цветковых моделей, например RGB или HSI. Обычно квантовые изображения в этой модели можно далее сгруппировать следующим образом: на основе двоичных данных, градации серого и на основе

RGB. Один кубит предназначен для кодирования информации о цвете, тем самым гарантируя, что преобразования содержимого изображения могут быть направлены только на цвет или на цвет и положение одновременно. Определенные квантовые гейты, применяемые к заранее определенным областям изображения, могут преобразовывать информацию о цвете по желанию.

Для реализации квантовых алгоритмов обработки изображений использовалась картинка размером 8×8 клеток, представленная на рисунке 1.

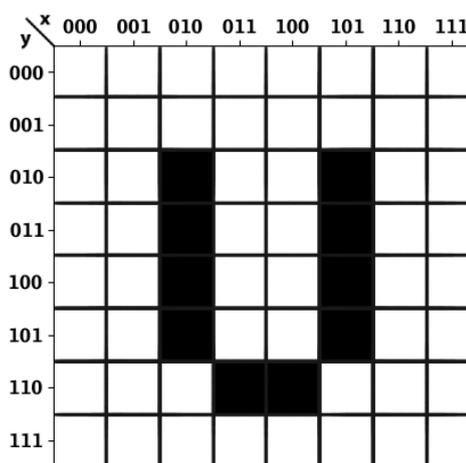


Рис. 1. Тестовое изображение для обработки

При построении квантовой модели данного изображения использовалась 7-кубитовая система: 3 кубита – номер столбца, 3 кубита – номер строки и 1 кубит – цвет (белый или чер-

ный). Квантовая схема, моделирующая данное изображение представлена на рисунке 2.

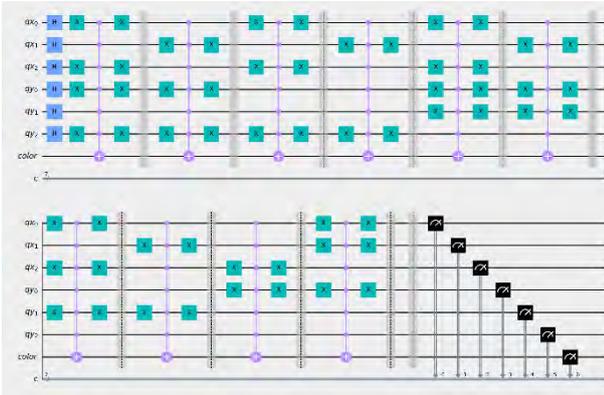


Рис. 2. Квантовая схема, моделирующая тестовое изображение

В схеме, представленной на рисунке 2 кубиты qx[0], qx[1] и qx[2] определяют номер столбца, кубиты qy[0], qy[1] и qy[2] определяют номер строки, а кубит color определяет цвет соответствующего пикселя. В ходе проведения модельных исследований в данной работе было реализовано обработка тестового изображения, с использованием гейтов тsx и Rx. После разработки схемы, моделирующей тестовое изображение, осуществлялась симуляция работы квантового компьютера с последующими измерения вероятностей состояний. Количество измерений составляло – 100000. Реализация квантового алгоритма осуществлялась с использованием пакета Qiskit [2].

При визуализации результатов обработки использовались цветовые гаммы согласно карте Matplotlib [3].

При этом угол поворота по каждому пикселю определялся согласно формуле (1).

$$R_x = \begin{bmatrix} \cos \frac{\theta}{2} & -i \sin \frac{\theta}{2} \\ -i \sin \frac{\theta}{2} & \cos \frac{\theta}{2} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

$$\Psi = R_x \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \frac{\pi}{8} & -i \sin \frac{\pi}{8} \\ -i \sin \frac{\pi}{8} & \cos \frac{\pi}{8} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{2 + \sqrt{2}}}{2} \\ \frac{\sqrt{2 - \sqrt{2}}}{2} \end{bmatrix}$$

$$\Psi = R_x \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \frac{\pi}{6} & -i \sin \frac{\pi}{6} \\ -i \sin \frac{\pi}{6} & \cos \frac{\pi}{6} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{3}}{2} \\ 1 \\ -\frac{1}{2} \end{bmatrix}$$

$$\Psi = R_x \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \frac{\pi}{4} & -i \sin \frac{\pi}{4} \\ -i \sin \frac{\pi}{4} & \cos \frac{\pi}{4} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{2}}{2} \\ \frac{\sqrt{2}}{2} \end{bmatrix}$$

Результаты

Для исследования влияния гейтов тsx и Rx в системе симуляции квантового компьютера были разработаны три схемы, одна из них представлена на рисунке 3.

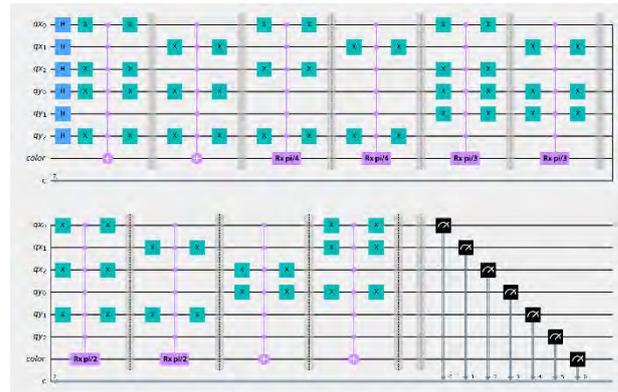
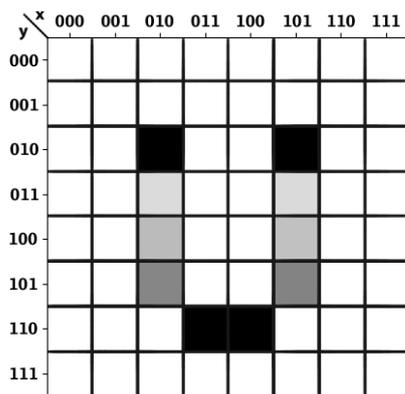
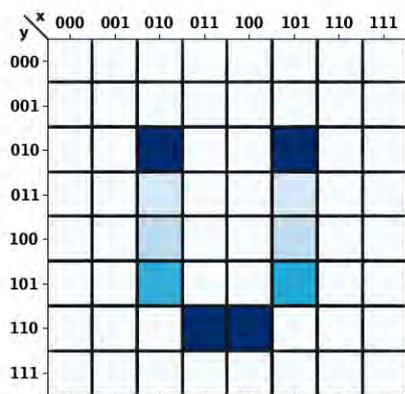


Рис. 3. Квантовая схема, моделирующая тестовое изображение с цветовой гаммой в градациях цветового тона

Схема исследования влияния гейтов тsx и Rx в системах симуляции квантового компьютера для обработки изображений с градацией цвета (рис. 3) реализованы с применением гейтов NOT к соответствующим координатам кубитов. Результаты обработки изображения с цветовой гаммой в градациях серого и цветовой гаммой в градациях синего представлены на рисунке 4а и рисунке 4б соответственно.



а



б

Рис. 4. Результаты влияния квантовых гейтов на изображение: а – результат обработки цветовой гаммы в градациях серого; б – обработки цветовой гаммы в градациях синего

Заключение

Таким образом, в данной работе были реализованы два квантовых алгоритма обработки изображения с цветовой гаммой. Также была

разработана программа, позволяющая считать исходное изображение и осуществлять его обработку с использованием инструментов квантовых вычислений с последующим построением результата.

При проведении тестовых экспериментов использовалось черно-белое и изображение с градаций в оттенках серого и голубого, т.е. состояние 1 кубита $q[0]$ соответствовало черному цвету пикселя, состояние 0 – белому, а состояние θ – определяет градацию. Для тестового изображения была разработана программа, которая позволяет посчитать вероятности выпадения 0 и 1, но и автоматически моделирует изображение, квантовую схему и заносит данные в файл.

Благодарности

Исследование выполнено при поддержке Программы развития Томского государственного университета (Приоритет-2030), проект № 2.0.6.2022 ЛМУ.

Список литературы

1. Yan F., Venegas-Andraca S.E. Quantum Image Processing. – Springer Singapore, 2020. – P. 27–32.
2. Qiskit [Electronic resource]. – URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/azure/quantum/quickstart-microsoft-qiskit-portal?pivots=platform-ionq> (дата обращения: 13.03.2023). – Режим доступа: для зарегистр. пользователей.
3. Matplotlib [Electronic resource]. – URL: <https://matplotlib.org/stable/tutorials/colors/colormap.html> (дата обращения: 13.03.2023).

Разработка программы для микроконтроллера для регистрации ЭКГ и беспроводной передачи данных по протоколу BLE

А. Трубачев

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук, доцент С.Н. Торгаев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

E-mail: aat64@tpu.ru

Аннотация: Представлен алгоритм программы для микроконтроллера для реализации беспроводной передачи электрокардиографических данных с портативного электрокардиографа на персональное устройство пациента по протоколу BLE. Указаны подробности о разработанных для этого сервисах и характеристиках, преимущества использования данного протокола для портативных медицинских устройств.

Ключевые слова: микроконтроллер, Bluetooth с низким энергопотреблением, электрокардиография, беспроводная передача данных.

Введение

Одной из динамично развивающихся концепций современной техники является Интернет вещей (Internet of Things, IoT). Данная концепция подразумевает удаленное взаимодействие и передачу информации между различными физическими объектами, которые оснащены необходимыми встроенными средствами коммуникации. Данная концепция быстро внедряется и в медицинскую электронику. Ежегодно увеличивается количество разработок в сфере Интернета медицинских вещей (IoMT) и инвестиций в производство различных медицинских устройств, способных удаленно передавать информацию [1]. Использование подобных устройств быть полезным в экстренной медицине и в качестве персонального медицинского средства с возможностью для врача наблюдать за показателями здоровья пациента удаленно. Поэтому предлагается портативный электрокардиограф с возможностью беспроводной передачи данных.

Взаимодействие объектов в концепции Интернета вещей осуществляется посредством различных протоколов удаленного обмена данными, как Wi-Fi, Bluetooth, LoRa и др. Для портативных устройств личного пользования и устройств экстренной медицины актуальной является задача эффективного энергопотребления, что тяжело реализуемо с классическими протоколами передачи данных, как Wi-Fi и Bluetooth. Поэтому было решено использовать протокол BLE или Bluetooth с низким энергопотреблением.

Основным достоинством BLE по сравнению с классическим Bluetooth является сверхмалое пиковое потребление тока и очень низкое энергопотребление при нахождении устройства в состоянии покоя [2].

В данной работе описан базовый алгоритм программы для микроконтроллера для отправки электрокардиографических данных по протоколу BLE, а также уникальные сервисы, характеристики и дескрипторы, используемые для корректной работы протокола.

Материалы и методы исследования

В качестве аппаратного средства реализации беспроводной передачи данных и обработки биопотенциалов человека был выбран модуль ESP32-WROOM-32D на базе 32-разрядного микроконтроллера ESP32-D0WD. Достоинством данного модуля, кроме возможности использования беспроводных протоколов обмена данными, является достаточно большое количество настраиваемых аппаратных интерфейсов.

Для разработки программы для организации беспроводной передачи данных использовалось расширение PlatformIO для Visual Studio Code.

Результаты разработки

Алгоритм организации беспроводного взаимодействия объектов по протоколу BLE состоит из нескольких основных блоков: инициализация, объявление универсального уникального идентификатора сервиса (UUID), характеристик и дескрипторов, использующихся в разрабатываемом устройстве, запуск сервера с набором

объявленных сервисов и характеристик, уведомление клиента о состоянии характеристик и формирование ответов на различные запросы клиента. Краткий алгоритм реализации беспроводной передачи данных представлен на рисунке 1.

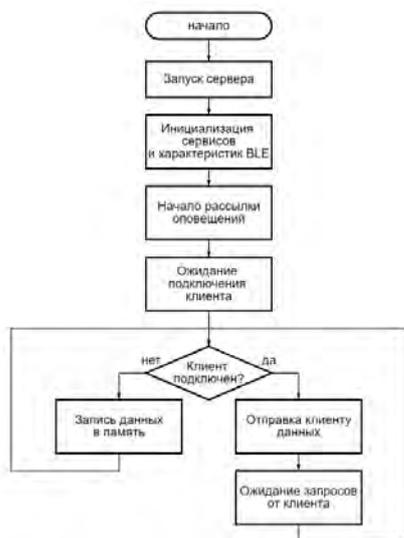


Рис. 1. Алгоритм реализации беспроводной передачи данных

Профиль BLE портативного электрокардиографа, должен содержать 3 основных сервиса: сервис для отправки электрокардиограммы; сервис для уведомления о заряде батареи устройства и сервис UART для обмена управляющими командами между разрабатываемым устройством и персональным девайсом пользователя. Сервис для отправки электрокардиограммы получил название ECGService с уникальным UUID 1079f20b-45da-4359-85f8-376a283cfe37. Данный UUID является пользовательским и сгенерирован специально для данного устройства. 1079 – 16-битное значение, идентифицирующее данный продукт, f20b – 16-битный UUID, уникально идентифицирующий данный сервис. В данный сервис входит одна характеристика ECG Characteristic, передающая поток данных, регистрируемых электрокардиографом. Данная характеристика имеет одно свойство – уведомлять клиента о своем состоянии.

Сервис заряда батареи BatteryService [3] имеет одну характеристику, которая позволяет уведомлять клиента об актуальном проценте заряда батареи устройства. Также этот сервис может включать в себя и другие данные о функциональном состоянии батареи, но в данной реализации в них необходимости нет.

Сервис UART является аналогом аппаратного интерфейса UART и необходим для обмена данными между двумя устройствами. В сервис входит две характеристики: UART_TX и UART_RX, которые предназначены для отправки данных и получения данных соответственно [4]. Использование данного сервиса позволяет осуществлять управление устройством в мобильном приложении. Структура профиля BLE для портативного электрокардиографа представлена на рисунке 2.

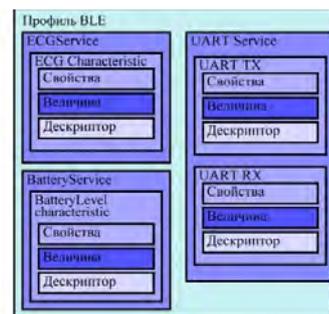


Рис. 2. Структура профиля BLE

Заключение

В результате проведенного исследования была разработана структура профиля BLE с набором базовых и пользовательских сервисов, предназначенных для реализации беспроводной передачи данных для портативных электрокардиографов. Данный алгоритм в данный момент применяется в текущей разработке портативного аппарата ЭКГ, а также разработанный механизм взаимодействия может использоваться при разработке других устройств интернета медицинских вещей.

Список литературы

1. Аксенова Е.И., Горбатов С.Ю. Интернет медицинских вещей (IoMT): новые возможности для здравоохранения. – М.: НИИОЗММ ДЗМ, 2021. – 36 с.
2. Afaneh M. Intro to bluetooth low energy: the easiest way to learn BLE. – Independently published, 2018. – 136 p.
3. Battery Service 1.1 [Electronic resource] // Bluetooth specification. – Kirkland, 2022. – URL: <https://www.bluetooth.com/specifications/specs/battery-service> (дата обращения: 22.04.2023).
4. Nordic UART Service (NUS) [Electronic resource] // Nordic Semiconductors – ASA, 2023. – URL: https://developer.nordicsemi.com/nRF_Connect_SDK/doc/latest/nrf/libraries/bluetooth_services/services/nus.html (дата обращения: 22.04.2023).

Развертывание внутреннего корпоративного почтового сервиса на postfix

Н.В. Фадеев

Научный руководитель: С.С. Пашин

Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток

E-mail: fadeev.nv@students.dvfu.ru

Аннотация: Данная статья описывает принцип работы почтового сервиса, построенного на базе обмена посредством почтовых агентов, таких как MTA, MUA. Реализация MTA агента представлена на ПО Postfix. Описаны все необходимые прилегающие программные средства и конфигурации для развертывания базового функционала обмена сообщениями в пределах одного доменного имени.

Ключевые слова: MTA, MUA, SMTP, TCP/IP, MAA, Postfix, Roundcube, DKIM, IMAP, POP3, демоны Postfix, агент.

Введение

Информация при передаче может носить конфиденциальный характер, а значит использование современных платформ передачи сообщений, таких как MS Outlook, Yandex, Mail.ru – не является безопасным, как и удобным. Первая причина – это ведение журналов на серверах или же хранение почты на почтовом сервисе сторонней организации, что уже может ставить под вопрос сохранность и конфиденциальность данных. Второе – отказ в бесплатном администрировании почтовых доменов, что будет приводить к затратам организаций, которые хотят иметь свое доменное имя и корпоративное пространство. Ярким примером выступает решение компании «Яндекс» пересмотреть условия использования сервисов с 17 апреля 2023 года.

Целью данной работы является исследование механизмов работы и способов разворачивания почтового сервиса в базовой конфигурации для его полноценной работы в пределах предприятия «Аэропорт».

Задачами являются: реализация собственного сервиса, который может осуществлять рассылку информации о рейсах в случае их изменения, а также направлять на почтовые алиасы – группы почтовых ящиков по данному рейсу информацию о нем, билет, чек.

Схема работы почтового сервиса

Одним из основных инструментов в реализации собственного почтового сервиса является применение агента передачи сообщений или же MTA (Mail Transfer Agent) с необходимым набором демонов. В данной статье внимание оста-

новится на свободном программном обеспечении Postfix.

Данный агент исполняет роль серверной части и отвечает за рассылку и пересылку сообщений, но никак не за их прием. За прием сообщений ответственен MUA (Mail User Agent), который будет принимать то, что передает Postfix клиенту.

Функционал MUA относится к клиентской части, где оперирует пользовательский интерфейс, где человек может прочитать письмо и при необходимости отправить его, используя MTA не вникая в принцип работы процедуры передачи [1].

За способность оперировать сообщениями пользователю отвечают протоколы POP3 (Post Office Protocol Version 3) или же IMAP (Internet Message Access Protocol). Их часто относят к агентам типа MAA (Mail Access Agents). Часто данную аббревиатуру применяют, когда и агенты передачи, и агенты приема расположены внутри одного программного продукта или в пределах единой экосистемы.

Использоваться на стороне клиента при реализации будет ПО Roundcube – клиент для работы с почтой через веб-интерфейс.

Общая схема работы почтового сервиса представлена на рисунке 1.

Следующим шагом будет более подробное изложение структуры почтового сервера на примере реализации одного почтового домена в пределах локального сегмента сети.

Выше было упомянуто, что из хранилища сообщений, который обработал MTA-агент письма направляются клиентам по протоколам POP3/IMAP. Существует несколько серверных

решений, которые реализуют этот механизм, но в работе будет рассмотрен свободный сервер Dovecot.

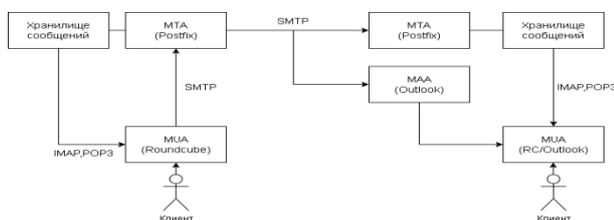


Рис. 1. Общая структура работы почтового сервиса: MTA, MUA, МММ – агенты организации почтового взаимодействия; SMTP, POP3, IMAP – протоколы почтового взаимодействия

Он позволяет осуществлять надстройки на такие параметры ящика, как: размер почтового ящика, ликвидация устаревших писем (также позволяет идентифицировать от какого почтового домена они были получены и принимать решения по заданным условиям),

Схема работы почтового сервера в пределах локального сегмента наглядно представлена на рисунке 2.

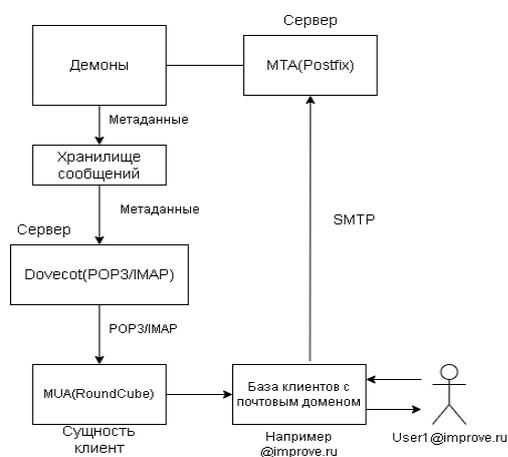


Рис. 2. Структура почтового сервиса в пределах локального сегмента: Dovecot – свободный IMAP, POP3 сервер; User1 – пользователь почтового домена @improve.ru; Метаданные – промежуточная информация, которая нуждается в процедуре обработки

Почтовый сервер, механизмы которого подчиняются общим правилам идентификации устройств серверного назначения в сети интернет, которые занимают администрируемый сегмент и имеют статичный адрес, должны быть записаны в специальных таблицах, обслуживаемыми DNS-серверами.

DNS (Domain Name System) – система доменных имен, предназначенная для получения информации о доменах, в частности получения адреса по наименованию ресурса.

DNS-сервер – приложение, предназначенное для ответов на DNS-запросы.

Для дальнейшего повествования необходимо обозначить пункты, которые должны точно идентифицировать сервер в сети интернет (локальной сети), а именно:

1. Статический IP-адрес почтового сервера
2. MX-запись (Mail Exchange). По данной записи на DNS-сервере происходит установка соответствия того, какими серверами обрабатывается почта для домена.
3. PTR-запись (Pointer). Обратная запись, которая ставит соответствие адрес имени обслуживающего хоста.
4. FQDN (Fully Qualified Domain Name) или полностью определенное имя домена. Необходимо указать все домены более высоких уровней до имени хоста назначения, которым чаще всего является имя устройства (в данном случае mail, так как рассматривается почтовый сервис).
5. A-запись. Адрес сервера почты, где обрабатывается почта. Установление соответствия доменного имени и адреса.

Все типы DNS-записей важны для правильного функционирования почтового сервера, чтобы другие MTA-агенты могли получать более подробную информацию от того, с кем происходит общения. Если наш собственный почтовый сервер имеет возможность взаимодействовать с другими почтовыми ресурсами, то теоретически достаточно лишь DNS-записи типа MX и A, которая будет ставить процедуру соответствия имени адресу, но часто фильтры настроены так, что они требуют обратную запись и полностью определенное имя домена [2].

Так как предприятие имеет собственную базу данных, которая содержит всю необходимую информацию как о рейсах, так и о пунктах отправления, самолетов, то для их совместной работы необходимо связать сущности как аэропорта, так и Postfix. Данная схема представлена на рисунке 3.

Функциональная модель декомпозиции блока «Почтовый сервер» предприятия аэропорт представлена на рисунке 4. В ней представлены процедуры для передачи информации о полете пассажиру.

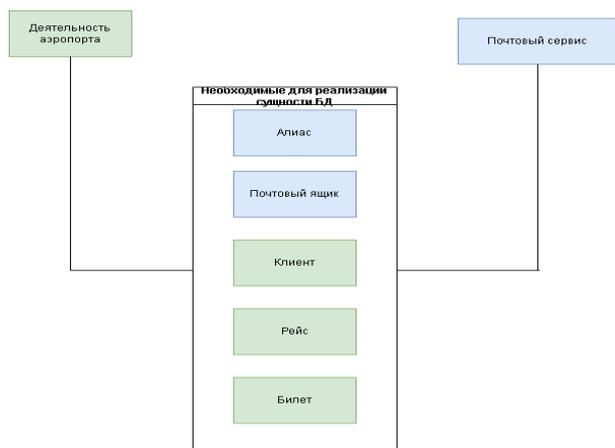


Рис. 3. Схема связи БД Postfix и аэропорта

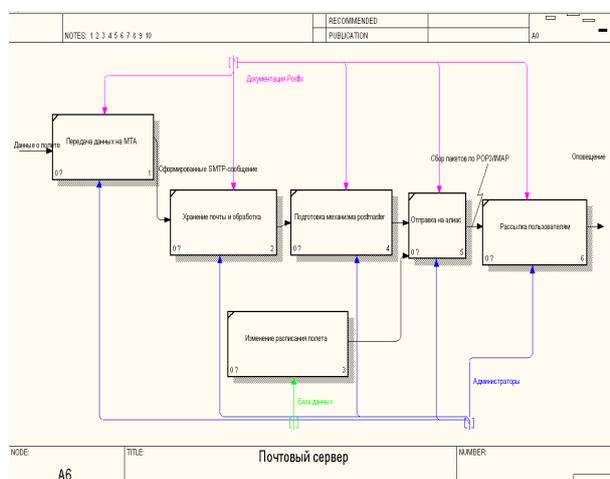


Рис. 4. Декомпозиция блока «Почтовый сервер»

Средства реализации

Как известно, протокол SMTP является протоколом стека TCP/IP, а это значит что протокол управления передачей создает надежный канал иницируя TCP-соединение для того, чтобы между хостами инициировалась SMTP-сессия.

Для выполнения всех процедур идентификации устройства, выполнений протоколов физического и канального уровней должна быть предусмотрена ретрансляция трафика за пределы локальной сети, поскольку, условно говоря, DNS-сервер может находится в совершенно другой подсети, где протокол ARP(Address Resolution Protocol) не сможет найти DNS-сервер и получить необходимые записи для связывания и создания SMTP-сессии. Еще не мало важным аспектом является то, что многие провайдеры требуют устанавливать дополнительную авторизацию клиента для осуществления ретрансляции трафика, так как сами почтовые серверы могут принадлежать другим провайдерам и не-

обходимо идентифицировать клиента(сервер) прежде чем осуществлять «общение» по SMTP. Такая процедура называется «POP-before-SMTP». Данную роль будет осуществлять веб-сервер и промежуточный прокси-сервер nginx[3].

Следующим этапом необходимо предусмотреть сервер, который позволит осуществлять администрирование и взаимодействие через протокол прикладного уровня, а именно HTTP(HyperText Transfer Protocol) для работы через браузер. Это необходимо, чтобы администрировать базу данных MySQL/MariaDB через административную панель phpmyadmin, к которой будет подключена инфраструктура правил почтового агента MTA Postfix посредством создания необходимых сущностей к БД. Таким сервером будет выступать свободный веб-сервер Apache.

Сам Postfix не может создавать все необходимые управляющие формы для администрирования, чтобы была возможность в удобной форме ими распоряжаться. Для этого был разработана административная платформа postfix-admin через который можно создавать ящики, алиасы, разрешающие правила, контролировать объемы доступной памяти к ящику и много другое, что позволит осуществлять административную роль после осуществления работы с конфигурационными файлами, как postfix, так и других приложений и веб-серверов.

Еще существует один важный нюанс, что чаще всего при обмене почтовых серверов в целом, необходима цифровая подпись о подлинности отправителя. FQDN является базовым механизмом подтверждения, но это все-таки недостаточный механизм. Необходимо установить пакеты DKIM для пометки исходящей почты закрытым ключом, а открытый ключ направлять в DNS-записи в виде TXT-файла[4].

Также необходимо отметить, что один домен может обслуживать группа серверов, то в таком случае необходимо получить подпись типа SPF, отметив тем самым какие адреса имеют право работать от имени почтового домена.

DKIM и SPF важны в том случае, если наш агент запущен и идентифицируется другими почтовыми агентами во внешней сети, тогда для их доверительных отношений и игнорирования сообщений или их попадание в папку спам, то этими механизмами нельзя пренебрегать.

Обязательным условием является обновление PHP до актуальной версии, так как работа осуществляется с веб-приложениями.

Программный каркас создан и после этого необходимо раскрыть схематично понятие демонов системы Postfix. «Демон» - это программа в Unix-подобных системах, которая осуществляет работу в фоновом режиме, так как развертывание осуществляется в чаще именно в них, то такая терминология уместна.

Так как структура Postfix достаточно трудоемкая в пределах данной статьи будут упомянуты лишь основные программы.

1. qmgr. Диспетчер очереди. Осуществляет работу по идентификации писем и их распределению.
 2. pipe. Клиентский интерфейс для исходящих соединений.
 3. smtp. Клиентская программа, которая передает сообщение адресатам и осуществляет поиск сервера назначения
 4. Демонны. Исполняемые программы, которые обрабатывают процесс надления SMTP-сообщения всеми необходимыми условиями, параметрами для его передачи.
 5. Карты. Структура, которая является регулярным выражением. Через нее происходит процесс проверки полей сообщения через системы проверки на спам, а также свойство, которым наделяется сообщение – отложено, отклонено или принято на рассылку. Также
 6. Очереди. Структуры данных, которые хранят сообщения в той или иной форме, основываясь на свойства карт.
- Демоны Postfix представлены на рисунке 3.

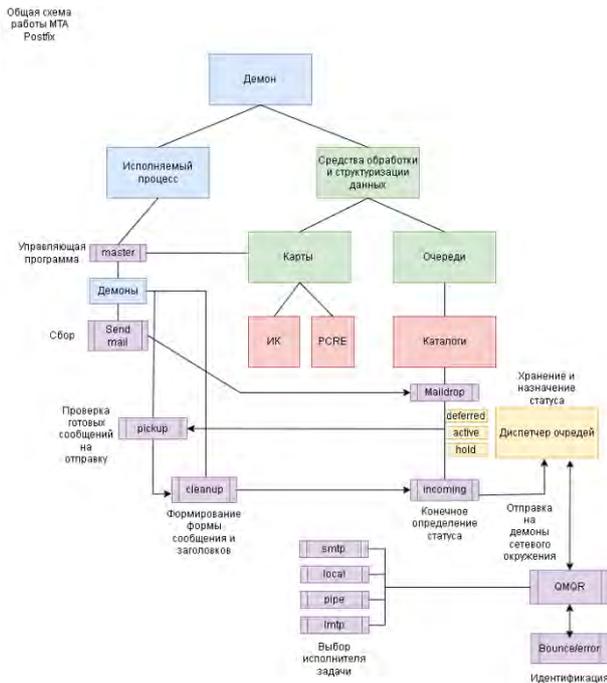


Рис. 5. Демоны MTA Postfix

Для того, чтобы осуществлять рассылку сообщений конечному пользователю(пассажиру), необходимо определить механизмы.

Postfix содержит очередь all_in в которую складывается вся почта, готовая на отправку. Механизм postmaster, который в данном случае выполняет роль группирующего по рейсу механизма, а именно объединяет в один алиас набор почтовых ящиков для передачи на рассылку.

При покупке билета офлайн администратор выдает пассажиру логин и пароль из пула ящиков и этот ящик закрепляется за отдельным рейсом и вся информация о нем будем в режиме реального времени передаваться в случае правок на рейс.

Данная схема представлена на рисунке 6.

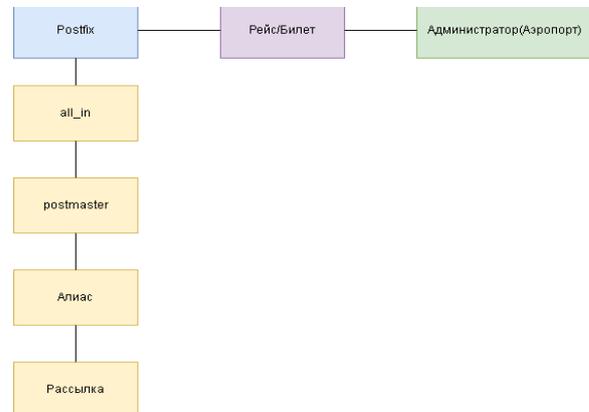


Рис. 6. Декомпозиция блока «Почтовый сервер»

Этапы развертывания почтового сервера

Процесс установки осуществляется в терминале командой apt-get <name> или apt install <name>[5].

1. Установить Unix-подобную систему, например, Debian 11.
2. Установить базовые прикладные программы, такие как netstat, iptables и др.
3. Установить nginx, apache, phpmyadmin, postfixadmin.
4. Отредактировать файл /etc/hosts через команду nano. Установить соответствие адресов и имен хоста.
5. Установить PHP.
6. Установить пароль на работу сервера nginx. Отредактировать файл /etc/nginx/sites-available/default. Добавив в него строчку auth_basic_user_file /etc/nginx/.htpasswd в секцию server.
7. Установить MySQL/MariaDB.
8. Создать копию конфигурационного файла config.inc.php, расположенного в /var/www/html/postfix/admin.

9. Произвести изменение записей: `database_host = 'localhost'`, `database_user = 'root'`, `database_password = 'root'`, `database_name = 'postfix'`.
10. Ввести в адресную строку адрес почтового домена + `/postfixadmin/public/setup.php`.
11. Сгенерировать пароль и вставить полученную строчку в файл `config.inc.php`.
12. Пройти проверку ПО и добавить суперпользователя.
13. Открыть `phpmyadmin` войти под пользователем `root` и проверить созданную БД `postfixmyadmin`.
14. Установить `postfix`.
15. Осуществить конфигурацию файла `/etc/postfix/main.cf`. Записать в него полностью определенное имя хоста (`myhostname`), доменное имя (`mydomain`), установить поле для ретранслятора `mydestination` (в данном случае необязательно).
16. Создание ящика для сбора входящей почты, например, `all_in` с именем почтового домена.
17. Установить `Dovecot`.
18. Установить `DKIM` и сгенерировать ключ(-и) домена. Составить таблицу ключей для каждого домена.
19. Установить `RoundCube` (необязательно).

Результаты работы

Результатом данного исследования является сконфигурированный под нужды аэропорта почтовый сервис механизмами МТА агента `Postfix`.

На рисунке 7 представлена панель администратора для рассылки сообщений на почту (алиас) `all_aero@improve.ru`, который содержит в себе группу ящиков, ориентированных на определенный рейс.

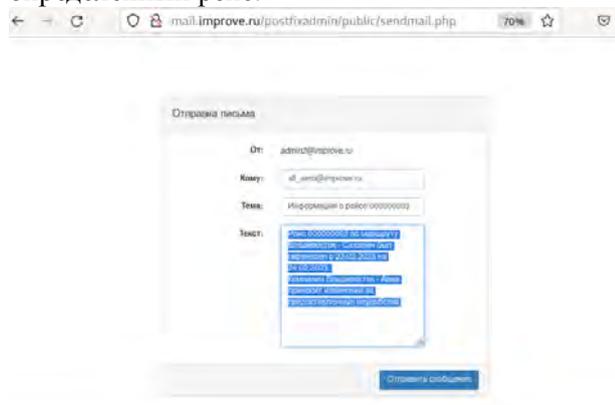


Рис. 7. Панель администрирования postfixadmin

На рисунке 8 представлена БД `Postfix`, которая содержит все необходимые сущности для их оперирования исполняющими доменами.

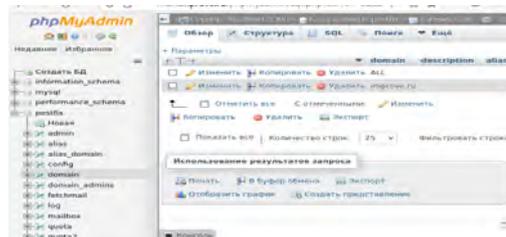


Рис. 8. База данных postfix и записи с почтовыми доменами

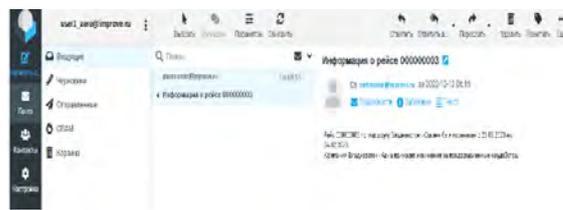


Рис. 9. Интерфейс пассажира, который получил обновленную информацию о рейсе

Заключение

Интеграция почтового сервиса возможна в деятельность любого предприятия, которое нуждается в собственных механизмах обмена информацией как между персоналом, так персоналом и клиентами. Выводами данной работы является создание механизмов работы почтового агента, которые позволяют осуществлять рассылку пассажирам необходимой информации, которая касается их рейса, а также выполнять роль сервиса для общения людей через ящики с доменным именем `@improve.ru`.

Список литературы

1. Гильдебрандт Р., Кеттер П. `Postfix`. Подробное руководство / пер. с англ. – СПб.: Символ-Плюс, 2008. – 512 с.
2. Олифер В., Олифер Н. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы : учебник для вузов. 5-е изд. – СПб.: Питер, 2019 – 992 с.
3. Почта. Основы настройки в Linux [Электронный ресурс]. – URL: <https://habr.com/ru/articles/143570>.
4. Полный синтаксис `DKIM`, `DMARC` и `SPF` [Электронный ресурс]. – URL: <https://habr.com/ru/articles/343128>.
5. Системное администрирование. Просто о сложном [Электронный ресурс]. – URL: <https://serveradmin.ru>.

Разработка программного обеспечения для установки ультразвуковой сварки по технологии Flip-Chip

А. Щербаков

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук, доцент С.Н. Торгаев

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск

E-mail: sashatarnikov73@gmail.com

Аннотация: В работе описывается разработка программного обеспечения с графическим интерфейсом для управления установкой, включающей систему технического зрения, нагревательный блок и исполнительную системы. Представлено взаимодействие между контроллерами Raspberry Pi и Arduino Nano через интерфейс I2C, что обеспечивает эффективное управление всеми системами макета.

Ключевые слова: Flip-Chip, PyQt, интерфейс пользователя, поиск объекта.

Введение

Эффективность электронных устройств напрямую зависит от качества их монтажа, а ультразвуковая сварка по технологии Flip-Chip обеспечивает наиболее качественную сборку микросхем, что делает данную технологию популярной в различных отраслях производства. В данной работе разрабатывается приложение на Python и создания алгоритмов микроконтроллеров для управления установкой ультразвуковой сварки по технологии Flip-Chip

Методы и материалы

Для реализации программного обеспечения были выбраны два языка программирования – это Python и C++. Графический интерфейс пользователя создан на базе PyQt. PyQt – набор расширений (биндингов) графического фреймворка Qt для языка программирования Python [1]. За логику работы всех контроллеров и датчиков ответственна программа, написанная на C++. Arduino выступает в роли главного микроконтроллера. Задача микроконтроллера заключается в управление системой позиционирования, которая включает в себя два шаговых двигателя Nemo-17. Так же Arduino взаимодействует с модулями MAX31855. Данные модули измеряют температуру нагревательного блока установки с помощью термодатчика. В качестве главного компьютера макета установки выступает Raspberry Pi 4.

Результаты

В системе позиционирования первый шаговый двигатель управляет движением камеры вверх и вниз с помощью функции

«set_motor1_direction», а второй двигатель отвечает за перемещение камеры вправо и влево благодаря функции «set_motor2_direction». Пользователь может управлять двигателями с помощью матричной клавиатуры, подключенной к управляющей плате Arduino и также через графический интерфейс расположенный на Raspberry Pi.

Модуль MAX31855 подключен к отдельному порту АЦП на управляющей плате Arduino. Значения температуры считываются с помощью метода «readCelsius()» и отправляются по шине I2C на главный компьютер Raspberry Pi для дальнейшей обработки.

Взаимодействие Raspberry Pi и отладочной платы Arduino происходит с помощью функции «processMessage()». В зависимости от принятой команды, Arduino может управлять углом поворота двигателей или измерять температуру. Также в системе присутствуют светодиоды, которые сигнализируют о состоянии каждого из двигателей. Когда один из двигателей активен, соответствующий светодиод горит.

Класс MainWindow является основной программой, которая содержит графический интерфейс пользователя (GUI) и обработчик событий для элементов GUI. В этой программе реализовано переключение между вкладками с помощью кнопок на левой панели и стек виджета (рис. 1).

Переключение между вкладками осуществляется при помощи метода «on_stackedWidget_currentChanged», который вызывается при изменении текущей вкладки в стековом виджете. Для управления виджетами

используются кнопки, которые реализованы с помощью класса «QPushButton».

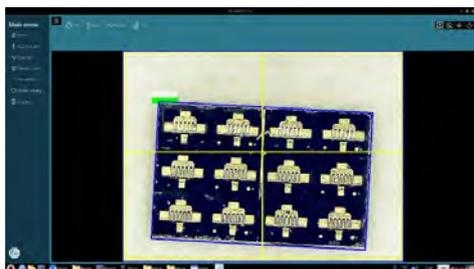


Рис. 1. Графический интерфейс для управления установкой

В одной из вкладок отображается график температуры, который строится при помощи библиотеки «pyqtgraph». График обновляется каждую секунду с помощью таймера, что наблюдаем на рисунке 2.

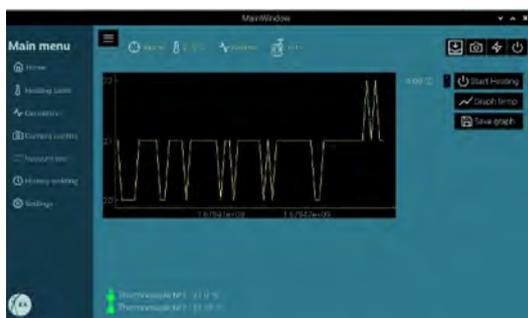


Рис. 2. Построения графика

Пользователь имеет возможность сохранения графика для этого используется класс «saveGraph», который экспортирует график в формате png с помощью класса «ImageExporter».

Данные температуры считываются с Arduino в функции «read_temp» и передаются на график и на экран пользователя. Также присутствует возможность управления системой перемещения камеры при помощи кнопок. Координаты устройства изменяются при помощи функций «moveUp», «moveDown», «moveLeft» и «moveRight», которые вызывают соответствующие функции на микроконтроллере с помощью интерфейса I2C.

В другой вкладке содержится видеопоток с цифрового микроскопа, которая подключается к компьютеру. Видеопоток обновляется каждые 30 мс с помощью таймера. Для захвата видеопотока используется библиотека OpenCV.

Для обработки изображения используются различные алгоритмы компьютерного зрения. Видеопоток проходит через процесс денойзинга, который позволяет уменьшить шум на изображении. Затем изображение преобразуется в оттенки серого и производится операция детекции границ объектов на изображении, а затем извлечение ограничивающего прямоугольника для каждого контура. «cv.findContours()» является функцией библиотеки OpenCV для поиска контуров на изображении. Для того, чтобы объект обводился корректно относительно его положения, используем функцию «cv.boxPoints()», которая преобразует координаты ограничивающего прямоугольника «bounding box» в координаты его вершин. Затем функцией «cv.drawContours()» отрисовываем контура ограничивающего прямоугольника.

Заключение

Созданы алгоритмы и приложение для управления установкой на Raspberry Pi с графическим интерфейсом пользователя, позволяет отображать и обрабатывать данные о температуре, управлять камерой и просматривать видеопоток с помощью библиотек PyQt, pyqtgraph и OpenCV. Реализована возможность сохранения графика в формате png и управления системой перемещения камеры с помощью протокола I2C. Для обработки изображения используются алгоритмы компьютерного зрения, такие как денойзинг, преобразование изображения в оттенки серого и детекция границ объектов на изображении. Результаты обработки отображаются в виде контуров ограничивающих прямоугольников на экране пользователя.

Благодарности

Научное исследование выполнено при поддержке Томского центра студенческой науки.

Список литературы

1. Summerfield M. Rapid GUI programming with Python and Qt: The definitive guide to PyQt programming. – Prentice Hall, 2015. – 648 p.
2. Kaehler A., Bradski G. Learning OpenCV 3: computer vision in C++ with the OpenCV library. – O'Reilly Media, 2016. – 1024 p.
3. Официальная документация Pyqtgraph [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.pyqtgraph.org/documentation> (дата обращения: 29.03.2023).

Программное обеспечение для системы диагностики гематом мозга

Е.А. Юрченко

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук, доцент С.Н. Торгаев

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск

E-mail: kattifi@mail.ru

Аннотация: В статье представлены результаты разработки программного обеспечения для управления экспериментальной установкой, которая предоставляет возможность диагностики гематом мозга оптическими методами. Программное обеспечение позволяет автоматизировать работу макета, управлять системой 3D позиционирования, для проведения различных тестовых экспериментов, и систематизировать полученные наборы данных для их дальнейшего анализа.

Ключевые слова: гематома, томография, диагностика, ИК, программное обеспечение, автоматизация.

Введение

Внутричерепные гематомы, которые в большинстве случаев возникают при черепно-мозговой травме, несут угрозу для здоровья и жизни людей. Вследствие этого очень важно быстро выявить характеристики гематомы для дальнейшей профилактики. В настоящее время основные методы (такие как КТ и МРТ) не всегда доступны для проведения экспресс-диагностики и имеют ряд ограничений. Таким образом, создание устройства для оперативного выявления гематом – актуальная задача. Одним из методов, который позволяет решить данную задачу, является ближняя ИК спектроскопия [1]. Целью данной работы является разработка программного обеспечения для управления и настройки экспериментальной установки, которая автоматизирует процесс исследования методики ближней ИК спектроскопии.

Материалы и методы

На рисунке 1 представлен экспериментальный макет для проведения исследований.

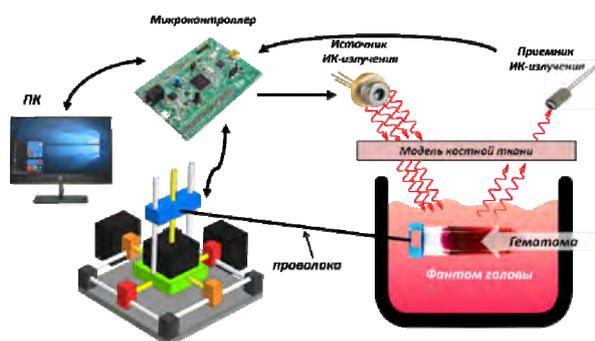


Рис. 1. Макет программно-аппаратного комплекса

Макет состоит из системы 3D позиционирования (для перемещения аналога гематомы в пространстве), фантома головы (включает в себя аналогии тканей человека), аналог гематомы, источник и приемник излучения (расположены над фантомом головы), микроконтроллер для управления составляющими и ПК с ПО для сбора и обработки данных [2, 3].

Результаты

ПО включает в себя следующие вкладки для управления системой 3D позиционирования, источником ИК-излучения и обработкой полученных данных: «Пошаговые измерения» и «График».

Вкладка «Пошаговые измерения» включает в себя возможность управления системой для перемещения гематомы, предложен выбор осей координат, количество и размер шагов. Также можно настроить источник ИК излучения задав количество и частоту лазерных импульсов, как показано на рисунках 2 и 3.

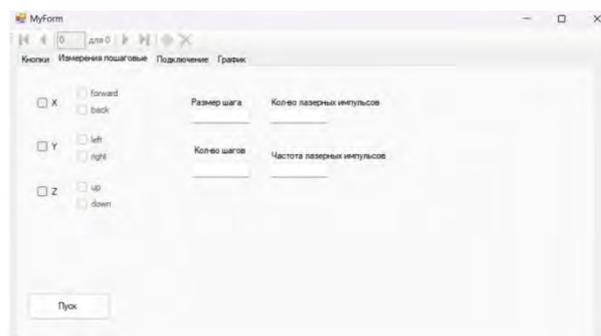


Рис. 2. Исходное окно приложения

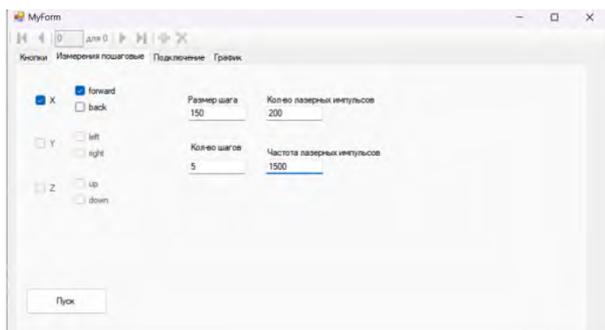


Рис. 3. Окно приложения с задачными данными

Вкладка «График» позволяет пользователю построить график по снятым данным, выбрав нужный файл, или по введенным с клавиатуры, пример графика показан на рисунках 4 и 5.

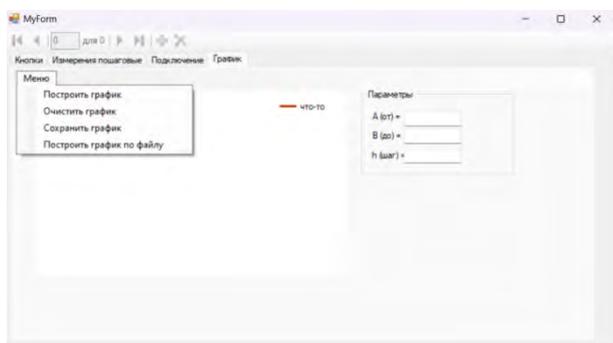


Рис. 4. Окно выбора построения графика

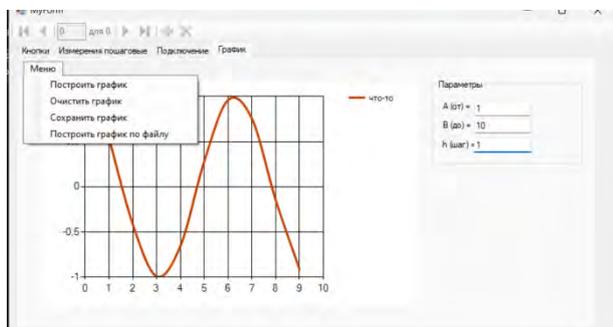


Рис. 5. Пример построения графика

Также график можно сохранить в формате JPG или очистить его.

При построении графика по файлу необходимый файл в формате csv выбирается, как показано на рисунке 6.

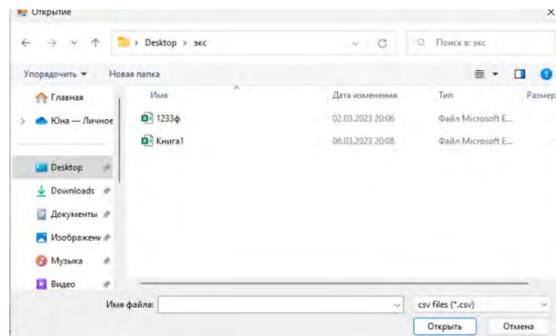


Рис. 6. Пример выбора файла

Заключение

Таким образом, в данной статье представлены результаты разработки программного обеспечения для управления экспериментальным макетом. Программа позволяет осуществлять подключение экспериментального макета и автоматизированное управление им. Разработанное программное обеспечение позволит проводить эксперименты в автоматизированном режиме с последующей разработкой алгоритмов обработки данных.

В дальнейшем планируется подключение к данному комплексу и проведение тестовых экспериментов.

Литература

1. Bressan S., Daverio M., Martinolli F. et al. The use of handheld near-infrared device (Infrascanner) for detecting intracranial hemorrhages in children with minor head injury // *Childs Nerv Syst.* – 2013. – Vol. 30. – P. 477–484.
2. Юрченко Е.А. Устройство автоматизации процесса исследования метода ИК-спектроскопии для диагностики внутричерепных гематом // *Новые информационные технологии в исследовании сложных структур: материалы XIV Междунар. конф.* – Томск, 2022. – С. 34–35.
3. Юрченко Е.А. Разработка экспериментальной установки для исследования ИК метода диагностики гематом мозга // *Инноватика-2022: сб. материалов XVIII Международной школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых*– Томск: STT, 2022. – С. 113–114.

Реализация хеш-функции Тёплица в LabVIEW

Е.А. Калачев

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук Д.Е. Каширский

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск

E-mail: kalachiov.76@outlook.com

Аннотация: В работе рассматривается вопрос вычисления хеш-функции Тёплица в LabVIEW. Реализованы стандартный и оптимизированный по количеству операций алгоритмы умножения бинарной матрицы Тёплица на двоичный вектор для случаев однопоточного и многопоточного вычисления. Проведено сравнение скорости работы рассмотренных алгоритмов.

Ключевые слова: матрица Тёплица, LabVIEW, хеш-функция, алгоритм, многопоточность.

Введение

Хеш-функция Тёплица (ХФТ) относится к универсальным хеш-функциям [1], которая вычисляет хеш-значения посредством матричного умножения входного бинарного вектора на подходящую матрицу Тёплица (МТ). ХФТ может быть применена для решения круга задач. Например, она используется для реализации в сетевых драйверах технологии, называемой масштабированием на стороне приема (RSS) [2], для аутентификации сообщений [3], для постобработки битовых последовательностей, формируемых генераторами случайных чисел [4] и др. Для вычисления ХФТ необходимы значительные ресурсы, что требует построения алгоритмов, позволяющих сократить время ее вычисления.

В данной работе проводится сравнение скорости вычисления ХФТ с помощью стандартного и оптимизированного по количеству операций алгоритмов, реализованных в LabView.

Материалы и методы исследования

ХФТ имеет следующий математический вид

$$\mathbf{k}^* = \mathbf{T} \otimes \mathbf{k} = \begin{bmatrix} t_m & t_{m+1} & \cdots & t_{m+n-1} \\ t_{m-1} & t_m & \cdots & t_{m+n-2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ t_2 & t_3 & \cdots & t_{n+1} \\ t_1 & t_2 & \cdots & t_n \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ \vdots \\ k_{n-1} \\ k_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (t_m \otimes k_1) \oplus (t_{m+1} \otimes k_2) \oplus \dots \oplus (t_{m+n-1} \otimes k_n) \\ (t_{m-1} \otimes k_1) \oplus (t_m \otimes k_2) \oplus \dots \oplus (t_{m+n-2} \otimes k_n) \\ \vdots \\ (t_2 \otimes k_1) \oplus (t_3 \otimes k_2) \oplus \dots \oplus (t_{n+1} \otimes k_n) \\ (t_1 \otimes k_1) \oplus (t_2 \otimes k_2) \oplus \dots \oplus (t_n \otimes k_n) \end{bmatrix}, (1)$$

где \mathbf{k}^* – выходной вектор длиной m , \mathbf{k} – входной вектор длины n , \mathbf{T} – МТ размером $n \times m$, \otimes – логическая операция AND, \oplus – логическая операция XOR. Коэффициент сжатия (КС) вектора \mathbf{k} составляет величину m/n .

МТ имеет особенность – ее элементы, расположенные на одной диагонали, равны. Поэтому для задания МТ достаточно знать элементы, составляющие ее первый столбец и первую строку. Таким образом матрица \mathbf{T} может быть задана в виде вектора, состоящего из $m+n-1$ элементов,

$$\mathbf{t} = [t_1 \ t_2 \ \dots \ t_m \ \dots \ t_{m+n-2} \ t_{m+n-1}], (2)$$

а любой элемент матрицы может быть напрямую определен из этого вектора.

Если производить расчет ХФТ по формуле (1), то необходимо произвести nm операций \otimes и $(n-1)m$ операций \oplus , а общее число необходимых для выполнения операций составляет $(2n-1)m$.

Приведя (1) к виду

$$\mathbf{k}^* = \begin{bmatrix} t_m & t_{m+1} & \cdots & t_{m+n-1} \\ t_{m-1} & t_m & \cdots & t_{m+n-2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ t_2 & t_3 & \cdots & t_{n+1} \\ t_1 & t_2 & \cdots & t_n \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ \vdots \\ k_{n-1} \\ k_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_m \\ t_{m-1} \\ \vdots \\ t_2 \\ t_1 \end{bmatrix} \otimes k_1 \oplus \dots \oplus \begin{bmatrix} t_{m+n-1} \\ t_{m+n-2} \\ \vdots \\ t_{n+1} \\ t_n \end{bmatrix} \otimes k_n, (3)$$

можно ускорить процедуру умножения матрицы на вектор. Если i -й элемент входного вектора $k_i=0$, то выполнение операции \otimes будет давать вектор, элементы которого равны 0. Если i -ый элемент входного вектора $k_i=1$, то выполнение операции \otimes будет давать вектор, элементы которого равны элементам соответствующего i -го столбца матрицы. Тогда используя (2) и (3), можно построить оптимизированный по количеству операций алгоритм вычисления произведения МТ на вектор (рис. 1), в котором требуется выполнение только операции \oplus . Таким образом общее количество операций необходимых для вычисления сокращается приблизительно в два раза с $(2n-1)m$ до $(n-1)m$.

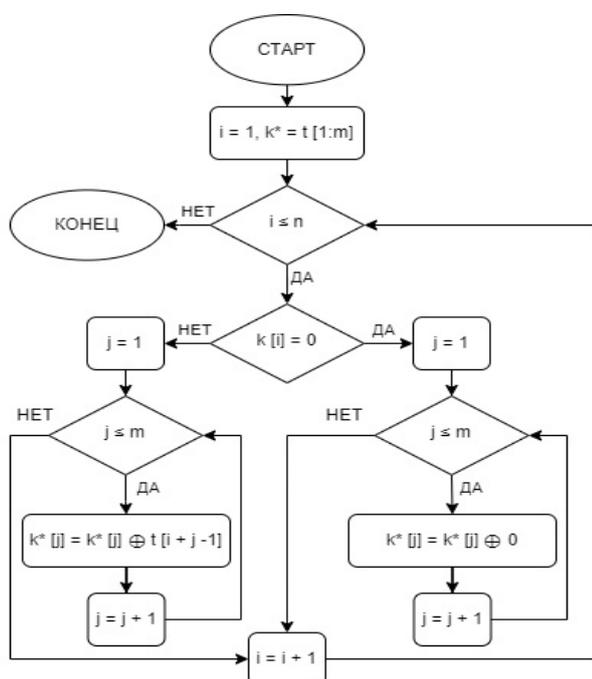


Рис.1. Блок-схема оптимизированного алгоритма вычисления ХФТ

Рассматривались 6 алгоритмов, относящихся к одному из двух типов (стандартный и оптимизированный) и задействующих разное количество потоков для вычисления ХФТ (табл. 1).

Таблица 1. Рассматриваемые алгоритмы

Наименование	Тип алгоритма	Количество потоков, шт.
Алгоритм 1	оптимизированный	1
Алгоритм 2	стандартный	1
Алгоритм 3	оптимизированный	2
Алгоритм 4	стандартный	2
Алгоритм 5	оптимизированный	8
Алгоритм 6	оптимизированный	4

Алгоритмы вычисления ХФТ реализовывались в LabVIEW. Для обеспечения многопоточ-

ности применялся распараллеленный цикл for. Для синхронизации потоков использовалась очередь с порядком доступа FIFO.

Тестирование времени выполнения алгоритмов проводилось на входных векторах длиной от 256 бит до 8192 бит с коэффициентами сжатия от 0,1 до 0,7.

Результаты исследования

На рисунках 2 и 3 приведены зависимости времени вычисления ХФТ от ДВВ при КС 0,1 и 0,7. В случае однопоточной реализации оптимизированный алгоритм 1 в целом работает быстрее, чем стандартный алгоритм 2. Двухпоточные алгоритмы 3 и 4 оказываются медленнее чем алгоритмы 1 и 2 соответственно в случае КС равном 0,1 и поведение меняется на противоположное с ростом КС. При КС равном 0,1 и ДВВ менее 3000 бит самым медленным оказывается алгоритм 3, а с ростом ДВВ он обгоняет по быстрдействию алгоритмы 2 и 4.

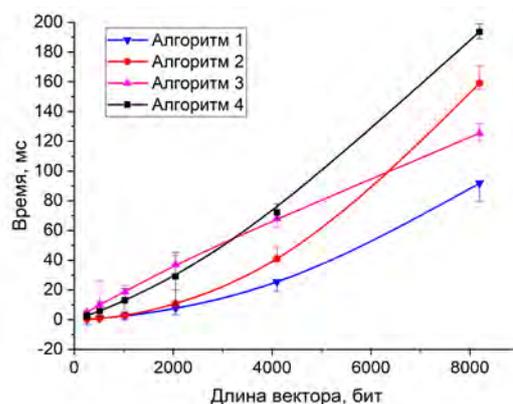


Рис. 2. Зависимость времени вычисления ХФТ от ДВВ при КС 0,1

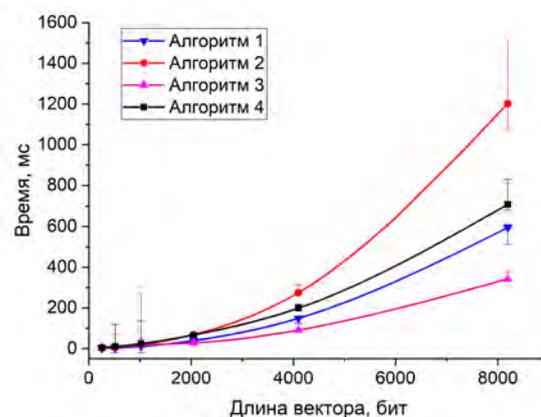


Рис. 3. Зависимость времени вычисления ХФТ от ДВВ при КС 0,7

На рисунках 4 и 5 представлены зависимости времени вычисления ХФТ от КС при ДВВ 1024 бит и 8192 бит.

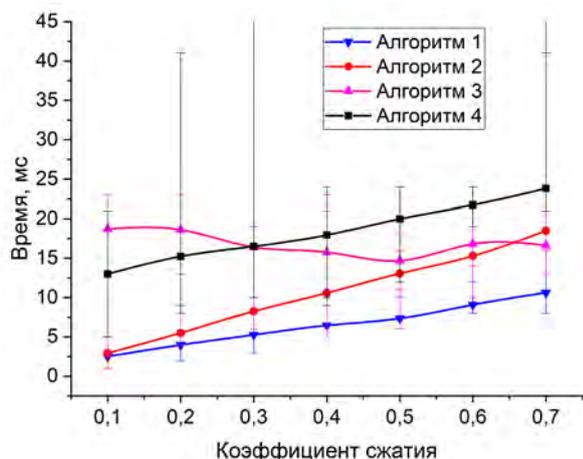


Рис. 4. Зависимость времени вычисления ХФТ от КС при ДВВ 1024 бит

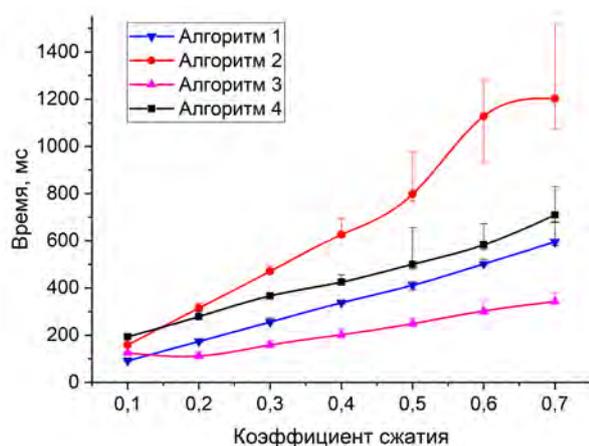


Рис. 5. Зависимость времени вычисления ХФТ от КС при ДВВ 8192 бит

При ДВВ не менее 4096 бит и КС не менее 0,3 наивысшим быстродействием обладает двухпоточный оптимизированный по количеству вычислительных операций алгоритм 3 вычисления ХФТ. Такое поведение обусловлено тем, что на создание потоков затрачивается некоторое время, и чтобы получить выигрыш по быстродействию от многопоточного алгоритма это время должно быть гораздо меньше, чем время, затрачиваемое на вычислительные операции.

Сравнение быстродействия многопоточных оптимизированных по количеству вычислительных операций алгоритмов 3, 5 и 6 показало, что использование более двух потоков не приводит к уменьшению времени вычисления ХФТ (рис. 6). Ограничение быстродействия с увели-

чением количества потоков обусловлено использованием очереди потоков.

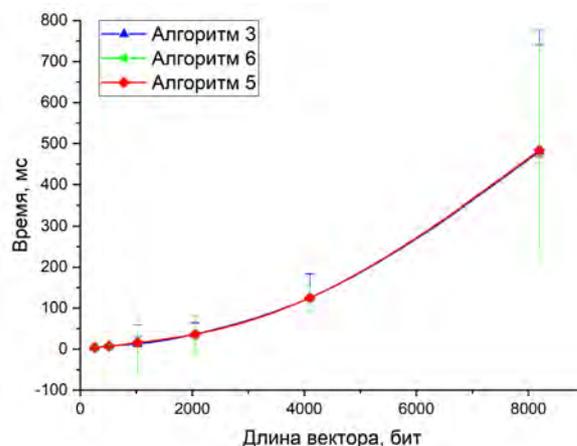


Рис. 6. Время вычисления ХФТ от длины входного вектора при коэффициенте сжатия 0,7 и различном количестве потоков

Заключение

Проведенное исследование показало, что в случае ДВВ до 4096 бит и КС менее 0,3 лучше применять однопоточный оптимизированный по количеству вычислительных операций алгоритм вычисления ХФТ, в других случаях наивысшим быстродействием обладает его двухпоточная версия.

Для дальнейшего повышения быстродействия алгоритма вычисления ХФТ можно применить подход с разбиением МТ на подматрицы, что позволит в полной мере задействовать более двух потоков.

Благодарности

Исследование выполнено при поддержке Программы развития Томского государственного университета (Приоритет-2030), проект № 2.0.6.2022 ЛМУ.

Список литературы

1. Carter L., Wegman M. Universal classes of hash functions // J. Comput. System Sci. – 1979. – Vol. 18, No. 2. – P. 143–154.
2. Introduction to receive side scaling [Electronic resource] // Microsoft Learn. – Microsoft, 2023. – URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/windows-hardware/drivers/network/introduction-to-receive-side-scaling> (access date: 14.04.2023).
3. Krawczyk H. New hash functions for message authentication // Lecture Notes in Computer Science. – Springer, 1995. – Vol. 921: Advances in Cryptology – EUROCRYPT '95 Proceedings. – P. 301–310.
4. Zhang X., Nie Y.-Q., Liang H. et al. FPGA Implementation of Toeplitz hashing extractor for real time

post-processing of raw random numbers // 2016
IEEE-NPSS Real Time Conference (RT). – IEEE,

2016. – P. 1-5. – doi: 10.1109/RTC.2016.7543094.

Разработка программного обеспечения для микроконтроллера для автоматизации средств обеспечения речной навигации

Д.И. Шевалдина

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент А.Г. Лоцилов

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, г. Томск

E-mail: daryashev1@gmail.com

Аннотация: В данной работе представлен обзор решений автоматизации средств навигационного оборудования в области речного судоходства, применяемых в России, а также описано собственное устройство для мониторинга и управления речными навигационными огнями и особенности разработки программного обеспечения для микроконтроллера для автоматизации устройства.

Ключевые слова: средства обеспечения навигации, навигационные буи, автоматизация речной навигации.

Введение

Обеспечение безопасного и устойчивого речного судоходства является одной из важных задач транспортной навигации. Непродолжительная навигация на внутренних водных путях РФ, изменчивость русла и сложные климатические условия в некоторых речных бассейнах требует оперативного сбора первичной навигационной информации в кратчайшие сроки. Для решения данной проблемы применяются различные автоматизированные системы мониторинга элементов транспортного процесса, к таким элементам относятся такие средства навигации, как речное и береговое оборудование (всевозможные маяки, буи и створы), а также общие системы позиционирования.

Автоматизированные средства навигационного оборудования

Классифицировать современные системы мониторинга средств навигационного оборудования (СНО) можно основываясь на применяемой в них технологии связи с удаленным пунктом контроля. Основными из них являются:

- СНО с использованием средств мобильной (сотовой) связи стандарта GSM;
- СНО с использованием технологии Автоматизированной идентификационной системы (АИС), основанной на радиосвязи;
- СНО с использованием средств спутниковой связи;
- мониторинг СНО с использованием беспилотных летательных аппаратов [1, 2].

Зоны территориального покрытия данных систем значительны и достаточны, кроме нали-

чия “мертвых зон” у русел рек у GSM и спутниковой связи, также к их особенностям можно отнести зависимость от фирмы поставщика связи и дополнительные финансовые затраты за трафик данных [1, 3]. При комбинации перечисленных систем можно добиться максимального покрытия, что чаще всего и используется при оснащении СНО соответствующим оборудованием.

Помимо связи основной функционал “умного” средства навигационного обеспечения определяется наличием тех или иных датчиков контроля за состоянием устройства. Так в патентах [4–7] используются датчики измерения сейсмических параметров в широком частотном и динамическом диапазонах, а также блок пространственной ориентации, экологических – содержание нефтепродуктов и прочих соединений, мутности воды и метеорологических параметров, так как скорость ветра, температура, влажность, освещенность.

Также для автономного средства важна его энергоэффективность, поэтому для решения этой проблемы в навигационных буях применяются блоки аккумуляторных батарей, солнечные и волновые энергетические установки, служащие источниками дополнительной электроэнергии. Для обеспечения навигации в ночное время СНО оснащают светооптическими устройствами.

Ведущими российскими производителями средств навигационного оборудования, в основном, навигационно-светотехнических буев, являются ЗАО «Навител», АО «НИИМА «Прогресс», АО «Научно-производственное

предприятие «Радар ммс», ООО «Навигационный дом» [8–11].

Устройство для мониторинга и управления речными навигационными огнями

Разрабатываемое устройство для мониторинга и управления речными навигационными огнями оснащено связью по каналу GSM и по радиоканалу с помощью технологии LoRa, возможностью хранения последних результатов измерений параметров в памяти, датчиками для контроля местоположения, угла наклона и поворота, удара, глубины водоема, имеется возможность подключения внешних датчиков измерения температуры, влажности и затопления и прочих параметров. Работа светосигнального модуля регулируется в зависимости от освещенности, а также имеется ручной режим их переключения. Для обеспечения энергоэффективности предусмотрено питание от аккумуляторов и солнечных батарей, контроль заряда и других энергетических параметров, работа в энергосберегающем режиме, имеется возможность «глубокого сна» устройства.

Материалы и методы исследования

Для реализации устройства для мониторинга и управления речными навигационными огнями был выбран микроконтроллер STM32L152VCTx из соображений энергоэффективности, так как он обладает сверхмалым потреблением и имеет набор различных режимов энергосбережения.

Важным элементом системы является микросхема модуля позиционирования TAU1103, которая поддерживает GPS/QZSS, Galileo и ГЛОНАСС и также имеет низкое энергопотребление и высокую чувствительность.

Измерение угла поворота СНО является очень важным параметром, так как при работе светосигнального модуля необходимо контролировать направление его света для создания безопасных условий плавания судов. Для контроля этого параметра использовалась микросхема магнитометра AK09912, которая предоставляет данные о проекциях напряженности магнитного поля Земли, что в свою очередь позволяет делать вывод о поворотах в азимутальной плоскости.

Результаты разработки

При разработке программного обеспечения был предусмотрен циклический режим работы, при котором осуществляется перевод микросхемы в спящий режим на определенное время,

которое может регулироваться, например, 1 минута, после чего производится измерение и опять выполняется переход в энергосбережение. Для приема и дальнейшей передачи на сервер данных о местоположении и текущем времени был разработан алгоритм расшифровки протокола NMEA, который является одной из самых распространенной формы представления навигационных данных в текстовом формате.

Основной особенностью при разработке алгоритмов работы магнитометра для измерения угла поворота СНО является необходимость калибровки для учета воздействия магнитного наклона и искажений магнитного поля Hard Iron и Soft Iron [12]. Поэтому была внедрена в устройство калибровка, которая производится каждый раз перед началом использования устройства.

Заключение

Проблема обеспечения безопасного и устойчивого речного судоходства является актуальной в России. Оснащение СНО системами мониторинга лежит в зоне ответственности администраций бассейнов внутренних водных путей, поэтому из-за низкого бюджета этих предприятий, выделяемого на инновационную деятельность, большие речные участки остаются без возможности удаленного мониторинга и требуют постоянного бригадного и бригадно-постового организационного обслуживания. Поэтому ведущаяся разработка устройства для мониторинга и управления речными навигационными огнями позволит обеспечить более качественное планирование путевых мероприятий и оперативное реагирование на изменение судоходной обстановки, снижение аварийности и бесперебойности судоходства.

Список литературы

1. Бродский Е.Л., Рудых С.В. Мониторинг средств навигационного оборудования на внутренних водных путях // Речной транспорт (XXI век). 2012. – № 1(55). – 88 с.
2. Беспилотник и водные пути [Электронный ресурс] // ООО «Авиационные роботы» – URL: <https://aviarobots.ru/service/bespilotnik-i-vodnyeputi> (дата обращения: 15.02.2023).
3. Рудых С.В. Системы мониторинга и управления судами технического и вспомогательного флота на внутренних водных путях России: дис. ... докт. техн. наук. – СПб., 2013. – 308 с.
4. Патент N 2672830 Российская Федерация, МПК В63В 22/16 (2006.01) F03В 13/16 (2006.01) F24S 20/00 (2018.01) F21W 111/047 (2006.01). Навига-

- ционный буй с комплексной энергоустановкой: N 2018105250: заявл. 12.02.2018: опубликовано 19.11.2018 / Чернявец В.В.; заявитель Чернявец В.В. – 16 с.
5. Патент N 212158 Российская Федерация, МПК В63В 22/16 (2006.01). Навигационный буй: N 2022113365: заявл. 19.05.2022: опубликовано 08.07.2022 / Ольховик Е.О., Каретников В.В., Буцанец А.А.; заявитель ФГБОУ ВО "Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова". – 5 с..
 6. Патент N 2710831 Российская Федерация, МПК В63G 5/00 (2006.01) В63G 6/00 (2006.01) В63G 9/00 (2006.01). Самоходный гидроакустический буй-маяк и способ навигационного оборудования морского района: N 2018132773: заявл. 13.09.2018: опубликовано 14.01.2020 / Иванов А.В., Новиков А.В.; заявитель ФГУП "Крыловский государственный научный центр". – 11 с.
 7. Патент N 162713 Российская Федерация, МПК В63В 22/16 (2006.01). Навигационное устройство: N 2015121663/11: заявл. 05.06.2015: опубликовано 27.06.2016 / Батура Р.Б.; заявитель ЗАО "НАВИТЕЛ". – 10 с.
 8. Каталог продукции на 2023 год [Электронный ресурс] // «НАВИТЕЛ» – проектирование и производство средств навигационного оборудования. – URL: <https://www.navitel-spb.ru/o-kompanii> (дата обращения: 17.02.2023).
 9. Блок навигационный. Каталог продукции [Электронный ресурс] // АО «НИИМА «Прогресс». – URL: <https://i-progress.tech/products/catalog/#page/87> (дата обращения: 17.02.2023).
 10. Системы гидрометеобеспечения [Электронный ресурс] // АО "НПП "Радар ммс". – URL: <https://radar-mms.com/product/sistemy-meteobespecheniya/> (дата обращения: 17.02.2023).
 11. Светотехническое устройство ТП-СУПР-М [Электронный ресурс] // "ООО Навигационный дом". – URL: <http://navigationhouse.ru/> (дата обращения: 17.02.2023).
 12. Tawil Y. Magnetometer Soft Iron and Hard Iron Calibration: Why and How [Electronic resource] // Atadiat. – URL: <https://aviarobots.ru/service/bespilotnik-i-vodnyeputi> (access date: 17.02.2023).

Телемедицина и информационные технологии: новые возможности для улучшения доступности и качества медицинской помощи

Г.С. Бардецкий, В.И. Алишаускайте

Научный руководитель: Е.А. Елсукова

Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток

E-mail: bardetckii.gs@students.dvfu.ru

Аннотация: На основе анализа научных статей и книг, рассматриваются такие темы, как использование телемедицины для улучшения доступности и качества медицинской помощи, а также примеры российских инновационных медицинских информационных технологий. В заключении подчеркнута значимость развития информационных технологий и телемедицины для улучшения качества жизни людей и снижения затрат на медицинскую помощь

Ключевые слова: телемедицина, информационные технологии, искусственный интеллект, удаленный мониторинг пациентов.

Введение

Развитие информационных технологий в медицине началось еще в 1960-х годах, когда были созданы первые базы данных для хранения медицинской информации. В 1970-х годах были разработаны первые компьютерные системы для управления медицинской информацией, которые позволили автоматизировать процессы документооборота и управления медицинскими записями.

В 1980-х годах информационные технологии начали использоваться для улучшения диагностики и лечения пациентов. В частности, были созданы компьютерные программы для анализа медицинских изображений, таких как рентгеновские снимки и магнитно-резонансная томография.

В 1990-х годах развитие интернета и электронной почты позволило медицинским учреждениям обмениваться информацией и консультироваться удаленно. Также в этот период были созданы первые электронные медицинские карты, которые стали заменой бумажным медицинским записям.

В настоящее время существует проблема доступности и качества медицинской помощи для всех слоев населения, особенно для тех, кто живет в удаленных или труднодоступных регионах, а также для тех, кто нуждается в специализированной медицинской помощи.

По данным анализа рынка телемедицины в России, подготовленного BusinesStat в 2022 г., в 2017–2019 гг. объем рынка медицинских теле-

консультаций в стране вырос почти в 6 раз и достиг 1,07 млн приемов [1]. Рынок рос в результате легализации телемедицины и взрывного развития соответствующих сервисов.



Рис 1. Анализ рынка телемедицины в России [1]

Перспектива развития информационных технологий в медицине

Телемедицина и информационные технологии предоставляют новые возможности для улучшения доступности и качества медицинской помощи. Исторически, информационные технологии использовались в медицине для автоматизации бизнес-процессов и управления медицинскими данными. Однако, с развитием технологий, они стали использоваться для предоставления медицинской помощи на расстоянии, что привело к появлению телемедицины.

Телемедицина – это использование информационных технологий для предоставления

медицинских услуг на расстоянии. Технология включает в себя использование телефонов, видеоконференций, интернета, приложений мобильных устройств и других средств связи для консультации, диагностики, лечения и наблюдения за пациентами на расстоянии.

Существуют различные виды телемедицинских услуг, такие как телеконсультации, теледиагностика, телемониторинг и телереабилитация. Телемедицина позволяет расширить доступ к медицинской помощи для пациентов, находящихся в отдаленных и труднодоступных регионах, а также для людей с ограниченными возможностями.

В качестве примера технологий, применяемых в телемедицине, можно назвать систему удаленного мониторинга пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями, разработанную компанией Philips. Данная система позволяет пациентам контролировать свое состояние и передавать данные врачам на расстоянии, что позволяет выявлять проблемы в ранней стадии и предоставлять своевременную помощь.

Использование системы телемедицины Philips Care Orchestrator, в которой был интегрирован дешевый кислородный монитор Philips Nonin SpO2, значительно улучшает качество жизни пациентов с хронической обструктивной болезнью легких (ХОБЛ) [2]. Система телемедицины Philips позволила быстро обнаруживать ухудшение состояния пациентов и своевременно корректировать терапию.

В [3] рассматривается использование платформы Philips eCareCompanion для улучшения организации медицинского обслуживания на дому. В исследовании было показано, что использование этой платформы значительно упрощает взаимодействие между пациентами и медицинскими работниками, сокращает время на обработку данных и уменьшает количество ошибок.

IBM Watson — это платформа искусственного интеллекта, которая позволяет анализировать и обрабатывать большие объемы данных, включая медицинские данные. Применение IBM Watson в медицине существенно улучшает эффективность и точность диагностики, лечения и предотвращения заболеваний.

Интерфейс IBM Watson представлен на рисунке 2.

В книге "Artificial Intelligence in Healthcare" (авторы: А. Bohr, М. Holmstrom, N. Helder, и др.), приводятся примеры использования IBM Watson в медицине для диагностики заболеваний, выбора наиболее эффективного лечения, и

анализа медицинских данных. Также описывается использование IBM Watson в программе "MD Anderson Moon Shots", где платформа помогает в борьбе с раком.

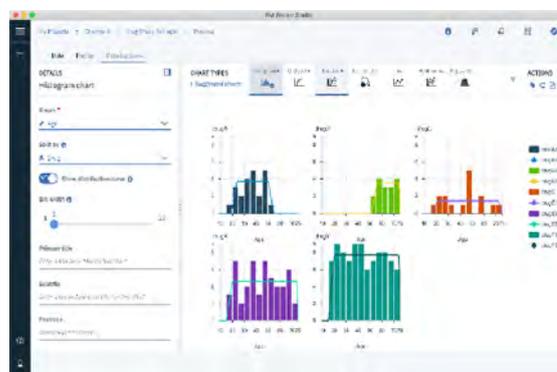


Рис 2. Интерфейс программы IBM Watson

Виртуальные технологии в медицине — это инновационный подход к предоставлению медицинской помощи, который использует различные виртуальные инструменты и приложения. Такие технологии помогают улучшить доступность и эффективность медицинской помощи, а также облегчить жизнь пациентов, которым трудно получить квалифицированную медицинскую помощь из-за удаленности или недостаточной медицинской инфраструктуры в их регионе.

Одним из примеров виртуальных технологий в медицине является использование виртуальной реальности (VR) для лечения фобий, тревожных расстройств и болезней, связанных с болевыми ощущениями. Исследования показали, что использование VR-терапии может существенно уменьшить симптомы тревожности и депрессии у пациентов, страдающих различными психическими расстройствами.

Вклад искусственного интеллекта в медицину становится все более значимым и обширным. Множество инновационных технологий, основанных на машинном обучении и анализе данных, уже сейчас помогают улучшать процессы диагностики, лечения и мониторинга пациентов.

В России также существует множество инновационных медицинских информационных технологий, которые улучшают доступность и качество медицинской помощи. Например, одной из таких технологий является "Доктор на работе", платформа для онлайн-консультаций с врачами различных специальностей. Эта платформа позволяет пациентам получать медицинские консультации удаленно, не выходя из дома,

а также записываться на прием к врачам в клиниках-партнерах. Также платформа включает функции мониторинга состояния здоровья и личных рекомендаций от врачей.

Еще одним примером является проект "Медитека", который представляет собой онлайн-сервис для обмена медицинскими данными между врачами различных учреждений здравоохранения. Благодаря этому проекту врачи могут быстрее получать доступ к необходимой информации и принимать более обоснованные решения.

Также в России существует множество других инновационных проектов в сфере медицинских информационных технологий, таких как "Мобильный ЭКГ", "Медиа-Сервис" и многие другие.

Заключение

В настоящее время, информационные технологии и телемедицина значительно расширяют возможности современной медицины. Множество новых разработок и инноваций, которые позволяют улучшить доступность и качество медицинской помощи, были реализованы за последние годы. Рассмотрены примеры использования искусственного интеллекта в медицине, такие как IBM Watson, и его возможности в диагностике и лечении пациентов. Также изучено использование телемедицины, которая позволяет проводить консультации и обследования удаленно, что значительно повышает доступность медицинской помощи для тех, кто не может обратиться к врачу лично. Материалы, которые были рассмотрены, подтверждают, что информационные технологии и телемедицина имеют

огромный потенциал для улучшения качества жизни людей и снижения затрат на медицинскую помощь.

Список литературы

1. В 2021 г. объем рынка телемедицины в России вырос на 9,7% до 4,95 млн телеконсультаций // *Магазин исследований [Электронный ресурс]*. – 2022. – URL: <https://marketing.rbc.ru/articles/13373>.
2. Soriano J.B., García-Río F., Vázquez-Espinosa E. et al. A multicentre, randomized controlled trial of telehealth for the management of COPD // *Respiratory Medicine*. – 2018. – Vol. 144. – P. 74–81.
3. Korot E., Pontikos N., Drawnel F.M. et al. Enablers and barriers to deployment of smartphone-based home vision monitoring in clinical practice settings // *JAMA Ophthalmol*. – 2022. – Vol. 140, Is. 2. P. 153–160.
4. Remote telemonitoring in COPD patients using home-based spirometry: A three-year trial [Electronic resource]. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0954611109001000>.
5. Steventon A., Bardsley M., Billings J. et al. Effect of telehealth on use of secondary care and mortality: findings from the Whole System Demonstrator cluster randomised trial // *BMJ*. – 2012. – Vol. 344. – P. e3874.
6. Topol E.J. High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence // *Nat. Med.* – 2019. – Vol. 25(1). – P. 44–56.
7. Liyanage H., Liaw S.T., Jonnagaddala J. The use of IBM Watson analytics in healthcare: A scoping review of the literature [Electronic resource]. // *Journal of Innovation in Health Informatics*. – 2019. – Vol. 26(3). – P. 1-10. – URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6630998>.

Секция 4

**ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ И ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В ПОДГОТОВКЕ ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ
СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИМ
И ИТ НАПРАВЛЕНИЯМ**

Разработка лабораторной работы «Источники тока и напряжения на интегральной микросхеме LM317»

А.С. Духанов

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук, доцент А.А. Жуков

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск

E-mail: sanya.dukhanov@mail.ru

Аннотация: В системе дистанционного обучения Moodle разработаны и размещены методические и контрольные материалы по лабораторной работе «Источники тока и напряжения на интегральной микросхеме LM317». В качестве измерительного оборудования использован комплект приборов NI ELVIS II+.

Ключевые слова: Источник тока, источник напряжения, LM317, NI ELVIS II+, лабораторная работа, Multisim, Moodle.

Введение

Интегральная микросхема (ИС) LM317 представляет собой регулируемый линейный стабилизатор напряжения и тока, который может устанавливать выходное напряжение в пределах от 1,2 до 37 В и ток до 1,5 А [1]. Микросхема обеспечивает стабильность выходного напряжения при изменении входного напряжения и тока нагрузки, имеет встроенную защиту от перегрузки и тепловой защиты и широко используется в электронных устройствах, таких как блоки питания и зарядные устройства [2–5].

Была поставлена задача: разработать лабораторную работу по расчету, моделированию и экспериментальному исследованию источников напряжения и тока, реализованных на этой ИС.

Материалы и методы исследования

Для проведения модельных экспериментов с ИС LM317 использовалась программа схемотехнического моделирования Multisim. Натурные эксперименты по исследованию свойств источников напряжения и тока, реализованных на LM317, проводились с использованием цифрового мультиметра DMM и регулируемого источника напряжения VPS из комплекта приборов NI ELVIS II+.

Комплект приборов NI ELVIS II+ [6] широко используется в учебном процессе. Программное обеспечение NI ELVIS II+ включает в себя инструменты для создания и отладки электронных схем, а также для анализа и обработки данных. Комплект содержит встроенные модули для измерения и генерации сигналов, включая осциллограф, функциональный генератор, мультиметр и другие. NI ELVIS II+ широко

применяется и в лабораторных практикумах для студентов радиофизического факультета ТГУ [7–9].

Результаты

Автором разработана лабораторная работа «Источники тока и напряжения на интегральной микросхеме LM317» в системе дистанционного обучения Moodle для курса «Схемотехника аналоговых электронных устройств».

Лабораторная работа содержит контрольные и информационные материалы по работе с источниками напряжения и тока.

В методических указаниях к лабораторной работе поэтапно описывается моделирование источника тока и напряжения в программе схемотехнического моделирования Multisim.

На рисунке 1а приведен пример моделирования работы стабилизатора напряжения на LM317, который поддерживает фиксированное значение выходного напряжения при изменении входного напряжения в широких пределах. На рисунке 1б представлен источник тока, который обеспечивает протекание тока заданной величины при различных сопротивлениях нагрузки. Расчет сопротивлений резисторов для источников напряжения и тока может быть выполнен по известным формулам [1] или с помощью онлайн калькулятора [10].

В силу своих технических ограничений интегральная микросхема LM317 не может обеспечить ток на выходе больше 1,5 А. Для увеличения этого параметра можно использовать несколько интегральных микросхем, соединенных параллельно. В программе Multisim было проведено моделирование источника тока с парал-

тельным соединением двух микросхем LM317. В этом случае ток на выходе увеличился в два раза по сравнению с источником тока, приведенном на рисунке 1б.

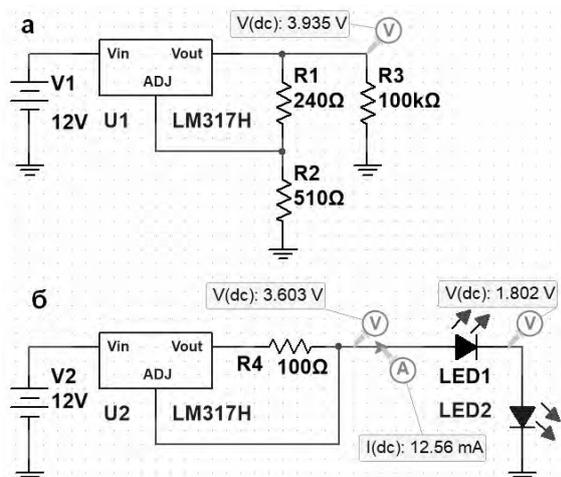


Рис. 1. Моделирование в программе Multisim стабилизатора напряжения (а) и источника тока (б) на LM317

Также методических указаниях к лабораторной работе подробно описан натурный эксперимент, выполняемый с использованием комплекта приборов NI ELVIS II+. Схемы, представленные на рисунке 1, были реализованы на макетной плате этого комплекта.

На рисунке 2 представлены показания цифрового мультиметра и источника регулируемого напряжения из комплекта приборов NI ELVIS II+ при макетировании источника тока с токозадающим резистором сопротивлением 6,2 Ом.



Рис. 2. Приборы программно-аппаратной платформы NI ELVIS II+

Плюсом данного источника тока является малая величина пульсаций, а минусом низкий коэффициент полезного действия, поэтому происходит значительный нагрев микросхемы и токозадающего резистора. Во избежание выхода из строя микросхемы, ее нужно обеспечить радиатором, а также использовать резисторы большой мощности.

Заключение

Автором разработана лабораторная работа «Источники тока и напряжения на интегральной микросхеме LM317» для лабораторного практикума по курсу «Схемотехника аналоговых электронных устройств». В системе дистанционного обучения Moodle размещены методические указания по выполнению лабораторной работы, варианты заданий для студентов и контрольные и информационные материалы.

Для контроля усвоения студентами изучаемого материала разработаны тестовые вопросы различного вида.

Список литературы

1. LM317, NCV317 [Электронный ресурс]. – URL: <https://static.chipdip.ru/lib/159/DOC000159839.pdf> (дата обращения 03.04.2023).
2. Павловская В.А. Линейные стабилизаторы напряжения на микросхемах LMXXX // Информационные технологии, энергетика и экономика. XVIII : международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов. – Смоленск, 2021. – Т. 2. – С. 197-202.
3. Балко В.С. Лабораторный биполярный блок питания // Вестник студенческого научного общества ГОУ ВПО "Донецкий национальный университет". – 2019. – Т. 1, № 11. – С. 54-57.
4. Раджабалиев Г.П., Нурмагомедова Н.Х., Абдуллаев А.Б. и др. Источник питания с регулируемыми U и I // Профессионально-педагогическое образование: состояние и перспективы : материалы межвузовской студенческой и международной научно-практических конференций. – М.: Директ-Media, 2018. – С. 282-286.
5. Башинов Е.В., Сухарев А.А. Лабораторный регулируемый источник напряжения постоянного тока // XXII Туполевские чтения : международная молодежная научная конференция. – 2015. – С. 507-509.
6. NI ELVIS II : руководство пользователя [Электронный ресурс]. – URL: <https://nitech.nstu.ru/upload/lib/NI%20ELVIS%20User%20Manual.pdf> (дата обращения 03.04.2023).
7. Жуков А.А. Информационное и техническое обеспечение практикума по основам теории сигналов и цепей // Современное образование: содержание, технологии, качество. – 2017. – Т. 1. – С. 224-226.
8. Доценко О.А., Жуков А.А. Опыт использования электронного курса "Основы работы с приборами комплекта NI ELVIS II+" для организации самостоятельной работы студентов // Методические, технологические и организационные аспекты электронного обучения : сборник статей по

результатам научно-методической конференции.
– Томск: Национальный исследовательский Томский государственный университет, 2022. – С. 8–13.

9. Жуков А.А. Информационное и техническое обеспечение практикума по радиоэлектронике //

Компьютерные измерительные технологии: Материалы I Международного симпозиума. – М.: ДМК Пресс, 2015. – С. 179–182.

10. LM317 калькулятор [Электронный ресурс]. – URL: https://schem.net/calc/lm317_calc.php (дата обращения: 03.04.2023).

Программно-аппаратный комплекс LabVIEW-NI ELVIS II+ для измерения вольтамперных характеристик МОП-транзисторов

Н.С. Седов

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук, доцент А.А. Жуков

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск

E-mail: nikita.sedov2016@gmail.com

Аннотация: Представлено описание программно-аппаратного комплекса LabVIEW-NI ELVIS II+ для измерения передаточных и выходных вольтамперных характеристик МОП-транзисторов. Разработанный комплекс предназначен для использования в лабораторном практикуме по курсу "Схемотехника аналоговых электронных устройств".

Ключевые слова: NI ELVIS II+, LabVIEW, вольт-амперная характеристика, полевой транзистор, Moodle.

Введение

Полевые МОП-транзисторы в современном мире приобретают всё большую популярность. Их отличительные особенности позволяют получить наилучшие показатели по скорости работы и энергопотреблению во многих электрических схемах. Соответственно растёт потребность в измерении характеристик таких транзисторов [1, 2].

На лабораторно-технической платформе (станции) NI ELVIS II+ [3] реализован виртуальный прибор (ВП) для измерения выходных вольтамперных характеристик (ВАХ) биполярных транзисторов, но нет соответствующего прибора для полевых транзисторов.

Была поставлена задача: разработать способ получения передаточных и выходных вольтамперных характеристик МОП-транзисторов, с помощью станции NI ELVIS II+.

В данной статье приведены результаты измерения передаточных и выходных вольтамперных характеристик n-канального МОП транзистора IRF540N.

Результаты

В ходе работы на базе лабораторно-технической платформы NI ELVIS II+ и среды программирования LabVIEW [4, 5] автором был разработан программно-аппаратный комплекс, предназначенный для измерения вольтамперных характеристик n-канальных МОП транзисторов.

Лабораторно-техническая платформа NI ELVIS II+ объединяет технические средства,

которые в совокупности со средой разработки прикладных программ LabVIEW позволяют студентам, не обладающим знаниями в области текстовых языков программирования, освоить разработку программ для сбора и обработки данных.

Автором в системе LabVIEW были разработаны ВП для получения передаточных и выходных ВАХ n-канальных МОП-транзисторов и вывода их на экран компьютера.

Блок-диаграммы полученных приборов содержат в себе циклы, экспресс-приборы для ввода и вывода аналоговых сигналов и математические функции для обработки сигналов.

Каждая лицевая панель прибора содержит панель управления для задания параметров измеряемых ВАХ и графическое представление ВАХ полевого транзистора (рис. 1, 2).

Схема подключения транзистора к аналоговым выводам станции NI ELVIS II+ приведена на рисунке 3.

Ограничения по току и напряжению используемых выводов платформы NI ELVIS II+:

- SUPPLY+: не более 12 В, 500 мА;
- AO 0: не более 10 В, 25 мА;
- AI 0,1,2: не более 10 В.

Данные ограничения были заложены в разработанное программное решение и в способ подключения транзистора в целях недопущения работы платформы NI ELVIS II+ в области предельных напряжений и токов. А именно, в условия завершения работы циклов блок-диаграмм включена проверка условия достижения предельных значений величин токов и на-

пряжений. Также последовательно транзистору подключен токоограничивающий резистор, который не только определяет максимально достижимое значение тока, но и обеспечивает стабильность величины потенциала на стоке транзистора.

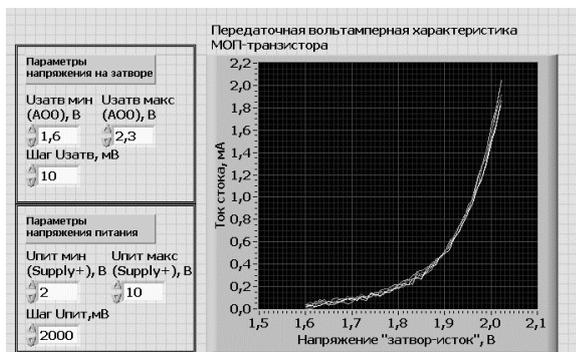


Рис. 1. Лицевая панель виртуального прибора, предназначенного для получения передаточной ВАХ МОП-транзистора

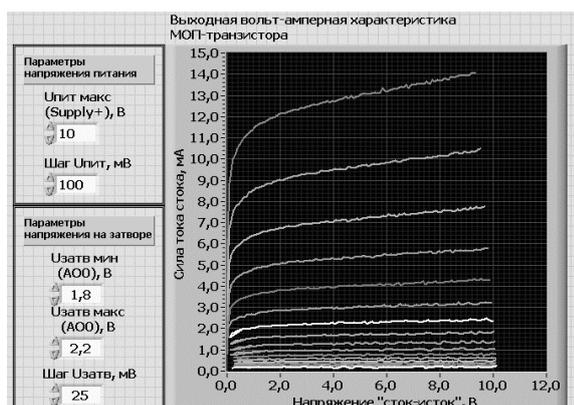


Рис. 2. Лицевая панель виртуального прибора, предназначенного для получения выходной ВАХ МОП-транзистора

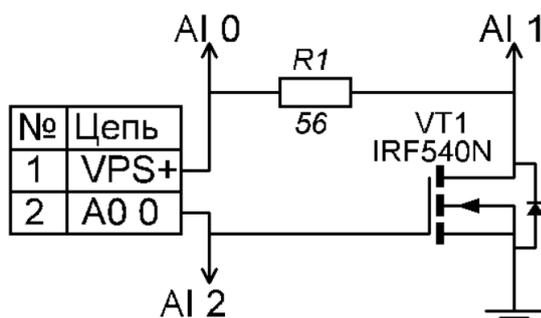


Рис. 3. Схема подключения МОП-транзистора к платформе NI ELVIS II+

Автором создан раздел электронного учебного курса в системе Moodle, в котором подробно изложен разработанный способ получения ВАХ МОП-транзисторов посредством программно-аппаратного комплекса LabVIEW-NI

ELVIS II+ и представлена соответствующая лабораторная работа с методическими указаниями по измерению ВАХ МОП-транзисторов и вариантами заданий для студентов.

В рамках лабораторного практикума по курсу «Схемотехника аналоговых электронных устройств» рассмотренный программно-аппаратный комплекс использовался студентами радиофизического факультета Томского государственного университета для измерения выходных и передаточных характеристик n-канальных МОП-транзисторов с изолированным затвором.

Студенты проводили моделирование ВАХ транзисторов в пакете схемотехнического моделирования Micro-Cap [6]. Затем измеряли их и проводили сравнение результатов, полученных в модельном и натурном экспериментах.

Заключение

Автором разработан программно-аппаратный комплекс, предназначенный для измерения передаточных и выходных ВАХ МОП-транзисторов и соответствующий электронный учебный ресурс, объединяющий в себе подробное описание данного комплекса, методические указания по его использованию и варианты заданий для студентов. Разработанный программно-аппаратный комплекс и электронный ресурс были внедрены в учебный процесс в рамках лабораторного практикума по дисциплине «Схемотехника аналоговых электронных устройств» на радиофизическом факультете Томского государственного университета.

Список литературы

- Новикова М.С. Разработка функциональной схемы устройства для измерения основных параметров полевых транзисторов // Информационные технологии, энергетика и экономика : сб. тр. XVIII Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов : в 3 томах. – Смоленск, 2021. – Т. 2. – С. 179–182.
- Патент на полезную модель № 196597 U1 Российская Федерация, МПК G01R 31/26. Лабораторная установка для динамического измерения входных и выходных характеристик полупроводникового транзистора / Д.Ч. Ким, А.С. Семенов, П.С. Татаринов; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова". – № 2019141328; заявл. 13.12.2019, опубл. 06.03.2020.

3. NI ELVIS II : руководство пользователя [Электронный ресурс]. – URL: <https://nitech.nstu.ru/upload/lib/NI%20ELVIS%20II%20User%20Manual.pdf> (дата обращения 04.04.2023).
4. Трэвис Д., Кринг Д. LabVIEW для всех : 4-е изд., перераб. и доп. – М.: ДМК Пресс, 2015. – 904 с.
5. Жуков А.А. Система программирования LabVIEW. Основы работы : учебно-методич. пособие. – Томск: STT, 2020. – 150 с.
6. Шошин Е.Л. Электроника. Полупроводниковые приборы : учебное пособие. – М. : Ай Пи Ар Медиа, 2021. – 238 с.

Программно-аппаратный комплекс LabVIEW-NI ELVIS III для сбора данных и управления внешними устройствами

А.А. Фоминых

Научный руководитель: доцент, канд. физ.- мат. наук А.А. Жуков

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск

E-mail: sanches0ivanov@yandex.ru

Аннотация: Представлено описание программно-аппаратного комплекса LabVIEW-NI ELVIS III для сбора данных и управления внешними устройствами. Разработан электронный курс в системе Moodle по программированию аппаратуры NI ELVIS III в LabVIEW. В курсе размещены методические и контрольные материалы по рассматриваемой теме и приведены примеры программ.

Ключевые слова: NI ELVIS III, Labview, Moodle, ввод-вывод аналоговых и цифровых данных.

Введение

В настоящее время традиционный лабораторный практикум можно перевести в виртуальную лабораторию, используя такие программы как LabVIEW, которые позволяют применять технологию математического моделирования физического эксперимента с привлечением аппаратно-программных средств, компьютерной графики и анимации для достижения эффективного взаимодействия обучаемого с измерительным оборудованием [1]. При таком подходе к обучению имеется возможность выполнять лабораторные работы в удобное для обучаемого время. С помощью LabVIEW и NI ELVIS III [2] можно реализовывать виртуальные приборы для работы с измерительным оборудованием с возможностью удаленного доступа.

Материалы и методы исследования

В рассматриваемом программно-аппаратном комплексе в качестве среды программирования использована система LabVIEW, являющейся средой разработки и платформой для выполнения программ, созданных на графическом языке программирования «G».

NI ELVIS III представляет собой комплект виртуальных измерительных приборов для учебной лаборатории. Он включает типовые измерительные приборы, реализует гибкий аналоговый и цифровой ввод и вывод и содержит высокопроизводительный встраиваемый контроллер. Этот комплект широко используется для проведения измерений [3, 4] и в учебном процессе [5–7].

Для того чтобы иметь возможность работы с NI ELVIS III в системе LabVIEW необходимо установить соответствующее программное обеспечение, которое можно свободно загрузить с официального сайта производителя (<https://www.ni.com>). В этом случае появляется возможность доступа к примерам программ (виртуальным приборам), работающими с цифровыми и аналоговыми линиями ввода-вывода комплекта приборов NI ELVIS III.

Результаты работы

На основе примеров программ, работающих с цифровыми и аналоговыми линиями ввода-вывода, авторам создан набор виртуальных приборов для работы с различными датчиками.

В системе Moodle в рамках курса «Удаленный доступ к измерительному оборудованию комплекта NI ELVIS III» [8] автором разработаны разделы по программированию аппаратуры NI ELVIS III в LabVIEW:

- Установка LabVIEW NI ELVIS III Toolkit.
- Создание проекта LabVIEW для работы с NI ELVIS III.
- Программирование NI ELVIS III в LabVIEW. Цифровой ввод-вывод.
- Программирование NI ELVIS III в LabVIEW. Аналоговый ввод-вывод.

В каждом из этих разделов размещены методические и контрольные материалы по рассматриваемым темам, приведены задания и примеры программ для работы с различными датчиками.

В качестве примера рассмотрим работу с устройствами аналогового ввода-вывода NI ELVIS III в LabVIEW.

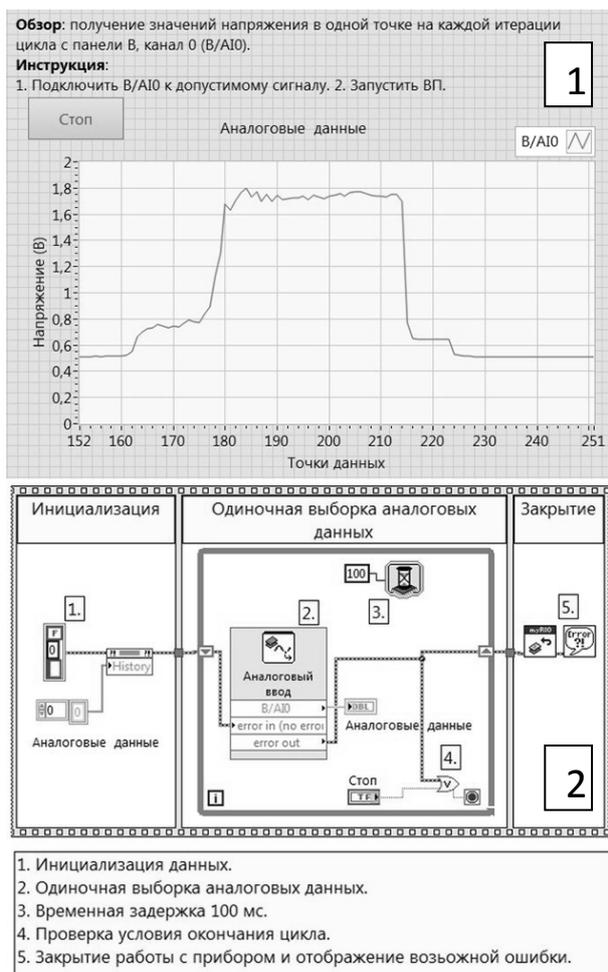


Рис. 1. Передняя панель (1) и блок-диаграмма (2) ВП для ввода данных

На рисунке 1 приведены лицевая панель (1) и блок-диаграмма (2) виртуального прибора (ВП) для ввода аналоговых данных. На передней панели размещена инструкция по работе с ВП, кнопка «стоп» и график для отображения зависимости измеренного напряжения от номера измерения (времени). Блок-диаграмма включает структуру «Flat Sequence» для последовательного выполнения программы по кадрам слева на право. В первом кадре выполняется инициализация массива данных, во втором кадре выполняется цикл «while». В цикле выполняется обращение к экспресс-прибору для ввода аналоговых данных. В качестве источника аналогового сигнала использован модуль КУ-018 для работы с фоторезистором [9]. Считанные данные выводятся на график. В последнем кадре происходит закрытие работы прибора и вывод сообщения об ошибке, если таковая имеется. Модуль КУ-018 размещен на макетной плате NI ELVIS III, сигнальный вывод модуля

подключен к аналоговому вводу «А10». Как видно из графика, приведенного на рисунке 1, при изменении освещенности фоторезистора изменяется его сопротивление и, как следствие, изменяется величина измеряемого напряжения.

Кроме рассмотренного ВП автором разработаны программы для работы с устройствами вывода аналоговых данных и ввода-вывода цифровых данных.

Заключение

В результате работы создан набор ВП для работы с устройствами ввода-вывода аналоговых и цифровых данных. Разработаны разделы электронного курса Moodle по программированию аппаратуры NI ELVIS III в LabVIEW. Этот курс планируется использовать в лабораторном практикуме по курсу «Технологии организации приборных интерфейсов».

Список литературы

1. Жуков А.А. Система программирования LabVIEW. Основы работы: Учебно-методическое пособие. – Томск: STT, 2020. – 150 с.
2. NI ELVIS III. Hardware Specifications. <https://www.ni.com/documentation/en/ni-elvis-iii/1.0/appendix/specs/> (дата обращения 26.03.2023).
3. Dayana F.V., Ernesto V.C. Analysis of BPSK Modulation Using the NI ELVIS III Communications Module. Lecture Notes in Networks and Systems. – 2022. – Vol. 511. – P. 33–49.
4. Phanindra B., Srinivas P., Lakshmi K.V. Quanser QUBE twinning. lecture notes in mechanical engineering. – Singapore : Springer, 2022. – P. 369–378.
5. Mayzel A., Medvedev A., Temkina V. et al. On the experience of using NI ELVIS III in remote laboratory practice during pandemic lockdown // International Youth Conference on Electronics, Telecommunications and Information Technologies. Springer Proceedings in Physics. – 2022. – Vol. 268. – P. 77–83.
6. Парфенова Е.С., Новиков Ю.Н., Устинов А.Б. О внедрении в лабораторный практикум онлайн-исследований средствами DAQ-платформы NI ELVIS III // Неделя науки ИФНИТ : сб. материалов всерос. конф. – СПб., 2020. – С. 68–71.
7. Жуков А.А., Булахов Н.Г. Опыт проведения лабораторных практикумов по радиотехническим дисциплинам в дистанционном формате // Методические, технологические и организационные аспекты электронного обучения : сб. статей по результатам научно-методической конференции. – Томск, 2021. – С. 31–36.
8. Туктаров А.М., Гергет К.А. Информационное и методическое обеспечение курса "Удаленный

доступ к измерительному оборудованию комплекта NI ELVIS III" // Восемнадцатая всероссийская конференция студенческих научно-исследовательских инкубаторов. – Томск : STI, 2021. – С. 256–260.

9. KY-018 PHOTORESISTOR. [Электронный ресурс]. – URL: <https://sensorkit.joy-it.net/en/sensors/ky-018> (дата обращения 26.03.2023).

Разработка лабораторной работы "Источники тока на биполярных транзисторах"

М.А. Черкашин

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук, доцент А.А. Жуков

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск

E-mail: cherkashin.tolya.85.sos@gmail.com

Аннотация: В системе дистанционного обучения Moodle разработаны и размещены методические и контрольные материалы по лабораторной работе «Источники тока на биполярных транзисторах». В качестве измерительного оборудования использован комплект приборов NI ELVIS II+.

Ключевые слова: Источник тока, составной транзистор, ULN2003, BD681, лабораторная работа, Multisim, Moodle, NI ELVIS II+.

Введение

Биполярные транзисторы часто используются для создания источников напряжения и тока [1]. В качестве источника тока на биполярном транзисторе (БТ) выгодно использовать составные транзисторы по схеме Дарлингтона или Шиклаи, так как основным достоинством составного транзистора является большой коэффициент усиления по току.

Была поставлена задача: разработать лабораторную работу по расчету, моделированию и экспериментальному исследованию источников тока, реализованных на биполярных транзисторах.

Материалы и методы исследования

Для моделирования источников тока на биполярных транзисторах использовалась программа Multisim. Натурные эксперименты по исследованию свойств источников тока на БТ, проводились с использованием цифрового мультиметра DMM и регулируемого источника напряжения VPS из комплекта приборов NI ELVIS II+[2]. Этот комплект широко используется в учебном процессе. Он является универсальным решением для разработки и создания лабораторных практикумов и учебных лабораторий в ВУЗах и средних учебных заведениях.

NI ELVIS II+ представляет собой настольную лабораторную станцию для подключения к персональному компьютеру и содержит 12 измерительных приборов.

На радиофизическом факультете НИ ТГУ этот комплекс широко используется в лабораторных практикумах по дисциплинам «Радио-

электроника» и «Схемотехника аналоговых электронных устройств» [3-6].

Результаты

Автором разработана лабораторная работа «Источник тока на биполярных транзисторах» в системе дистанционного обучения Moodle для курса «Схемотехника аналоговых электронных устройств».

Источники тока реализованы на составных транзисторах BD679, BD680, BD681, BD682, KT829, которые пользуются популярностью и широко используются во всем мире [7].

Также для создания источников тока используется микросхема ULN2003. Данная микросхема выполнена в 16-выводном корпусе, в котором размещены 7 транзисторов Дарлингтона. Каждая пара транзисторов способна управлять нагрузками с током до 500 мА и напряжением до 50 В на канал, причем есть возможность соединить выходы микросхемы для увеличения тока [8].

В методических указаниях к лабораторной работе описывается моделирование источника тока в программе схемотехнического моделирования Multisim.

На рисунке 1 приведен пример моделирования работы источника тока на составном транзисторе BD681. Из рисунка видно, что при различных значениях сопротивления нагрузки R2 10 Ом (А) и 150 Ом (Б) сила тока остается практически постоянной, что соответствует определению источника тока [9].

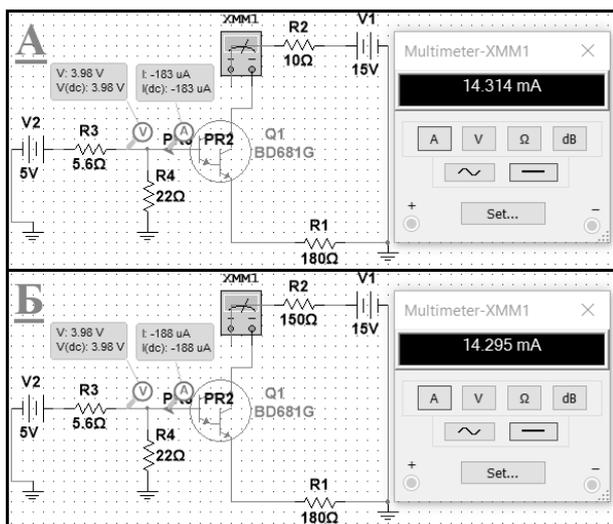


Рис. 1. Моделирование в программе Multisim источника тока на составном транзисторе BD681G при $R_2 = 10 \text{ Ом}$ (А) и $R_2 = 150 \text{ Ом}$ (Б)

Далее студентам необходимо провести натуральный эксперимент с использованием комплекта приборов NI ELVIS II+. Схемы, представленные на рисунке 1, были реализованы на макетной плате этого комплекта.

На рисунке 2 представлены показания источника регулируемого напряжения и цифрового мультиметра из комплекта приборов NI ELVIS II+ при макетировании источника тока на составном транзисторе BD681 при сопротивлении нагрузки $R_2=150 \text{ Ом}$. Как видно из рисунка, показания амперметра практически совпадают с результатами моделирования и при изменении величины сопротивления R_2 – сила тока оставалась постоянной.

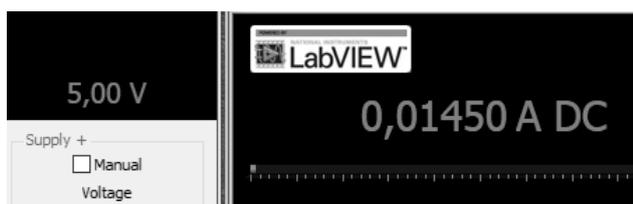


Рис. 2. Показание приборов комплекта NI ELVIS II+

Также разработаны методические указания для проведения натуральных экспериментов с микросхемой ULN2003. Студентам необходимо отладить источник тока на одном канале, а далее попробовать реализовать работу нескольких каналов на одну нагрузку.

Заключение

Автором разработана лабораторная работа лабораторная работа «Источники тока на бипо-

лярных транзисторах» для курса «Схемотехника аналоговых электронных устройств».

В системе дистанционного обучения Moodle размещены методические указания по выполнению лабораторной работы «Источники тока на биполярных транзисторах», варианты заданий по работе и различные контрольные и информационные материалы.

Для контроля усвоения студентами изучаемого материала разработаны тестовые вопросы различного вида.

Список литературы

1. Линден Т.Х. Источники опорного напряжения и тока : руководство. – М. : ДМК Пресс, 2015. – 576 с.
2. Комплект виртуальных измерительных приборов для учебных лабораторий NI ELVIS II+ : руководство пользователя [Электронный ресурс]. – URL: <https://nitech.nstu.ru/upload/lib/NI%20ELVIS%20II%20User%20Manual.pdf> (дата обращения: 11.04.2023).
3. Жуков А.А. Информационное и техническое обеспечение практикума по основам теории сигналов и цепей // Современное образование: содержание, технологии, качество. – 2017. – Т. 1. – С. 224–226.
4. Доценко О.А., Жуков А.А. Опыт использования электронного курса "Основы работы с приборами комплекта NI ELVIS II+" для организации самостоятельной работы студентов // Методические, технологические и организационные аспекты электронного обучения : сб. статей по результатам научно-методической конференции. – Томск : ТГУ, 2022. – С. 8-13.
5. Черкашин М.А., Духанов А.С. Электронный учебный курс по основам работы с программно-аппаратной платформой NI ELVIS II+ // Восемнадцатая Всероссийская конференция студенческих научно-исследовательских инкубаторов. – Томск : STT, 2021. – С. 261–265.
6. Дорофеев И.О., Доценко О.А., Кочеткова Т.Д. и др. Опыт организации лабораторных работ по курсу "Основы радиоэлектроники" с использованием системы дистанционного образования MOODLE // Известия вузов. Физика. – 2015. – Т. 58, № 10/3. – С. 183–187.
7. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника : 12-е изд. / пер. с нем. – М. : ДМК Пресс, 2008. – Т. 1. – С. 186–190.
8. Микросхема ULN2003. Описание, схема подключения, datasheet. [Электронный ресурс] – URL: <https://www.joyta.ru/4575-mikrosxema-uln2003-opisanie-i-sxemy-primeneniya/> (дата обращения: 11.04.2023)
9. Водовозов А.М. Основы электроники : учебное пособие. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2016. – С. 60–69.

Разработка образовательной WEB-игры по квантовым технологиям

И.Д. Шульга

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук, доцент С.Н. Торгаев

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск

E-mail: shulga.irina20762@yandex.ru

Аннотация: Данная статья посвящена промежуточным результатам разработки обучающей игры для образовательного портала Центра квантовых технологий НИ ТГУ. Представлены результаты разработки графического интерфейса образовательной игры, а также концепция построения игрового процесса и теоретического материала.

Ключевые слова: квантовые технологии, графический интерфейс, браузерная игра, образовательная игра, WEB-игра.

Введение

Квантовые технологии – активно развивающаяся перспективная отрасль науки и техники, испытывающая нехватку высококвалифицированных кадров. Возникает необходимость построения системы подготовки высококвалифицированных кадров в данной области, в том числе, в части повышения интереса у школьников.

Обучение в рамках образовательной игры нивелирует основные факторы рассеивания внимания и потери интереса обучающегося, так как игра заключается в процессе, а не в результате [1].

Таким образом, возникла идея создания обучающей игры по квантовым технологиям, целевой аудиторией которой являются школьники старших классов.

Был проведён обзор существующих игр [2], использующихся в образовательных процессах школ и вузов, который показал, что использование игры в качестве формата обучения актуально на сегодняшний день. Из работы [2] было выявлено, что преимущественно образовательные игры существуют в жанрах симулятор, головоломка и стратегия. Выбор данных жанров обусловлен их ключевыми механиками, которые позволяют наиболее эффективно использовать игровой формат для обучения.

Теоретический материал по квантовым технологиям

Для построения последовательности изучаемого в игре теоретического материала по квантовым технологиям была разработана

структура теоретического материала, включающая в себя четыре раздела: «Основы линейной алгебры и информатики», «Волновая и квантовая природа света», «Квантовые вычисления» и «Квантовые коммуникации». Разделы разбиты на подразделы, которые в свою очередь разбиты на темы. Темы являются неделимыми единицами структуры теоретического материала. К каждой теме разрабатываются практические задачи, которые в игре будут представлены обучающемуся в формате мини-игр.

Структура теоретического материала не линейна, то есть обучающемуся предоставлена возможность выбора темы, которую он будет изучать следующей, но есть и ограничение на выбор, связанный с тем, что для получения доступа к некоторым темам необходимо изучение предыдущих тем.

Условия переходов между темами в игре осуществлялся с использованием ранее разработанного конечного автомата.

Концепция игры и инструменты реализации

Обучающая игра разрабатывается в жанрах стратегия, головоломка, обучающая. Метод управления графическим интерфейсом пользователя – point & click. Игра разрабатывается в двухмерном пространстве. Так как планируется размещение игры на образовательном портале, то предполагается браузерный формат игры. Основной игровой цикл [3, 4] представлен на рисунке 1.



Рис. 1. Основной игровой цикл разрабатываемой игры: Сплошная линия – обязательный переход; пунктирная линия – переход, осуществляемый только при выполнении условия

Также была разработана структура экранов [5, 6] разрабатываемой игры, которая представлена на рисунке 2.

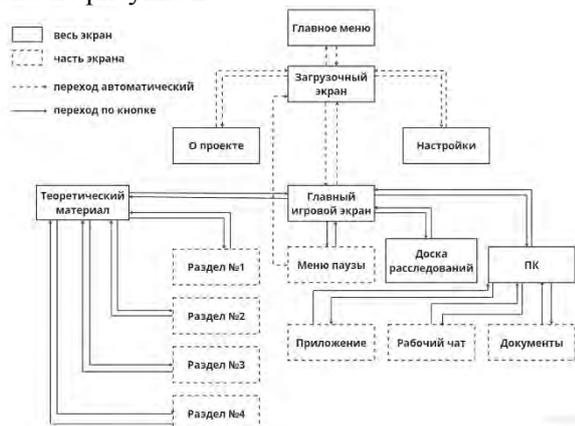


Рис. 2. Структура экранов разрабатываемой игры

Был проведён обзор существующих игровых движков, в результате для разработки игры был выбран движок Unity как наиболее подходящий для разработки 2D браузерной игры.

Результаты практической реализации

Полностью реализованы экраны «Главное меню» (рис. 3), «О проекте», «Загрузочный экран», «Меню паузы».

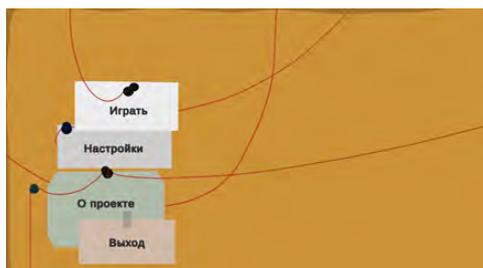


Рис. 3. Экран «Главное меню»

Полностью программно, но не полностью визуально, реализованы экраны «Главный игровой экран» (рис. 4) и «Теоретический материал».



Рис. 4. Экран «Главный игровой экран»

Частично программно и визуально реализованы экраны «Настройки», «Доска расследований», «ПК» (рис. 5), «Приложение», «Рабочий чат», «Документы», «Раздел №1», «Раздел №2», «Раздел №3», «Раздел №4».



Рис. 5. Экран «ПК»

Заключение

В данной работе была разработана основная концепция 2D обучающей WEB-игры по квантовым технологиям, использующихся в образовательных процессах школ и вузов. На выбранном для разработки игровом движке Unity была разработана часть программного скелета, а также часть визуальной составляющей.

В дальнейшем планируется построение расширенного конечного автомата на основе ранее разработанного конечного автомата и его программная реализация, создание первых уровней обучающей игры по квантовым технологиям.

Благодарности

Автор выражает благодарность Торгаеву Станиславу Николаевичу, Масловой Юлии Валентиновне, Хомяковой Кристине Игоревне и Каширскому Даниле Евгеньевичу за сущест-

венный вклад в разработку структуры изучаемого в игре теоретического материала.

Исследование выполнено при поддержке Программы развития Томского государственного университета (Приоритет-2030), проект № 2.0.6.2022 ЛМУ.

Список литературы

1. Huizinga J. Homo Ludens: A study of the play-element in culture. – Boston : Beacon Press, 1967. – 244 p.
2. Шульга И.Д. Обзор образовательных игр // Новые информационные технологии в исследовании сложных структур: материалы Четырнадцатой международной конференции. – Томск: ТГУ, 2022. – С. 35–36.
3. Schell J. The art of game design: A book of lenses. – Burlington : Morgan Kaufmann Publishers, 2008. – 517 p.
4. Fullerton J., Swain C., Hoffman S. Game design workshop: A playcentric approach to creating innovative games. – New York: CRC Press, 2017. – 470 p.
5. Swink S. Game feel: A game designer's guide to virtual sensation. – Burlington : Morgan Kaufmann Publishers, 2009. – 345 p.
6. Koster R.A, Wright W. Theory of fun for game design. – Scottsdale: Paraglyph Press, 2004. – 279 p.

Секция 5

**RECENT DEVELOPMENTS IN RADIOPHYSICS, OPTICS,
PHOTONICS, OPTOINFORMATICS AND INFORMATION
TECHNOLOGIES**

Science intensive analysis of amorphous alloys atomic structure

D.S. Dilla, E.V. Pustovalov, A.N. Fedorets

Scientific adviser: Dr. Phys.-Math. Sci., Prof. E.V. Pustovalov

Far Eastern Federal University, Vladivostok

E-mail: dilla.d@dvfu.ru

Abstract: Amorphous materials lack the kind of crystalline structure that is common in solid materials. Today, researchers are looking for an alternative way to understand the atomic structure and Physicochemical properties of amorphous alloys than the approach used for crystals. Atomic-scale simulations are a vital part of modern research into materials and the atomic structure of amorphous alloys. By understanding the properties and atomic structure of these materials, we can develop new materials and improve our understanding of how these materials behave. This article discusses a lesser-known perspective on the study of atomic structure and physicochemical properties of amorphous alloys to better understand the materials and their properties. It also outlines the event-driven dynamics algorithm's application in sequential and parallel programming to investigate the macroscale atomic structure and physicochemical characteristics of amorphous alloys. Further, a cluster analysis of computational experiment findings is also performed to explore the atomic structure and physicochemical properties of amorphous alloys. Finally, it exhibits the results of statistical analysis as well as the conclusions of science intense investigation of the atomic structure of amorphous alloys.

Keywords: amorphous alloy, image simulation, atomic structure, cross-correlation, atomic cluster.

Introduction

Amorphous materials have recently become of interest to industries and academia because of their potential technological uses, as well as the lack of knowledge of their characteristics. Amorphous alloys are extensively studied for their physical properties, structure, and technological potential. However, Amorphous materials vary in their properties from those of crystalline materials, which makes it difficult to understand and use them effectively. Like crystals, the structural information about amorphous alloys gained via atomic structure analysis is crucial for understanding and enhancing the characteristics or functions of amorphous alloys [1, 2]. However, amorphous alloys present a challenge in understanding their atomic structure because they do not have symmetrical properties in translation or rotation. This lack of symmetry leads to difficulties in identifying long-range order, which is a defining characteristic of crystals but not present in amorphous materials. The lengths of bonds between individual atoms, the angles at which they are formed, and the number of atoms they are coordinated with can differ, which leads to a lack of ordered structure over long-range.

The absence of a regular pattern makes it difficult to use experimental methods to determine the structure of a substance with certainty. Computational methods are highly valuable in examining the structure of materials, but their effectiveness is

limited by the lack of symmetry in atoms and the absence of experimental data for comparison and verification. This shortcoming is particularly problematic when it comes to amorphous metallic materials, as accurately describing their structure remains challenging. This lack of understanding hampers progress in the development and application of these materials. This study proposes a technique for examining the local atomic ordering of amorphous alloys with any kind of symmetry, including non-crystallographic symmetry using electron microscopic images. Studies have demonstrated that thermal activity can result in a 30% alteration in the density of atomic clusters that have an ordered structure size of 1–2 nm, based on the structure of CoP and NiW amorphous alloys. The impact of heating has been revealed to cause changes in the level of order, both in the form of an increase or decrease.

Material and Methods

Electrochemical deposition was used to create samples of CoP, CoNiP, and NiW amorphous alloys. High-resolution transmission electron microscopy on FEI Titan 80-300 at 300 and 80 KV with aberration correction is used to examine the atomic structure of the samples. The thickness of samples placed on a standard copper grid ranges from 2 to 10 nm. Because of the thinness of the samples, we can investigate the local atomic structure and show different levels of ordering. HRTEM images were

obtained at temperatures ranging from 20°C to 300°C. HRTEM image processing using science intensive GPU/CPU software to cross-correlate with double-core:

$$H_{\varphi, r_0}(x, y) = h(x, y) \cdot \sum_{\varphi} h(x - r_0 \cdot \sin\varphi, y - r_0 \cdot \cos\varphi),$$

where $h(x, y) = \text{sinc}(\rho/\rho_0) - h_0$. We lect $r_0 = 0.25 \text{ nm}$, $\rho_0 = 0.15 \text{ nm}$ Parameter h_0 selected from following condition:

$$\sum_{x, y} h(x, y) \approx 0.$$

Our team developed a specialized software that focuses on processing and analyzing HRTEM images of atomic structures. This software offers a range of features, including image enhancement, object identification, cluster analysis, and graph visualization. Leveraging the power of GPU/CPU technology, the software harnesses parallel processing capabilities to accelerate the analysis of extensive datasets and intricate calculations associated with studying the atomic structure of amorphous alloys. By utilizing both the graphics processing unit (GPU) and central processing unit (CPU), our software aims to achieve enhanced performance and reduced processing times.

The process of image processing involves identifying objects in an image and representing them as vertices in a two-dimensional plane. These vertices are then clustered using the Euclidean distance matrix, which takes into account the distance between each vertex and its neighboring vertices within the cluster. The clustering algorithm considers vertices with a distance of 0.25 nm between them and groups them together. Finally, each cluster is displayed in a nearest neighbor graph for visualization purposes.

In a similar manner, an analysis of the graphs was conducted using geometric principles, utilizing statistical data and taking into account various geometrical factors including graph energy and topology for each cluster.

Researchers have found that the statistics of atomic clusters on electron microscope images follow a Pareto distribution, which is a model that can be used to calculate the number of clusters on simulated image.

Interatomic distances were accounted for by limiting the minimum distance between clusters or atoms. The coordinates of each next point were generated in local polar coordinates, which correspond to images of atomic structure where grids are

realized in random or angle-multiple of $\pi/6$ directions.

In addition, the image binarization operation was performed with a global threshold from 2σ to 3σ , and the object coordinates were calculated. the sigma symbol (σ) typically represents the standard deviation, which is a measure of the dispersion or variability of a dataset. It quantifies how much the values in a dataset deviate from the mean.

The selected objects are atomic clusters, and one of the convenient forms of representation is undirected graphs. According to the coordinates of the objects, a distance matrix was compiled, according to which the objects were connected into graphs with vertices and edges, so that the distance between connected vertices corresponded to $r_0 \pm 0.1r_0$.

Furthermore, the number of vertices, connections, and the ratio of connections to vertices collected from each image were used to examine the distribution of graphs. The primary goal of this research is to identify the degree of order or its absence in images of atomic structure. This was accomplished by calculating and analyzing the applicability of various metrics and distances between random distributions. Images of the distribution of objects were chosen for further investigation, and the criteria was met using the Smirnov–Kolmogorov goodness-of-fit criterion (S-K) and interval estimation [3, 4]. For set of data (image) we calculate probability density function (PDF) and cumulative distribution function (CDF) for number of vertices, number of bound in the graphs, Shannon entropy for each PDF. As a measure we used CDF and Lebesgue measure for cumulative distribution.

Results of the Research

Each set of data from the image consists of 4000–4500 objects which form 1300–1700 isolated clusters (graphs) with 2 or more vertices. Processing results of the simulated and experimental images confirms that distribution of the vertices and bonds of the graphs belongs to Pareto distribution. Figure 1 shows distribution for the dataset with 0, 50 and 100% of ordered clusters in the image. To measure the difference between distributions we used Kullback–Leibler divergence in linearized form [5, 6].

Figure 2 depicts the linearized Kullback–Leibler (K-L) divergence for two measures, $\text{Div}(\text{SP}(\text{B}/\text{V}))$ and $\text{Div}(\text{Mu}(\text{B}/\text{V}))$, which relate to the ratio of bonds to vertices in atomic cluster graphs. The figure shows how these measures

change based on the level of ordering in the images of atomic structure.

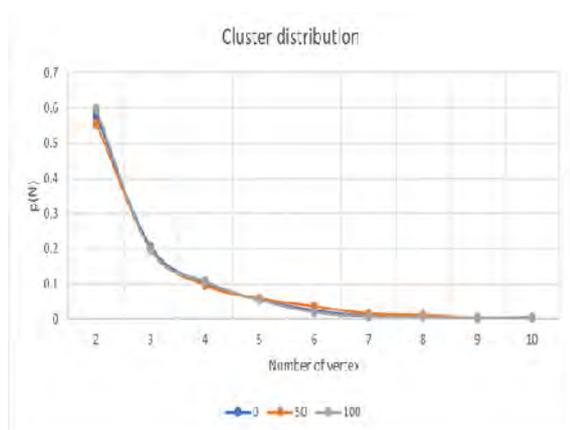


Fig. 1. Cluster distribution by number of vertices for dataset with 0% 50% and 100% of ordered clusters in the image.

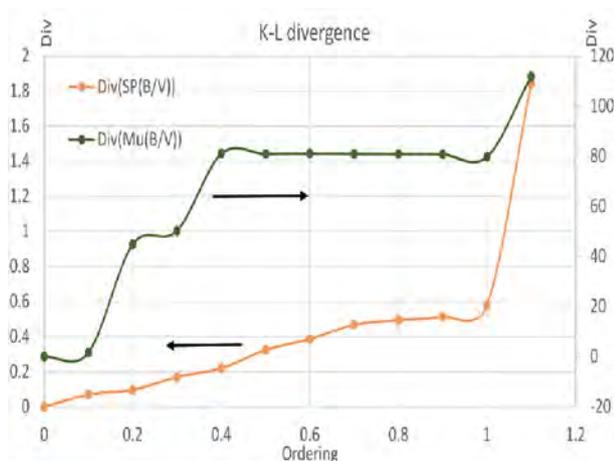


Fig.2. Linearized Kullback–Leibler divergence for bonds to vertices ratio CDF (Div (SP(B/V)) on left axis) and for Lebesgue measure for bonds to vertices ratio (Div (Mu(B/V)) on right axis) depending on level of ordering in the images.

Analyzing the trends, it is observed that as the level of ordering increases, both $\text{Div}(\text{SP}(\text{B}/\text{V}))$ and $\text{Div}(\text{Mu}(\text{B}/\text{V}))$ decrease. This indicates a reduced divergence between the cumulative distribution function (CDF) and Lebesgue measure for the ratio of bonds to vertices, respectively. These measures serve as indicators of cluster ordering and can be used to assess and compare different images or samples of amorphous alloys in terms of their degree of ordering.

It is clearly seen that K-L divergence can be used as parameter of cluster ordering. Additional

calculation of S-K test confirms the equality for distributions with different level of ordering, except the last one with manually constructed clusters with perfect symmetry.

Conclusion

This study provides insight into the atomic structure, Physicochemical properties, and algorithms for prediction of the atomic structure orderliness of amorphous alloys.

The indicators of atomic structural orderliness are given and their properties are investigated. The following step is to use statistical probability approaches and graph topological indices to analyze the data presented here. More research is needed to better understand the atomic structure and Physicochemical properties of amorphous alloys.

Linearized Kullback–Leibler divergence for CDF and Lebesgue measure can be used as measure of atomic structure orderliness.

Acknowledgements

This work was financially supported by FEFU EF No. 22-02-03-005.

References

1. Modin E.B., Pustovalov E.V., Fedorets A.N. et al. Atomic structure and crystallization processes of amorphous (Co, Ni)–P metallic alloy // *J. Alloys and Comp.* – 2015. – Vol. 641. – P. 139–143.
2. Pustovalov E.V., Modin E.B., Frolov A.M. et al. Effect of the process conditions for the preparation of CoNiFeSiB amorphous alloys on their structure and properties // *J. Surface Investigation: X-Ray, Synchrotron and Neutron Techniques.* – 2019. – Vol. 13(4). – P. 600–608.
3. Kuleshov E.L. Goodness-of-fit test based on the interval estimation // *Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing.* – 2016. – Vol. 52(1). – P. 24–29.
4. Kuleshov E.L. Interval estimation of the probability distribution function // *Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing.* – 2015. – Vol. 51(2). – P. 120–123.
5. Yudina L.A., Frolov A.M., Chukhry N.I. et al. System method for complicated SEM images processing // *Bull. Rus. Acad. Sci.: Physics.* – 1998. Vol. 62(3). – P. 455–460.
6. Chukhry N.I., Yudin V.V., Frolov A.M. et al. Correlation between quick-quenched ribbon surfaces and atomic disordering in spinning processes // *Surface Investigation: X-Ray, Synchrotron and Neutron Techniques.* – 2000. – Vol. 15(4). – P. 653–665.

Research of the gain of silicon photomultipliers in a temperature chamber at various voltages

V.D. Moskalenko, D.A. Frolova, D.A. Pidotova

Supervisor: Cand. Phys.-Math. Sci. A.V. Badin

National Research Tomsk State University, Tomsk

E-mail: irreproachable17@bk.ru

Abstract: The results of the research of the gain for a series of silicon photomultipliers are presented. A model for research the characteristics of photodetectors in a temperature chamber was assembled. The amplification factors of the samples were determined at voltages 38 – 42 V and temperatures from –20 to +40 °C. The recommended operating conditions for photodetector samples were revealed

Keywords: multi-pixel photon counter, gain, breakdown voltage, climatic test chamber, charge spectrum.

Introduction

Multi-pixel photon counter (MPPC) detectors are a solid-state silicon photoelectronic multiplier (SiPM), which is a new type of photon counting detectors and is manufactured on the basis of several pixels of an avalanche photodiode operating in Geiger counter mode. Silicon photoelectronic multipliers are one of the important components of particle detectors in high-energy physics, nuclear and astrophysics. These detectors are used to study the properties of elementary particles such as electrons, protons, neutrons and others, as well as to study cosmic rays and cosmic radiation.

The gain factor is one of the important characteristics of silicon photomultipliers, which determines their effectiveness as detectors. The gain factor shows how many times the electrical signal that occurs when a photon hits the photosensitive surface of the detector is amplified.

The research of the gain is necessary to improve the accuracy and reliability of experimental data obtained when working with silicon detectors. For example, the accuracy of particle energy measurement depends on the gain factor, since it determines the number of electrons created when a photon hits the detector.

Moreover, the research of the gain is important for optimizing detectors and increasing their sensitivity. In the process of investigating the gain factor, factors such as the geometry of the detector, the quality of the photosensitive surface, the optical properties of the material, etc. are taken into account. Also important are external factors when conducting experiments with photoelectronic multipliers, for example, the room temperature and the exposed breakdown voltage, which change the

passport values of the characteristics of the detectors. As a result, it is increasingly necessary to determine the characteristics of detectors for specific research conditions. To do this, an experiment was conducted in a climatic test chamber with a silicon photomultiplier.

Materials and methods of research

For the experiment, a low breakdown voltage type MPPC for scintillation detector of Hamamatsu S14160-3050HS series with an effective photosensitive area of 4*4 mm² and a gain of $2,5 \cdot 10^6$ at 25 degrees Celsius was selected (Figure 1).

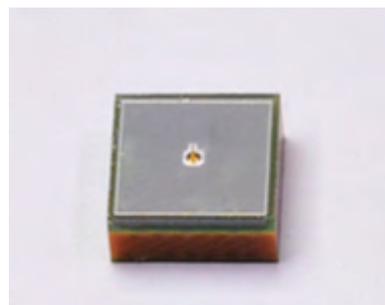


Fig. 1. Image of the MPPC under study [1]

For the task of measuring the dependence of the gain on temperature, the breakdown voltage was initially determined for the optimal operating mode of the detector. To work, an installation consisting of a personal computer, a high-voltage source, a rack with a digitizer, a four-channel linear power source, a MPPC and a light source aimed at its sensitive part was assembled, and the code for processing measurements in the ROOT CERN shell was also written.

After determining the breakdown voltage, the research was carried out in the climate test chamber «SPC Technology» (Figure 2), the volume of which was manually light-insulated in advance. The climatic test chamber allows measurements in the temperature range from -70 to $+150$ °C, the accuracy of maintaining the temperature is 0.5 °C. This investigate used a temperature range from -20 to $+40$ °C.



Fig. 2. The climate test chamber «SPC Technology» [2]

Results

The first step was to obtain histograms of the MPPC charge spectrum in the range of 38–42 V with a step of 1 V (Figure 3). Single photoelectron peaks correspond to the sum of the Gaussian distribution.

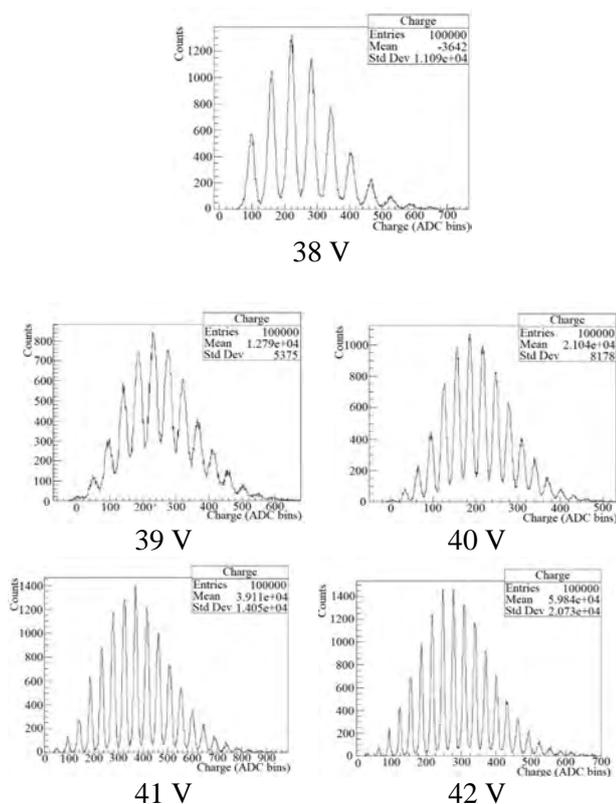


Fig. 3. The MPPC charge spectrum in the range of 38–42 V

Based on the results of these measurements, the optimal breakdown operating voltage was revealed – 41 volts.

Further, having fixed the voltage on the detector, measurements were carried out in the temperature chamber in the range from -20 to $+40$ °C in increments of 5 °C. Figure 4 shows the temperature dependence of the gain of the Hamamatsu 4×4 mm² silicon photomultiplier of the S14160-3050HS series.

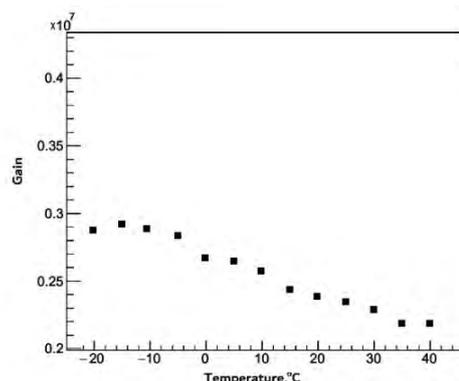


Fig. 4. The temperature dependence of the gain

It is known that the gain of a SiPM depends on temperature, since an increase in room temperature increases the vibrations of the crystal lattice. In this regard, the probability increases that the carriers may collide with the crystal lattice before the energy of the accelerated carrier becomes large enough for the ionization process to occur. Moreover, with an increase in temperature at a fixed reverse voltage, the gain decreases, which is confirmed by the results obtained. Based on these results, it was found that for a breakdown voltage of 41 volts, the maximum gain is observed at temperature -15 °C.

Results

The research allows you to track the change in the gain for specific operating temperature conditions that are not taken into account in the product data sheet, and also indicates the operating parameters to obtain the maximum gain value for the MPPC S14160-3050HS series.

Acknowledgments

The research was carried out with the support of the Dzheleпов Laboratory of Nuclear Problems of the Joint Institute for Nuclear Research.

References

1. Low breakdown voltage type MPPC for scintillation detector [Electronic Resource]. – URL:

https://www.hamamatsu.com/eu/en/product/optical-sensors/mppc/mppc_array/S14160-3050HS.html (date of access: 20.04.2023).

2. Commercially available heat-cold cameras: HCC series [Electronic Resource]. – URL: <https://climtech.ru/produksiya/teplo-holod> (date of access: 20.04.2023).

Investigation of the bimodal character of RHEED intensity oscillations during homoepitaxial growth of Si/Si(100)

A.S. Sokolov, O.I. Kukenov

Scientific adviser: Dr. Phys.-Math. Sci. A.P. Kokhanenko

National Research Tomsk State University, Tomsk

E-mail: ars856570@gmail.com

Abstract: This paper presents a study of the bimodal character of the intensity oscillations of diffraction patterns obtained by the method of fast reflected electron diffraction during the epitaxial growth of Si on a Si(100) substrate. The dependence of the nature of oscillations of the intensity of diffraction patterns during the epitaxial growth of Si on Si(100) is shown in a wide temperature range of the substrate.

Keywords: molecular beam epitaxy, high-speed reflected electron diffraction, homoepitaxy, silicon, bimodality.

Introduction

Improving the quality of semiconductor structures is an important task of modern opto- and nanoelectronics. In this case, the possibility of efficient creation of nanosized structures strongly depends on the state of the substrate surface, and the processes during epitaxial growth are determined by temperature conditions. Therefore, to obtain high-quality structures, the correct pre-epitaxial preparation of the plate is important. The preparation of the wafer consists in chemical cleaning and high vacuum annealing at 1000 °C, followed by deposition of a Si buffer layer of about 100 nm. In this case, in order to obtain a high-quality surface, it is necessary to know in advance the growth parameters of the sprayed material. Thus, in the method of molecular beam epitaxy (MBE) under ultrahigh vacuum conditions, it is possible to obtain thin epitaxial layers of high purity with a small number of defects. The MBE method also makes it possible to use the method of high-speed reflected electron diffraction (RHEED), which provides information about the surface morphology and is used in the process of “in situ” epitaxial growth [1].

Materials and methods of investigation

After the pre-epitaxial preparation of the substrate, Si was synthesized onto the Si(100) substrate using the Katun-100 MBE facility. The study was carried out by the RHEED method. The RHEED electron gun sends a beam of high-energy electrons (up to 28 keV) to the substrate at a small grazing angle. Since the wavelength of electrons is commensurate with the parameters of the crystal lattice, diffraction patterns are formed upon reflec-

tion from the structure on the luminescent screen. By the form of diffraction patterns, one can assess the state of the surface and the quality of the crystalline layer.

Results and discussion

The paper shows the dependence of the mechanisms of Si growth on Si(100) on the substrate temperature. The surface of the Si(100) substrate consists of steps with alternating orthogonal orientation of dimers [2]. In the process of silicon deposition, clusters of atoms are formed on the surface of the steps in the form of two-dimensional islands, which grow in lateral size and combine into one layer. In this case, it is kinetically advantageous for the deposited atoms to fill the stages in turn. It was found that, in the substrate temperature range from 200 to 500 °C, the intensity oscillations are bimodal. Figure 1 shows a graph with a bimodal nature of intensity oscillations, which at low temperatures corresponds to a two-dimensional island growth mechanism.

In the temperature range of 500–600 °C, the intensity oscillations of one of the steps decrease, which indicates a transition to a mixed type of growth. In this case, two growth mechanisms are realized: two-dimensional island growth and growth by embedding atoms at the edge of steps (growth by step shift).

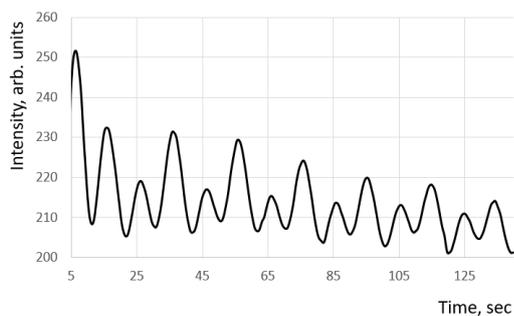


Fig. 1. Bimodal nature of the intensity oscillations of the “00” reflection in the diffraction patterns in the [110] direction, at a temperature of Si growth on Si(100) – 300 °C

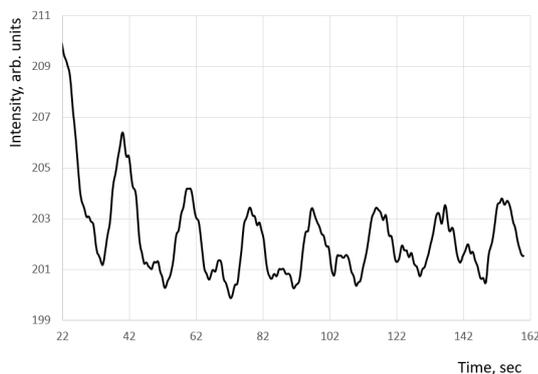


Fig. 2. Intensity oscillations of the diffraction pattern for a mixed growth mechanism at a substrate temperature of 533 °C

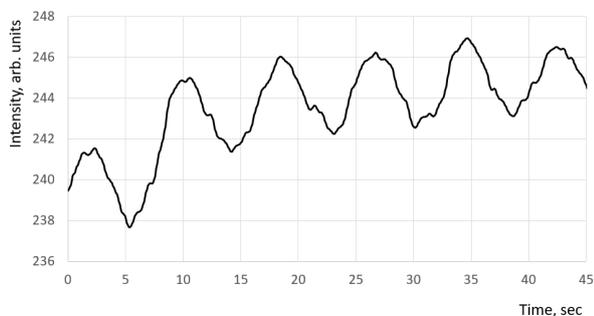


Fig. 3. Intensity oscillations of the diffraction pattern for a mixed growth mechanism at a substrate temperature of 588 °C

The decrease in the intensity oscillations of one of the steps is due to the fact that the atomic roughness of the surface decreases. It is important to note that in the temperature range of 500–550 °C, the mixed type of growth is dominated by two-dimensional island growth, and bimodality can still be distinguished. This is shown on Figure 2 where the substrate temperature was 533 °C. In the

range of 550–600 °C, the increase in step shift predominates, and the oscillations of one of the steps almost completely disappear (Figure 3, substrate temperature – 588 °C).

At higher temperatures, the deposited atoms always reach the edge of the step and are embedded in it. There is no two-dimensional island growth mechanism; at temperatures above 600 °C, growth occurs only by step shift. In this case, both steps grow simultaneously and there are no intensity oscillations.

Conclusion

The dependence of the mechanism of Si growth on the Si(100) substrate at different temperatures has been revealed in the work. Two-dimensional island growth mechanism in the temperature range of 200–500 °C; mixed growth mechanism in the range of 500–600 °C; growth by step shift at a temperature of 600 °C and above. The obtained data contribute to the choice of growth parameters during deposition of the buffer layer. So, for example, at 600 °C and above, due to the embedding of atoms in the edge of the steps, a very smooth, defect-free surface is obtained. Temperatures of 500–600 °C make it possible to form steps of diatomic thickness, which is of interest in obtaining quantum dots for Ge-on-Si structures. Temperatures of 200–500 °C have low diffusion of atoms, which makes it possible to obtain two-dimensional structures [3].

Thanks

The study was financially supported by the Russian Science Foundation within the framework of the scientific project No. 21-72-10031.

References

1. Hafez M.A., Zayed M.K., Elsayed-Ali H.E. Review: Geometric interpretation of reflection and transmission RHEED patterns // *Micron*. – 2022. – Vol. 159. – P. 10.
2. Latyshev A.V., Aseev A.L. Monoatomic steps on the surface of silicon // *UFN*. – 1998. – Vol. 168. – P. 1117–1127.
3. Dirko V.V., Lozovoy K.A., Kokhanenko A.P. et al. High-resolution RHEED analysis of superstructure transitions // *Nanotechnology* – 2022. – Vol. 33. – P. 1–8.

Detecting depression from text: A gender based comparative approach using Machine learning and BERT embeddings

N. Firoz

Scientific adviser: Dr. Tech. Sci., Prof. O.G. Beresteneva

National Research Tomsk State University, Tomsk

E-mail: nedafiroz1910@gmail.com

Abstract: Depression is a grave medical issue experienced by numerous individuals globally, leading to a continuous decline in one's mood and significantly impacting their emotions. This article explores the use of machine learning and BERT embeddings for detecting depression from text data and gender variable. We compare the accuracies of different machine learning algorithms, consisting of logistic regression(LR), support vector machines(SVM), and random forests(RF), on a benchmark dataset of DAIC_WOZ. We found that including gender information as a feature significantly improves the performance of the models. Specifically, logistic regression and random forests show higher accuracy in detecting depression when gender information is included. These findings suggest that BERT embeddings and gender information can be effective tools for detecting depression from text and highlight the potential of machine learning for mental health research with consideration of gender differences.

Keywords: Depression Detection, NLP, Machine Learning, BERT.

Introduction

Depression is a mental health condition that affects millions of people worldwide. It can cause feelings of sadness, hopelessness, and despair, which can significantly impact a person's quality of life.

Lately, there has been mounting interest in exploiting natural language processing (NLP) techniques to detect depression from text. NLP involves analyzing and processing natural language data to extract meaning and gain insights into human behavior [1].

In this work, we investigate the use of machine learning and BERT [2, 3] embeddings for detecting depression from text. We compare the performance of different machine learning algorithms, including logistic regression, support vector machines, and random forests, on a dataset of self-reported depression symptoms. We also experiment with using BERT [3] embeddings as input to these models, with the aim of improving their performance.

The objective is to evaluate the effectiveness of machine learning and BERT embeddings in detecting depression from text and to provide insights into their potential for mental health research.

Methods and Materials

We used the DAIC-WOZ dataset which is a compilation of clinical interview corpus aimed at facilitating the identification of psychological distress disorders, counting anxiety, depression, and post-traumatic stress disorder [4].

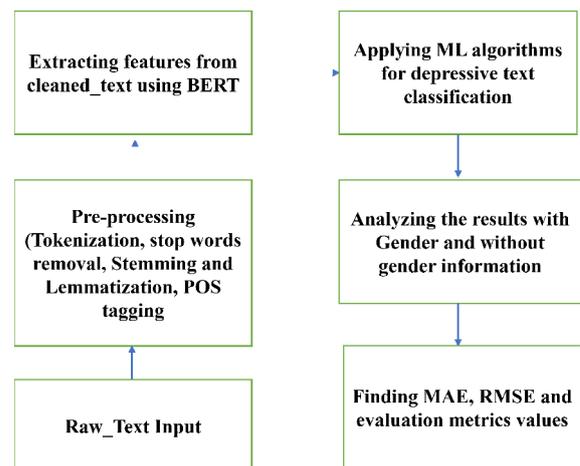


Figure. 1. Methodology Used

Pre-processing and text cleaning are crucial steps in Natural Language Processing (NLP) tasks. The steps involved in pre-processing and text cleaning are: Tokenization, Stop Word Removal, Stemming/Lemmatization, Part-of-

Speech (POS) Tagging. Then we employ BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) which is a SOTA pre-trained language model for NLP tasks to extract features from the cleaned text. We used following models to train them for depression classification using gender information and without gender information and compared the results: Logistic Regression (LR), Support

Vector Machines (SVM), Decision Trees (DT), Random Forests (RF).

Results

This section depicts the results by comparing the gender-based depression detection performance and without it by the machine learning models. Here 0 class represents non-depressive texts, while 1 represents depressive texts.

Table 1: Without gender- based ML model’s performance

ML algorithm (BERT only)	MAE	RMSE	Accuracy	F1-score	Precision	Recall
Logistic Regression	0.39	0.62	0.61	0.73	0.67	0.80
Decision trees	0.42	0.64	0.58	0.70	0.66	0.76
Random Forest	0.31	0.56	0.68	0.81	0.68	1.00
SVM	0.34	0.58	0.66	0.79	0.66	1.00

Table 2: With gender- based ML model’s performance

ML algorithm (BERT + Gender information)	MAE	RMSE	Accuracy	Fi-score	Precision	Recall
Logistic Regression	0.02	0.16	0.97	0.96	0.93	1.00
Decision trees	0.0	0.0	1.00	1.00	1.00	1.00
Random Forest	0.07	0.28	0.92	0.94	0.89	1.00
SVM	0.34	0.58	0.66	0.79	0.66	1.00

Conclusion

The findings suggest that including gender information as a feature can improve the accuracy of the models, highlighting the importance of considering gender differences in mental health research.

Acknowledgements

We are grateful to the DAIC_WOZ dataset license for enabling the research work. We also express our gratitude to the library of Tomsk State University for granting access to various resources.

References

1. Tavchioski I., Koloski B., Škrlić B. et al. (2022, May). E8-IJS@ LT-EDI-ACL2022-BERT, Auto ML and knowledge-graph backed detection of depression // Proceedings of the second workshop on language technology for equality, diversity and inclusion. – P. 251–257.
2. Farruque N., Zaïane O.R., Goebel R. et al. DeepBlues@ LT-EDI-ACL2022: Depression level detection modelling through domain specific BERT and short text depression classifiers // Proceedings of the Second Workshop on Language Technology for Equality, Diversity and Inclusion. – 2022. – P. 167–171.
3. Arun, V., Prajwal V., Krishna M. et al. A boosted machine learning approach for detec-

tion of depression // 2018 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI). – 2018/ – P. 41–47.

4. Gratch J., Artstein R., Lucas G.M. et al. The distress analysis interview corpus of human and computer interviews // Proceedings of LREC. – 2014 May. – P. 3123–3128

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Абидинзаде А.З.	42	Мурашко С.Н.	70
Алишаускайте В.И.	136	Нечаев А.Н.	47
Бардашов Д.С.	36	Олейник М.А.	115
Бардецкий Г.С.	136	Перевалов А.В.	25, 31
Бахус А.В.	52	Переводчиков Д.Ю.	33
Белоногов С.А.	38	Переседова Д.А.	72
Болотов Д.В.	54	Пидотова Д.А.	44
Болтанский М.В.	52	Попова А.С.	76
Бородулин З.И.	57	Пфайф А.А.	80
Бушуев Э.Ю.	54	Сальников К.С.	36
Вертопрахов И.А.	8	Сафьянов А.Д.	70
Волков А.А.	52	Седов Н.С.	143
Гладков Ю.Н.	23	Сергиенко К.С.	38
Григорьев Я.И.	59	Сиротинин А.А.	104
Данилкин В.Э.	106	Соколов А.С.	68
Диб Х.	61	Соколов М.В.	106
Дорохов Н.С.	6	Тишкова В.И.	109
Духанов А.С.	140	Трофимов М.С.	40
Елясов А.Н.	8	Трубачев А.	118
Жамус А.Я.	63	Тумалевич Г.А.	42
Жапова Г.А.	10	Судариков И.В.	42
Зайцев А.И.	90	Фадеев Н.В.	120
Зинченко И.	12	Фасхудинова В.А.	12
Исса М.	15	Федорченко М.М.	42
Кайкова Ю.В.	93	Фоминых А.А.	146
Калачев Е.А.	129	Фролова Д.А.	44
Капитанов Р.Д.	18	Хомякова К.И.	61
Киселева О.С.	66	Цымбалов А.В.	66
Кузубаев З.Г.	113	Чащин В.В.	82
Кукенов О.И.	68	Черкашин М.А.	149
Курков М.М.	95	Шайдуллин А.Р.	111
Кушков Е.О.	97	Шевалдина Д.И.	133
Кушнарв Б.О.	66	Шершнеф Т.В.	23
Лемешов В.В.	21	Шульга И.Д.	151
Лобанов О.А.	100	Шульга М.И.	52
Лосев Д.В.	36	Шкрабин Д.В.	52
Масунов В.В.	23	Щербатов А.	125
Медведев А.В.	28	Юрченко Е.А.	127
Минаев К.А.	102	Якименко Ф.А.	85
Минин И.Н.	25, 31	Dilla D.S.	156
Морозов С.Р.	28	Fedorets A.N.	156

Firoz N.	164
Frolova D.A.	159
Kukenov O.I.	162
Moskalenko V.D.	159

Pidotova D.A.	159
Pustovalov E.V.	156
Sokolov A.S.	162

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1

Радиофизика и электроника

Разработка СФ-блока автогенератора для применения в КМОП аналоговых интегральных схемах <i>Н.С. Дорохов</i>	6
Электромагнитные свойства композиционного филамента с ферритовым наполнителем для 3D печати <i>И.А. Вертопрахов, А.Н. Елясов</i>	8
Расчет и исследование малосигнальной модели 0,25 мкм GaAs НЕМТ транзистора <i>Г.А. Жапова</i>	10
Система охлаждения полупроводникового источника оптического излучения на основе элемента Пельтье <i>И. Зинченко, В.А. Фасхудинова</i>	12
Формирование луча с использованием трехмерной антенной решетки <i>М. Исса</i>	15
Влияние механической активации на структурные и магнитные свойства гексаферритов системы $\text{BaCo}_{2-x}\text{TixFe}_{12}\text{O}_{22}$ <i>Р.Д. Капитанов</i>	18
Микроволновые характеристики композитных магнитоэлектрических мультиферроиков <i>В.В. Лемешов</i>	21
Исследование электромагнитных характеристик материалов на основе порошков меди для обеспечения электромагнитной совместимости высокочастотной аппаратуры <i>В.В. Масунов, Т.В. Шершнев, Ю.Н. Гладков</i>	23
Устройство сбора данных о концентрации углекислого газа в окружающей среде <i>И.Н. Минин, А.В. Перевалов</i>	25
Параметрическая и структурная оптимизация генетическим алгоритмом печатной платы с двуслойным диэлектриком <i>С.Р. Морозов, А.В. Медведев</i>	28
Алгоритм восстановления объектных изображений непрерывной волновой терагерцовой голографии <i>А.В. Перевалов, И.Н. Минин</i>	31
Разработка токового стимулятора для профилактики пролежневых язв <i>Д.Ю. Переводчиков</i>	33
Учет явления деполяризации в неоднородных средах <i>К.С. Сальников, Д.В. Лосев, Д.С. Бардашов</i>	36
Оценка экранирующих свойств помещений для решения прикладных задач электромагнитной экологии <i>К.С. Сергиенко, С.А. Белоногов</i>	38
Численный анализ переноса фотоносителей в детекторных структурах на основе арсенида галлия, компенсированного хромом <i>М.С. Трофимов</i>	40

Частотные свойства электромагнитных характеристик композиционных материалов на основе проводящих включений в полимерной матрице <i>М.М. Федорченко, Г.А. Тумалевич, И.В. Судариков, А.З. Абидинзаде</i>	42
Разработка и исследование функциональных эластомеров в терагерцовой области частот для применения в аддитивных технологиях <i>Д.А. Фролова, Д.А. Пидотова</i>	44
Моделирование процесса СВЧ отогрева глубокого обморожения <i>А.Н. Нечаев</i>	47

СЕКЦИЯ 2

Оптика, фотоника и оптоинформатика

Разработка лабораторного стенда для изучения квантовой генерации случайных чисел <i>А.В. Бахус, М.В. Болтанский, М.И. Шульга, Д.В. Шкрабин, А.А. Волков</i>	52
Воздействие внешних электрических полей на волоконно-оптические линии связи <i>Д.В. Болотов, Э.Ю. Бушуев</i>	54
Влияние дефектов и примесей на спектры электролюминесценции и вольтамперные характеристики алмаза <i>З.И. Бородулин</i>	57
Люминесценция единичных частиц вольфрамово-рудных концентратов Барун-Нарынского техногенного месторождения <i>Я.И. Григоров</i>	59
Моделирование и оптимизация коэффициента усиления и полосы пропускания лавинного фотодиода на основе кремния и германия <i>Х. Диб, К.И. Хомякова</i>	61
Исследование генерации второй гармоники в новых трехкатионных скандоборатах методом Куртца–Перри <i>А.Я. Жамус</i>	63
Электрофизические свойства структур Ga ₂ O ₃ /GaAs <i>О.С. Киселева, Б.О. Кушнарев, А.В. Цымбалов</i>	66
Анализ длины димерного ряда при гетероэпитаксиальном росте Ge/Si(100) методом дифракции быстрых отраженных электронов <i>О.И. Кукенов, А.С. Соколов</i>	68
Дистанционное обнаружение органофосфатов <i>С.Н. Мурашко, А.Д. Сафьянов</i>	70
Спектральные и температурные зависимости импульсной катодолюминесценции азот-вакансионных центров в алмазе при температуре от 80 до 300 К <i>Д.А. Переседова</i>	72
Температурные зависимости экситонной люминесценции в беспримесном алмазе <i>А.С. Попова</i>	76
Флуоресценция как средство для формирования признаков классификации морских организмов <i>А.А. Пфайф</i>	80
Расчет зависимости характеристик просветляющего покрытия на алмазе с измененной поверхностью от формы и размера каналов <i>В.В. Чащин</i>	82

Оценка средней скорости распределения ключей в оптическом канале связи между беспилотными летательными аппаратами <i>Ф.А. Якименко</i>	85
---	----

СЕКЦИЯ 3
Информационные технологии
и телекоммуникационные системы

Применение многосердцевинного оптического волокна в квантовых телекоммуникациях <i>А.И. Зайцев</i>	90
Применение человеко-машинного взаимодействия для исследования моделей машинного обучения <i>Ю.В. Кайкова</i>	93
Опыт применения нейросетевого алгоритма для решения задачи фокусировки при воспроизведении цифровых голограмм планктона на примере <i>Daphnia Magna</i> <i>М.М. Курков</i>	95
Разработка системы навигации автономной плавающей платформы для исследования акватории озера Байкал <i>Е.О. Кушков</i>	97
Эффективность автоматического создания виртуальных предприятий <i>О.А. Лобанов</i>	100
Исследование возможностей оптимизации беспроводных систем связи внутри помещений <i>К.А. Минаев</i>	102
Методы проектирования сети беспроводных точек доступа для технологии интернета вещей <i>А.А. Сиротинин</i>	104
Парсинг и структурный анализ созвездий <i>М.В. Соколов, В.Э. Данилкин</i>	106
Реализация режима обучения по теме «Поиск фиктивных переменных булевой функции» <i>В.И. Тишкова</i>	109
Применение модели расширенного автомата для описания интерфейсной части обучающих тренажеров <i>А.Р. Шайдуллин</i>	111
Автоматизированный поиск полуволнового напряжения на фазомодуляторе интерферометра системы квантового распределения ключей <i>З.Г. Кузубаев</i>	113
Разработка программы обработки изображений с использованием инструментов квантовых вычислений <i>М.А. Олейник</i>	115
Разработка программы для микроконтроллера для регистрации ЭКГ и беспроводной передачи данных по протоколу BLE <i>А. Трубачев</i>	118
Развертывание внутреннего корпоративного почтового сервиса на POSTFIX <i>Н.В. Фадеев</i>	120

Разработка программного обеспечения для установки ультразвуковой сварки по технологии Flip-Chip <i>А. Щербаков</i>	125
Программное обеспечение для системы диагностики гематом мозга <i>Е.А. Юрченко</i>	127
Реализация хеш-функции Тёплица в LabVIEW <i>Е.А. Калачев</i>	129
Разработка программного обеспечения для микроконтроллера для автоматизации средств обеспечения речной навигации <i>Д.И. Шевалдина</i>	133
Телемедицина и информационные технологии: новые возможности для улучшения доступности и качества медицинской помощи <i>Г.С. Бардецкий, В.И. Алишаускайте</i>	136

СЕКЦИЯ 4

Образовательные и цифровые технологии в подготовке высококвалифицированных специалистов по физико-математическим и ИТ направлениям

Разработка лабораторной работы «Источники тока и напряжения на интегральной микросхеме LM317» <i>А.С. Духанов</i>	140
Программно-аппаратный комплекс LabVIEW-NI ELVIS II+ для измерения вольтамперных характеристик МОП-транзисторов <i>Н.С. Седов</i>	143
Программно-аппаратный комплекс LabVIEW-NI ELVIS III для сбора данных и управления внешними устройствами <i>А.А. Фоминых</i>	146
Разработка лабораторной работы «Источники тока на биполярных транзисторах» <i>М.А. Черкашин</i>	149
Разработка образовательной WEB-игры по квантовым технологиям <i>И.Д. Шульга</i>	151

СЕКЦИЯ 5

Recent developments in radiophysics, optics, photonics, optoinformatics and information technologies

Science intensive analysis of amorphous alloys atomic structure <i>D.S. Dilla, E.V. Pustovalov, A.N. Fedorets</i>	156
Research of the gain of silicon photomultipliers in a temperature chamber at various voltages <i>V.D. Moskalenko, D.A. Frolova, D.A. Pidotova</i>	159
Investigation of the bimodal character of RHEED intensity oscillations during homoepitaxial growth of Si/Si(100) <i>A.S. Sokolov, O.I. Kukenov</i>	162
Detecting depression from text: A gender based comparative approach using Machine learning and BERT embeddings <i>N. Firoz</i>	164
Авторский указатель	167

Научное издание

**ДВАДЦАТАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНЧЕСКИХ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ
ИНКУБАТОРОВ**

г. Томск, 2–5 мая 2023 г.

Опубликовано в авторской редакции

Издательство “СТТ”
Россия, 634028, г. Томск, проспект Ленина, 15Б–1
Тел.: (3822)421-455
E-mail: ststtonline@mail.ru

Scientific & Technical Translations



ИЗДАТЕЛЬСТВО

Усл. печ. лист 17,01. Уч.-изд. л. 4,96.
Гарнитура Times. Формат 60x84/16. Заказ № 698.