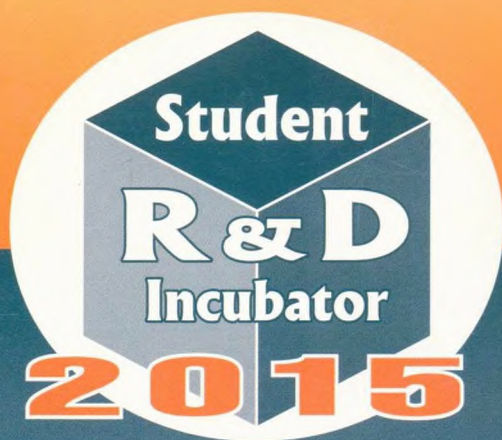


ТРУДЫ XII ВСЕРОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ



СТУДЕНЧЕСКИХ

**ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ
КУБАТОРОВ**

**НАУЧНО-И
ИННОВАЦИОННЫХ**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ



ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Т Р У Д Ы

XII ВСЕРОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ СТУДЕНЧЕСКИХ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ИНКУБАТОРОВ

Томск, 12–13 июня 2015 г.



ТОМСК
«Издательство НТЛ»
2015

УДК 53

Труды XII Всероссийской конференции студенческих научно-исследовательских инкубаторов. Томск, 12–13 июня 2015 г. / под ред. В.В. Дёмина. – Томск: Изд-во НТЛ, 2015. – 192 с.

ISBN 978-5-89503-559-7

Сборник содержит доклады участников XII Всероссийской конференции студенческих научно-исследовательских инкубаторов, проходившей в Томском государственном университете 12–13 июня 2015 г. Цель конференции – обмен результатами фундаментальных и прикладных исследований в области радиофизики, оптотехники, лазерной техники и лазерных технологий, радиоэлектронных систем и комплексов. Сборник представляет интерес для студентов, аспирантов, молодых ученых, преподавателей в области радиофизики и оптики.

УДК 53

Рецензенты: доцент, к.ф.-м.н. **А.Г. Коротаев**,
доцент, к.ф.-м.н. **О.А. Доценко**

*Издание подготовлено при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований,
проект 15-32-10182 мол_г*

ISBN 978-5-89503-559-7

© Авторы статей, 2015
© Оформление. Дизайн.
ООО «Издательство НТЛ», 2015

СОДЕРЖАНИЕ

АНТЕННЫ И РЕШЕТКИ. МАТЕРИАЛЫ И ПРИБОРЫ МИКРО-, ОПТО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

Быков А.Г., Лосев Д.В., Бардашов Д.С. Рассеяние электромагнитных волн нелинейным объектом.....	7
Генералов В.В., Шарафиев Б.Н. Обработка геолокационных данных песчаных земных покровов.....	10
Ералиева А.Б., Мухамадеев Р.А. Автоматизация численной аппроксимации экспериментальных зависимостей коэффициента поглощения в кристалле силиката висмута.....	13
Зенкова А.Д. Расчет электрических характеристик детекторных структур на основе арсенида галлия.....	16
Зиновьев М.М., Трифонова А.В. Эффективность лазерной генерации слоев активной среды, допированной наночастицами различной физической природы.....	18
Каменев А.В. Плоский рефлектор для спутникового телевидения.....	21
Копьев В.В., Романов И.С. Спад квантовой эффективности в структурах на основе InGaN/GaN при фото- и электролюминесценции.....	26
Ломов Е.Ю. Спектральные характеристики гетероструктур для светодиодов на основе твердых растворов.....	28
Малкова И.А., Волгарев Е.А. Термодинамическое моделирование расплавов Ga – Sb, Al – Sb, In – Sb.....	30
Мироньчев А.С. Влияние многократных переотражений на фокусировку излучения плоской линзой из метаматериала.....	33
Мироньчев А.С. Радарное измерение торфяных залежей.....	35
Михайлов Т.А. Характеристики сенсоров ацетона на основе тонких пленок диоксида олова в режиме термоциклирования.....	38
Некрасов Э.С. Исследование и разработка сверхширокополосного радара для обнаружения объектов за стенами.....	41
Олейник В.Л. Исследование светодиодов из AlGaInP методикой спектроскопии адмиттанса.....	46
Трифорова А.В., Зиновьев М.М. Влияние физической природы материалов наночастиц на коротковолновое смещение спектра генерации.....	48
Шаймерденова Л.К. Исследование влияния размеров контактов на вольт – амперные характеристики GaAs<Cr> детекторов.....	51

Шарафиев Б.Н., Генералов В.В. Исследование среды обитания подземных животных.....	55
Щербаков И.Д. Измерение высоты потенциального барьера сенсоров на основе GaAs:Cr методом энергии активации.....	58

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ, КВАНТОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА И ФОТОНИКА

Автандилян А.А. Физические основы музыкотерапии.....	60
Бессонов В.В. Квазиоптический резонаторный контроль синтетических нитей.....	64
Выговский В.Ю. Адаптация устройства углового позиционирования исследуемых образцов материалов для терагерцового спектрометра.....	68
Гаврилов Д.Ю. Обработка сигналов резонаторного преобразователя устройства радиоволновой диагностики микропровода.....	71
Диденко М.В. Исследование зависимости оптических параметров K ₂ Cr ₂ O ₇ -эксилампы от динамического скачка давления.....	74
Качусова А.О. Влияние ультразвуковой обработки на электромагнитные характеристики композитов на основе углеродных нанотрубок.....	76
Коваленко В., Ананина М., Лисицина А. Самая лучшая тара для яиц.....	79
Королёва А.Ю. Высокоселективный фильтр для систем цифрового телевидения.....	81
Лапина И.Л. Органический тонкопленочный лазер красного диапазона спектра с продольной накачкой.....	83
Манов И.А. Разработка алгоритма маршрутизации трафика в программно-конфигурируемых сетях.....	85
Мельникова А.П. Ультрафиолетовое излучение и его влияние на зрение человека.....	87
Поливанова А.С. Применение углеродных нанотрубок.....	89
Протопопов И., Черепанов М., Бюранова М. Загадка катушки Тесла.....	94
Серохвостов В.Ю., Пицагин А.А. Исследование влияния основных параметров эпитаксиального роста на свойства гетероструктур Si/Ge с квантовыми точками Ge.....	97

Скороход Н.Н. Использование оперативно доступных спутниковых данных для определения скорости и направления облачности	100
Соловьёв В.А. Поиск сцены по образцу в видеопотоке.....	102
Стрельцова Н. Инфракрасные обогреватели – мифы и реальность.....	104
Сутулин А.А. Комплексные волны в круглых волноводах с многослойным заполнением	107
Текаева А., Кухаренко Н. Парящий в невесомости гироскоп.....	110
Ткачёв М.А. Информационное обеспечение лабораторного практикума по курсу «Схемотехника аналоговых электронных устройств»	113
Уфимцев М.Р. Исследование магнитной анизотропии нанопорошков гексаферритов $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ методом ферромагнитного резонанса	116
Ханефт А.А. Кластеризация изображения по его текстурным признакам	120
Черноброва Д.А. Электромагнитные характеристики композитов на основе многостенных углеродных нанотрубок и графена.....	122
Юрченко Е.Д. Робототехническая лаборатория «IRobot» как один из способов решения проблемы привлечения выпускников школ на естественно-научные факультеты НИТГУ	125

ЛАЗЕРНЫЕ И ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ, ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ. СОЛНЕЧНО-ЗЕМНАЯ ФИЗИКА И ФИЗИЧЕСКАЯ ЭКОЛОГИЯ

Абдулов Р.М. Трассовый газоанализатор УФ-диапазона спектра	131
Афанасьева Ю.А. Сенсомоторные показатели человека в условиях возмущённой и спокойной геомагнитной обстановки.....	134
Бабушкин П.А. Уточнение параметров лидарного уравнения при дистанционном зондировании в спектре суперконтинуума.....	137
Бурова В.Ю. Общая тенденция динамики параметров мозговой активности при действии излучений мобильных телефонов	140
Важинский О.Т., Паргачёв И.А. Разработка высоковольтного импульсного драйвера для электрооптических затворов	144
Ванданов О.Ф. Активная оптико-электронная система видения «Зонд»	147

Веденин Е.И. Лазерный сенсор для обнаружения аэрозольных выбросов.....	151
Голенева Н.В., Лавринов В.В. Исследование корреляционных свойств измерений датчика Шэка – Гартмана в зависимости от параметров его оптической части.....	154
Каунов В.С. Лазерное зондирование аэрозольных потоков в воздухе.....	157
Ковалёва С.Ф. О возможности управления положением точки генерации суперконтинуума филаментированных фемтосекундных импульсов на трассе зондирования.....	159
Корнев Ю.С., Гущина О.Н., Ненахов И.С. Сравнительный анализ времени работы алгоритмов измерения доступной полосы пропускания каналов IP-сети в задаче построения системы видеоконференцсвязи	163
Медведенко И.А. Пространственные параметры суперконтинуума филаментированных фемтосекундных импульсов	166
Ни Е.В., Брюханов И.Д. Численное моделирование и разработка лабораторного стенда оптического анализатора параметров микроструктуры дисперсных сред.....	171
Познахарев Е.С. Статистическое моделирование процесса распространения солнечного излучения в системе атмосфера-море	173
Соколов М.В. Особенности динамики наведенных потенциалов поверхности головы человека в градиентном магнитном поле	175
Соколов М.В. Закономерности динамики электрической активности мозга в градиентном магнитном поле	178
Тарасов А.А. Диэлектрические свойства древесины в диапазоне 0,1–0,3 ТГц.....	181
Щеглова А.С. Электромагнитный отклик мягких частей растительности на СВЧ.....	181

АНТЕННЫ И РЕШЕТКИ. МАТЕРИАЛЫ И ПРИБОРЫ МИКРО-, ОПТО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

Рассеяние электромагнитных волн нелинейным объектом

А.Г. Быков, Д.В. Лосев, Д.С. Бардашов

Томский государственный университет, г. Томск, Россия

bykov_a_g@mail.ru

Для адекватного описания эффектов рассеяния излучения от неоднородностей с нелинейными свойствами необходимо исходить из системы уравнений Максвелла или эквивалентного ей интегрального уравнения [1]. Нелинейные свойства объекта будем описывать с помощью зависимости электрической индукции

$$D_1(E) = \varepsilon_0 \varepsilon(E) E$$

и плотности тока проводимости

$$j_1(E)$$

от величины приложенного поля.

Ограничимся случаем, когда нелинейность равномерно распределена внутри малого цилиндра с центром в точке r_1 , радиусом a и высотой h . Пренебрегая эффектами деполяризации излучения, ограничимся скалярным приближением. Наиболее интересные эффекты наблюдаются при рассмотрении излучения вблизи поверхности нелинейного объекта. В дальнейшем излучение распространяется в линейной среде с временной задержкой и сферической расходимостью, характерными для объектов малых размеров.

Процессам взаимодействия излучения с нелинейным объектом можно сопоставить эквивалентную схему, приведенную на рис. 1. Здесь

$$u_0(t) = E_0(r_1, t) \cdot h$$

– ЭДС, наведенная падающим излучением с напряженностью $E_0(r_1, t)$;

$$u(t) = E(r_1, t) \cdot h \quad \text{и} \quad I(u) = j_1(E) \cdot S$$

– падение напряжения и ток на нелинейном элементе; S – площадь по-

перечного сечения. Нелинейные диэлектрические свойства описываются нелинейной емкостью, определяемой соотношениями

$$SD_1 = C(u)u,$$

$$C(u) = \varepsilon_0 \varepsilon(u) S / h.$$

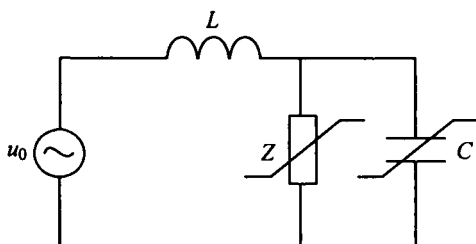


Рис. 1. Эквивалентная схема, соответствующая задаче рассеяния поля сосредоточенным нелинейным объектом

Соответствующее рис. 1 дифференциальное уравнение имеет вид

$$u(t) = u_0(t) - L \cdot \frac{\partial}{\partial t} I(u(t)) - L \cdot \frac{\partial^2}{\partial t^2} [C(u(t))u(t)],$$

где величина

$$L = \frac{\mu_0 h}{4\pi} \left(1 + 2 \ln \left(\frac{h}{a} \right) \right),$$

совпадающая с выражением для индуктивности тонкого провода [1], имеет смысл индуктивности, наведенной на нелинейном объекте.

Для нахождения зависимости $u(t)$ применялась итерационная процедура с начальным приближением $u_0(t)$. В качестве модели нелинейного объекта был использован германиевый диод с вольт-амперной

$$I(u) = I_0 (e^{\beta u} - 1)$$

и вольт-фарадной $C(u) = \gamma (u_k - u)^{-1/2}$

характеристиками [2]. Воздействующий сигнал имел вид

$$u_0(t) = U_0 e^{-\alpha t^2} \sin \omega_0 t.$$

Результаты численного моделирования временной зависимости $u(t)$ и ее спектра представлены на рис. 2, где пунктиром представлен исходный импульс, а сплошной кривой – рассеянный нелинейностью. Все зависимости нормированы на максимум сигнала.

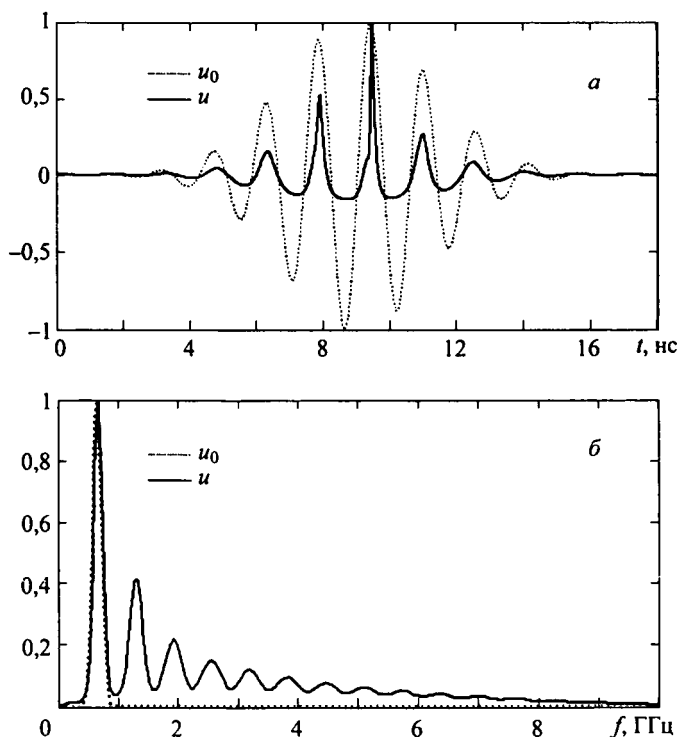


Рис. 2. Сигнал и его спектр

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бардашов Д.С., Лосев Д.В. Рассеяние электромагнитных волн сосредоточенной нелинейностью // Изв. вузов. Физика. – 2006. – № 3. Приложение. – С. 99–100.
2. Гаман В.И. Физика полупроводниковых приборов: учебное пособие. – Томск: Изд-во НТЛ, 2000. – 426 с.

Обработка геолокационных данных песчаных земных покровов

В.В. Генералов, Б.Н. Шарафиев

*Научные консультанты – канд. физ.-мат. наук **А.С. Запасной**,
канд. физ.-мат. наук **А.В. Клоков**,
Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

valeragicha@mail.ru

В настоящее время возник большой интерес к системам подповерхностного зондирования, позволяющим проводить неразрушающие подземные исследования в промышленных, археологических, а также исторических целях, например для изучения геологических разрезов с определением мощностей слоев и типов пород [1]; определения глубины и профиля дна рек и озер и т.д. [2, 3]. Наиболее эффективным средством для достижения этих целей является система подповерхностного радиозондирования с помощью георадара [4]. В связи с этим встал вопрос быстрой и качественной обработки данных, полученных с помощью георадара [5].

Целями данного исследования были: проверка работы георадара в песке; получение геолокационных данных; обработка этих данных программным обеспечением Geoscan32, предоставляемым производителем георадара, и методом, предлагаемым авторами; определение степени применимости к тем или иным задачам; проверка заявленной производителем разрешающей способности. Авторский метод обработки данных основан на методе дифракционного суммирования с применением математического пакета Mathcad. Все измерения проводились при помощи георадара «ОКО-2» с антенным блоком АБ-1700.

На рис. 1 представлена геометрия эксперимента. В качестве зондируемых целей служили два металлических объекта цилиндрической формы. Измерения проводились на различных глубинах при разных расстояниях между объектами. На рис. 2 в качестве примера приведены радиолокационные трассы и результаты их обработки двумя методами. В первом случае обработка геолокационных данных проводилась при помощи метода, предлагаемого производителем, в программе Geoscan32, а во втором – с использованием программы, предлагаемой авторами.

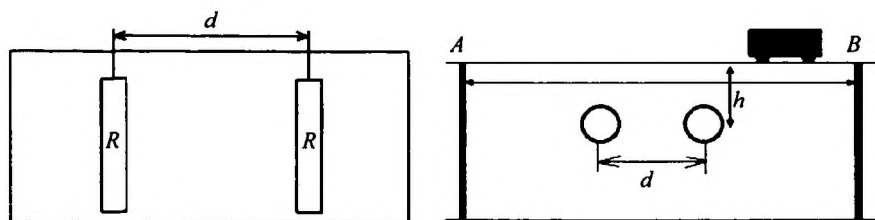


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

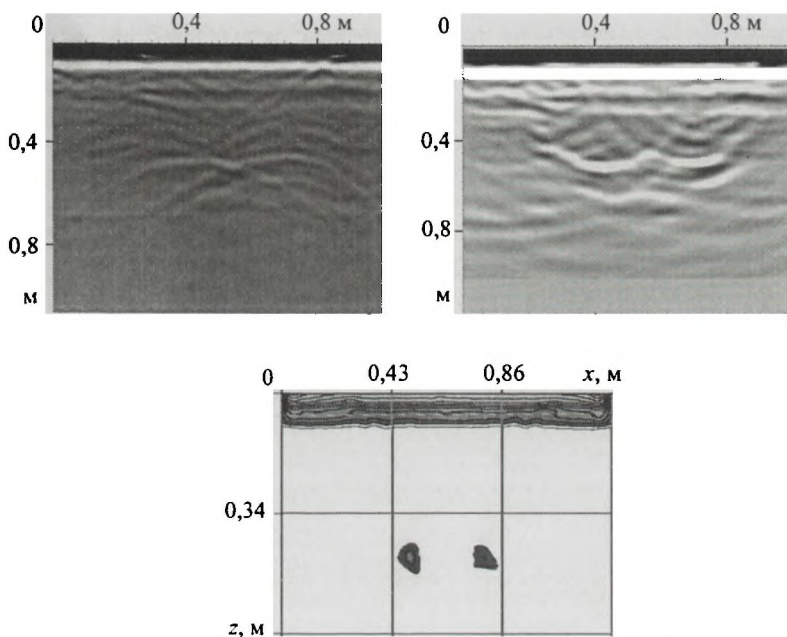


Рис. 2. Результаты обработки экспериментальных данных

По результатам эксперимента можно сделать вывод, что программа обработки методом, предлагаемым авторами, точнее определяет глубину залегания и расстояние между объектами, в отличие от программы обработки производителя. Погрешность обоих методов одинакова и составляет 9 %. Также из рис. 2 видно, что на глубине залегания исследуемых объектов более 50 см обработка с применением Geoscan32 не

дает качественных результатов, в то время как программа, использующая метод, основанный на дифракционном суммировании, позволяет определить как глубину залегания, так и расстояние между объектами.

Работа выполнена по программе повышения конкурентоспособности Национального исследовательского Томского государственного университета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кочеткова Т.Д., Запасной А.С., Клоков А.В., Соловьева Т.П., Суляев В.И., Шипилов С.Э., Якубов В.П. Использование георадарных измерений для изучения почвенных разрезов // Материалы VII Всерос. науч.-технич. конф. «Радиолокация и радиосвязь» 25–27 ноября 2013 г., Москва. – М.: Издание JRE, 2013. – С. 63–67.
2. Сколник М. Справочник по радиолокации / под ред. К.Н. Трофимова. – Т. 1. – М.: Сов. радио, 1976. – 456 с.
3. Вопросы подповерхностной радиолокации. Коллективная монография. Сер. «Радиолокация» / под ред. А.Ю. Гринёва. – М.: Радиотехника, 2005. – 416 с.
4. Изюмов С.В., Дручинин С.В., Вознесенский Ф.С. Теория и методы георадиолокации: учеб. пособие. – М.: Горная книга; Изд-во МГУ, 2008. – 196 с.
5. Клоков А.В., Запасной А.С., Шипилов С.Э., Якубов В.П. Технология повышения разрешающей способности типовых георадаров // Изв. вузов. Физика. – 2013. – № 8/2 – С. 174–176.

Автоматизация численной аппроксимации экспериментальных зависимостей коэффициента поглощения в кристалле силиката висмута

А.Б. Ералиева, Р.А. Мухамадеев

*Научный руководитель – аспирант Е.С. Худякова,
Томский государственный университет систем управления
и радиоэлектроники, г.Томск, Россия*

Dream_princessa_92@mail.ru

Кристаллы класса силленитов $\text{Bi}_{12}\text{MO}_{20}$ ($M = \text{Si}, \text{Ge}, \text{Ti}$) обладают фоторефрактивными свойствами и находят применение в качестве функциональной среды в устройствах когерентной оптики и динамической голографии [1]. В настоящем сообщении представлены результаты экспериментальных исследований коэффициента поглощения в спектральном диапазоне 490–1000 нм в кристалле силиката висмута (BSO) толщиной 8 мм, подвергнутом последовательной лазерной засветке с длинами волн 532 нм (доза излучения 20 Дж/см²), 655 нм (доза излучения 12 и 96 Дж/см²), а также программной реализации методов численной аппроксимации экспериментальных кривых в рамках теоретической модели примесного поглощения, развитой в работах [1, 2].

Получено, что при данной комбинации воздействий удается получить спектры с максимальным $k_{\max}(\lambda)$ (после облучения светом с длиной волны 532 нм) и минимальным $k_{\min}(\lambda)$ значениями коэффициента поглощения (после облучения светом с длиной волны 655 нм). Экспериментальные спектральные зависимости наведенных изменений в поглощении $\Delta k(\lambda)$, полученные вычитанием $k_{\max}(\lambda) - k_{\min}(\lambda)$, для двух значений дозы засвечивающего излучения с длиной волны 655 нм, показаны на рис. 1. Видно, что величина изменений увеличивается с увеличением дозы засветки. Кривые демонстрируют резонансный характер с максимумами на $\lambda_m = 546, 695, 752$ и 822 нм.

В рамках теоретической модели примесного поглощения, учитывающей вклад как процессов фотовозбуждения электронов в зону проводимости с глубоких донорных центров [1] и внутрицентровых переходов [2], так и краевого поглощения, подчиняющегося правилу Урбаха [3], на языке C# была реализована программная автоматизация аппроксимации полученных экспериментальных зависимостей.

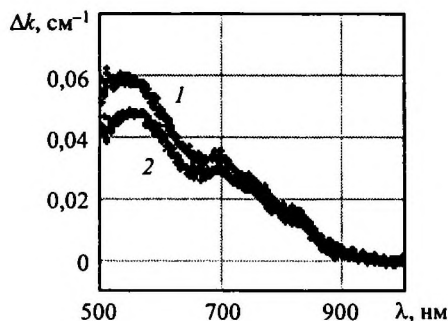


Рис. 1. Спектральные зависимости изменений в оптическом поглощении в кристалле BSO в зависимости от дозы излучения: кр. 1 – для 655 нм доза излучения 20 Дж/см², кр. 2 – для 655 нм доза излучения 12 и 96 Дж/см²

На рис. 2 представлено окно программы с автоматически подобранными параметрами модели.

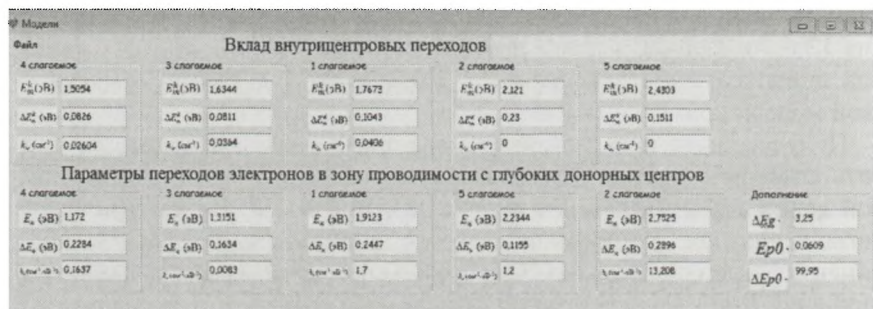


Рис. 2. Результаты вычислений

Минимизация ошибки осуществлялась методом последовательных релаксаций, который заключается в последовательной автоматической подборке случайных параметров в заданном диапазоне и дальнейшей оптимизации каждого из параметров модели в отдельности.

Таким образом, реализованная программа дает возможность автоматически проводить численную аппроксимацию экспериментальных зависимостей коэффициента поглощения, подбирать энергетические параметры примесного поглощения, а также на основе полученных вы-

числений моделировать теоретические зависимости коэффициента поглощения.

Работа выполнена в рамках задания Минобрнауки РФ на 2015 г. и НИР по проектной части госзадания № 3.878.014/ИК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Толстик А.Л., Матусевич А.Ю., Кистенева М.Г. и др. Спектральная зависимость фотоиндуцированного поглощения, наведенного в кристалле $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ импульсным излучением с длиной волны 532 нм // Квантовая электроника. – 2007. – Т. 37. – № 11. – С. 1027–1032.
2. Kisteneva M.G., Akrestina A.S., Shandarov S.M., et al. Photo- and thermoinduced changes of the optical absorption in $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ crystals // J. Holography and Specle. – 2009. – V. 5. – P. 1–6.
3. Уханов Ю.И. Оптические свойства полупроводников. – М.: Наука, 1977. – 368 с.

Расчет электрических характеристик детекторных структур на основе арсенида галлия

А.Д. Зенкова

Научный консультант – **Ю.В. Вячислая**,
Томский государственный университет, г.Томск, Россия

zenkovaanastasiya4@gmail.com

Одним из требований, предъявляемым к материалу рабочих областей полупроводниковых детекторов ионизирующих излучений различного назначения, является высокое удельное сопротивление. Для повышения удельного сопротивления может применяться компенсация – легирование полупроводникового материала примесями, порождающими дополнительные уровни вблизи середины запрещенной зоны [1]. В случае использования метода жидкофазной эпитаксии распределение примеси вдоль слоя оказывается в общем случае неоднородным, что затрудняет прогнозирование свойств структуры в целом.

Для расчета электрических характеристик детекторных структур на основе компенсированного арсенида галлия создан пакет программных модулей на базе Sentaurus TCAD. С его помощью возможно задать трехслойную полупроводниковую структуру, состоящую из подложки *n*-типа, компенсированного слоя, содержащего 2 типа примеси, и дополнительного *p*-слоя. При моделировании компенсированного слоя допустимо варьировать количество и соотношение концентраций атомов примесей: «мелкой» донорной (Sn) и «глубокой» акцепторной (Cr), что позволяет получать необходимые высокие значения удельного сопротивления $\sim (10^8 - 10^9 \text{ Ом}\cdot\text{см})$. Также можно изменять толщину слоев.

Для получения ВАХ и распределения электрического поля вдоль структуры при поданном напряжении совместно решаются уравнение Пуассона и уравнения непрерывности для электронов и дырок. При расчетах учитывается влияние: неполной ионизации атомов глубокой примеси – хрома, рекомбинация свободных носителей через примесный уровень хрома, влияние сильных электрических полей на захват носителей ловушками.

На рис. 1 приведены прямые и обратные ВАХ для различных концентраций хрома в высокоомном слое, на рис. 2 – прямые и обратные ВАХ для структур с заданной концентрацией хрома и различной тол-

шиной высокоомной области. Концентрации атомов Sn в подложке – $2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, в высокоомном слое – $5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, Zn в p -слое – $5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$.

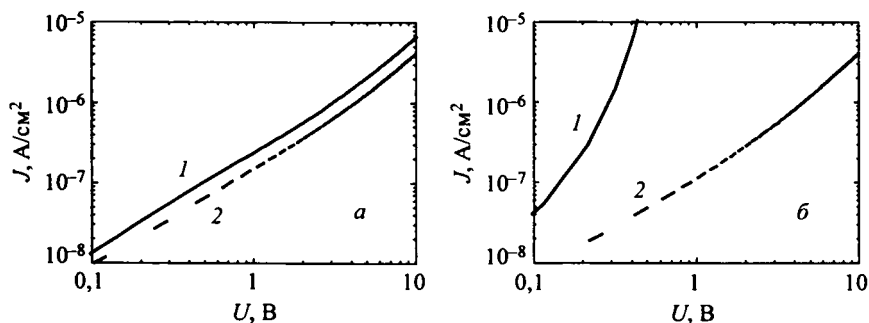


Рис. 1. Прямые (а) и обратные (б) ВАХ структур с различной концентрацией хрома в высокоомном слое $N_{\text{Cr}}, \text{ см}^{-3}$: кр. 1 – $5 \cdot 10^{17}$; кр. 2 – $1 \cdot 10^{18}$

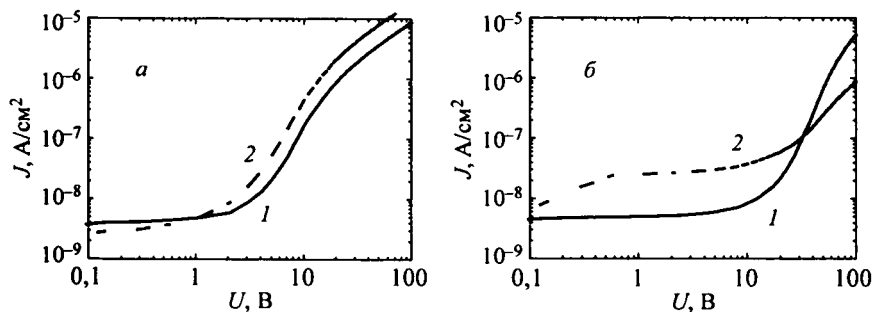


Рис. 2. Прямые (а) и обратные (б) ВАХ структур с концентрацией хрома в высокоомном слое 10^{17} см^{-3} и различной толщиной $h, \text{ мкм}$: кр. 1 – 10; кр. 2 – 120

Созданные программные модули могут использоваться для прогнозирования свойств структур на основе GaAs, компенсированного хромом; быть основой для исследования GaAs-структур, включающих иные примеси; применяться для решения модельных задач в учебном процессе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Толбанов О.П. Детекторы ионизирующих излучений на основе компенсированного арсенида галлия // Вестник ТГУ. – 2005. – № 285. – С. 155–163.

Эффективность лазерной генерации слоев активной среды, допированной наночастицами различной физической природы

М.М. Зиновьев, А.В. Трифонова

*Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук **А.А. Землянов,**
Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

muxa9229@gmail.com, 3170a@mail.ru

В плане создания высокоэффективных активных сред для лазерных микроизлучателей весьма перспективным является направление, связанное с исследованием нанодисперсных активных сред, представляющих собой композиты из лазерно-активных молекул и наночастиц различных материалов. В таких композитах реализуется так называемая безрезонаторная лазерная генерация [1]. Такая генерация развивается в рассеивающих усиливающих средах либо за счет увеличения времени взаимодействия фотонов вторичного излучения с активными молекулами из-за многократного рассеяния на наночастицах, либо в средах с наночастицами, обладающими ярко выраженными плазмонно-резонансными свойствами [2]. В данной работе исследуется возможность реализации еще одного механизма получения низкопороговой генерации в нанодисперсных средах, основанного на существовании вблизи поверхностей агломерированных наночастиц локальных оптических полей повышенной плотности мощности, не связанных с плазмонно-резонансными условиями [1, 2].

Основная часть

В данной работе мы изучили и сравнили возможности реализации низкопороговой генерации в тонких нанодисперсных слоях этанольного раствора лазерного красителя R6G и наночастиц различной физической природы (диэлектрики и металлы). Пороговые характеристики были изучены для наночастиц четырех различных материалов – Al, Ag, TiO_2 , Al_2O_3 . Механизмы формирования лазерной генерации для металлических и диэлектрических наночастиц отличаются по своей природе. Первый основан на существовании вблизи поверхностей агломератов наночастиц оптических полей повышенной плотности мощности, второй – на классическом механизме random-laser [3]. В эксперименте растворы

красителя R6G с наночастицами в кювете толщиной 2 мм возбуждались лазерными импульсами ND:YAG-лазера ($\Delta t \approx 6$ нс, $\lambda \approx 0,53$ мкм). Полученные зависимости интенсивности генерации от энергии накачки представлены на рис. 1. Данные зависимости в первую очередь показывают, что при фиксированной энергии накачки в запороговом режиме равной 4,5 мДж интенсивности генерации растворов с агломератами металлических наночастиц Al, Ag примерно одинаковы, но превышают интенсивности генерации в растворах с агломератами наночастиц диэлектриков в $(3 \pm 0,2)$ раза для Al_2O_3 и в $(9 \pm 0,2)$ раз для TiO_2 . На вставке справа к рис. 1 продемонстрировано, что пороговые энергии излучения накачки для таких растворов имеют практически неотличимые значения.

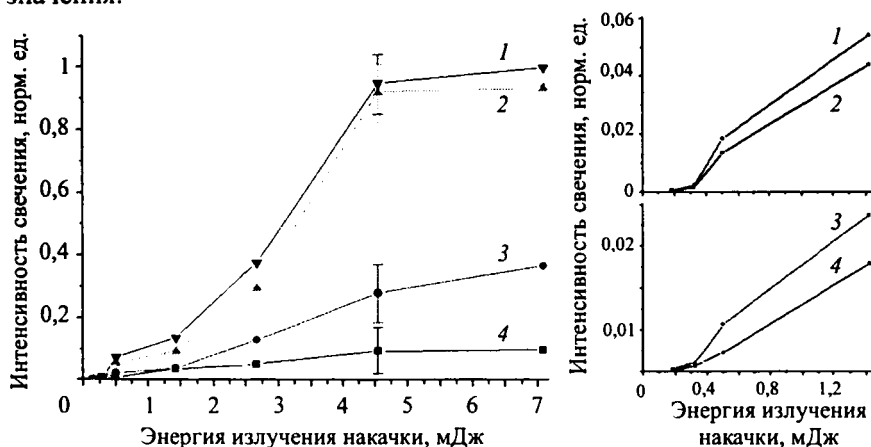


Рис. 1. Спектрально-энергетические характеристики рабочих растворов: кр. 1 – R6G с наночастицами Al; кр. 2 – R6G с наночастицами Ag; кр. 3 – R6G с наночастицами Al_2O_3 ; кр. 4 – R6G с наночастицами TiO_2

Исходя из этого, мы можем сказать, что использование растворов лазерного красителя с металлическими наночастицами, с механизмом усиления, основанным на наличии у таковых локальных полей, является более целесообразным для тонких слоёв. Однако если в работе более важно длительное время работы раствора, то наилучшим вариантом будет использовать наночастицы диэлектрической природы, так как это приводит к увеличению рабочего диапазона, потому что в растворах с металлами при более высоких значениях интенсивности происходит вскипание раствора, что приводит к быстрому его деградации.

Работа выполнена в рамках программы повышения конкурентоспособности Национального исследовательского Томского государственного университета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Sweatlock L.A., Maier S.A., and Atwater H.A.* Highly confined electromagnetic fields in arrays of strongly coupled Ag nanoparticles // *Phys. Rev.* – 2005. – V. 62. – No. 12. – P. 10265–10287.
2. *Олейников В.А., Первов Н.В., Мchedlishvili Б.В.* // *Критические технологии. Мембраны.* – 2004. – № 4 (24). – С. 17–28.
3. *Cao H.* Lasing in random laser // *Waves Random Media. Topical Review.* – 2003. – V. 13. – P. R1–R39.

Плоский рефлектор для спутникового телевидения

А.В. Каменев

Научный консультант – проф., докт. физ.-мат. наук **В.П. Якубов**,
Томский государственный университет, г. Томск, Россия

Ktem94@yandex.ru, Yvlp@mail.tsu.ru

Для спутникового телевидения в настоящее время наибольшее применение получили параболические рефлекторы или вырезки из них [1]. Как правило, трудности их расчета и конструирования компенсируются высоким коэффициентом усиления излучения и отличной фокусировкой в широкой полосе частот. Плоский же рефлектор, работа которого основана на принципе дискретного управления зонами Френеля, также обладает фокусирующей способностью, но обладает известной узкополосностью. Изменение рабочей частоты влечет за собой изменение формы и размеров этих зон. Имея одинаковые параметры для различных частот, параболический рефлектор имеет бесспорное преимущество в качестве фокусировки. Однако с точки зрения конструирования плоскую поверхность получить намного легче и дешевле. Если же стоит вопрос качества, то можно добиться его сохранения при помощи относительно небольшого увеличения размеров рефлектора.

Пусть в свободном пространстве, в заданной декартовой системе координат под некоторым углом α к оси z падает волна с волновым вектором

$$\mathbf{k} = (-k \sin \alpha, 0, -k \cos \alpha),$$

модуль которого $k = 2\pi f/c$ (рис. 1).

Начало координат совмещено с зеркальной точкой ожидаемого фокуса. Отражающая плоскость расположена на расстоянии h от плоскости xy . Будем считать фазовый набег по осе-

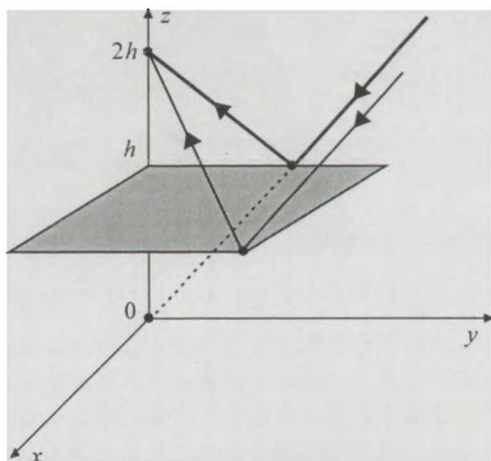


Рис. 1. Геометрия задачи

вой линии рефлектора нулевым: $\varphi_0 = k\mathbf{r}_0 = 0$. Тогда фазовый набег волны, отраженной от произвольной точки рефлектора $\mathbf{r} = (x, y, h)$, будет определяться как

$$\varphi = k\mathbf{r} + k\mathbf{r} = k(\sqrt{x^2 + y^2 + h^2} - x \sin \alpha - h \cos \alpha).$$

Как известно [3], условие

$$\Delta\varphi = \varphi - \varphi_0 = m\pi, \quad m = 0, 1, 2, \dots$$

определяет границы расположения зон Френеля. Четные значения m соответствуют синфазным зонам Френеля, а нечетные значения – противофазным. В общем случае, форма этих зон представляют собой концентрические эллипсы. Если просто устранить вклад в общее поле в точке наблюдения либо синфазных, либо противофазных зон, можно добиться эффекта фокусировки плоским отражателем. Если же еще изменить знак вклада, например противофазных зон, путем рифления поверхности рефлектора (рис. 2), можно добиться усиления эффекта фокусировки и увеличения интенсивности поля в точке фокуса дополнительно в 4 раза. Это и предлагается сделать в работе.

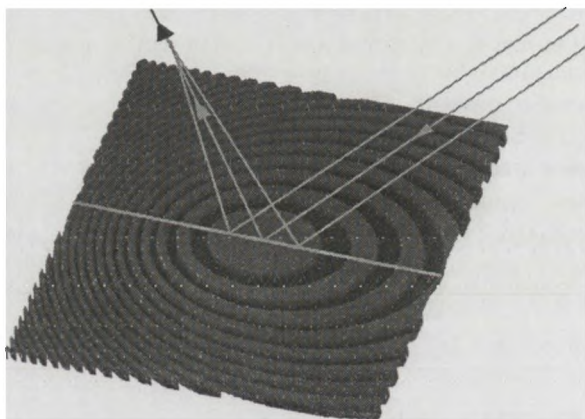


Рис. 2. Профиль рефлектора

Зафиксируем угол падения излучения $\alpha = 0^\circ$. Тогда зоны Френеля примут вид концентрических окружностей. Проведем расчет поля в области фокуса с использованием метода Гюйгенса – Френеля – Кирхгофа:

$$E(\mathbf{r}) = -2 \iint_S E_0(\mathbf{r}_s) w(\mathbf{r}_s) \frac{d}{dz_s} G(\mathbf{r} - \mathbf{r}_s) dS,$$

где $w(\mathbf{r}_s)$ равен 1 и -1 для синфазных и противофазных зон Френеля соответственно, а

$$G(\mathbf{r} - \mathbf{r}_s) = -\exp\{ik\}/4\pi|\mathbf{r} - \mathbf{r}_s|.$$

Приведенная формула представляет собой интегральную свертку и вычисляется с использованием прямого и обратного преобразований Фурье, а также спектрального разложения Вейля для нормальной производной от функции Грина [2]:

$$\frac{d}{dz} G(\mathbf{r}) = \frac{1}{2\pi} \iint \exp(iz\sqrt{k^2 - u^2 - v^2}) \exp\{i(ux + vy)\} du dv.$$

Сравним интенсивности $F = |E(\mathbf{r})|^2$ сфокусированного поля полученного рефлектора с параболическим аналогом радиуса 60 см и с тем же расстоянием до точки фокуса, расположенной на высоте 30 см над плоскостью рефлектора (рис. 3). Видно, что интенсивность поля, отраженного от параболического рефлектора, несколько выше. Возникающая проблема потери усиления решается путем небольшого увеличения размеров плоского рефлектора (рис. 4). Тем самым будет задействовано большее количество зон Френеля. При этом наблюдается даже увеличение интенсивности сфокусированного излучения. Расчет проведен для частоты 12 ГГц.

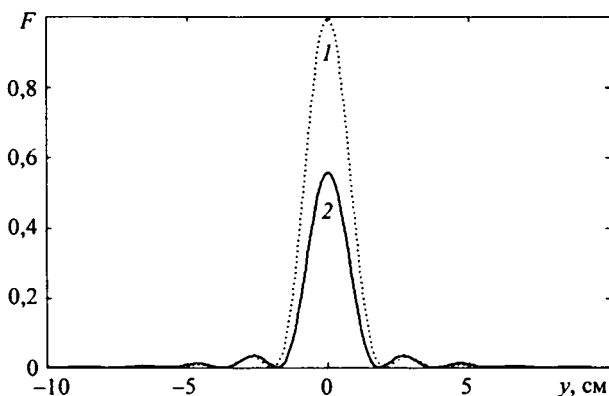


Рис. 3. Распределение интенсивности поля в фокальной плоскости для параболического (кр. 1) и плоского (кр. 2) рефлекторов с размерами 60 см

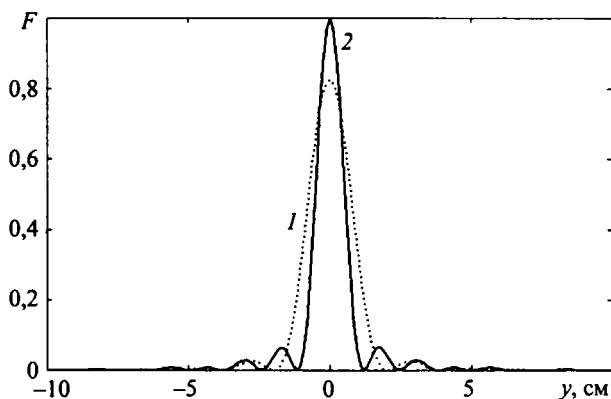


Рис. 4. Распределение интенсивности поля в фокальной плоскости для параболического (кр. 1) рефлектора с диаметром 60 см и для увеличенного до 80 см плоского (кр. 2) рефлектора

В случае использования всего диапазона рабочих частот спутникового телевидения системы «ТРИКОЛОР» качество фокусировки несколько меняется, но остается вполне приемлемым для практического использования (рис. 5). Повысить фокусировку при изменении рабочей частоты можно простым приближением или удалением облучателя вдоль оси фокусировки.

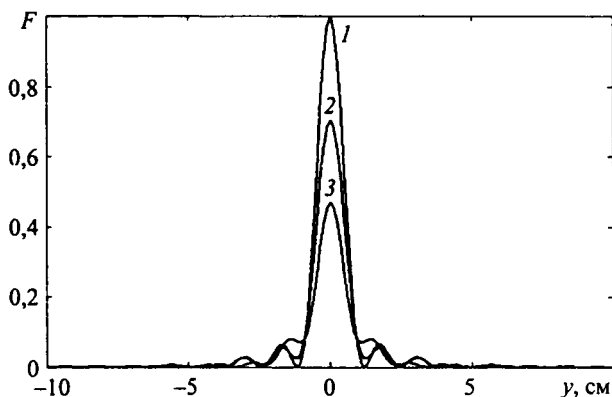


Рис. 5. Фокальное распределение интенсивности поля для различных частот 12 ГГц (кр. 1), 11,7 ГГц (кр. 2) и 12,6 ГГц (кр. 3)

Проведенное исследование показывает перспективность использования плоских рефлекторов для спутникового телевидения, что позволит существенно повысить технологичность и доступность спутникового телевидения за счет понижения себестоимости оборудования, прежде всего рефлектора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Webb G.W., Minin I.V., and Minin O.V.* // IEEE Antennas Propag. Mag. – 2011. – V. 53. – No. 2, April. – P. 77–94.
2. *Локишин Г.Р.* Основы радиооптики. – Долгопрудный: Интеллект, 2009. – 108 с.
3. *Виноградова М.Б., Виноградова М.Б., Руденко О.В., Сухоруков А.П.* Теория волн. – М.: Наука, 1979. – 384 с.
4. *Ахманов С.А., Никитин С.Ю.* Физическая оптика. – М.: Наука, 2004. – 656 с.
5. *Антипов В.Б., Цыганок Ю.И., Шипилов С.Э., Якубов В.П.* // Патент на полезную модель, № 2014146247 от 18 ноября 2014.

Спад квантовой эффективности в структурах на основе InGaN/GaN при фото- и электролюминесценции

В.В. Копьев, И.С. Романов

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук **И.А. Прудаев**,

Лаборатория функциональной электроники РФФ,

Томский государственный университет, г. Томск, Россия

viktor.kopev@gmail.com

Квантовая эффективность светодиодных структур с множественными квантовыми ямами (МКЯ) InGaN/GaN является предметом интенсивных фундаментальных и прикладных исследований. Причиной этого является эффект падения эффективности, проявляющийся в уменьшении внешнего квантового выхода с ростом плотности накачки выше $1-10 \text{ A/cm}^2$, при температуре $T = 300 \text{ K}$, и не связанный с перегревом светодиодных структур. В данной работе представлены результаты анализа падения квантовой эффективности в светодиодных структурах на основе InGaN/GaN при режимах электро- (ЭЛ) и фотолюминесценции (ФЛ) с двумя типами оптической накачки (355 и 405 нм).

Основная часть

Исследования проводились для нескольких структур синего спектрального диапазона. Активная область *n*-типа структуры содержала МКЯ $\text{In}_{0,15}\text{Ga}_{0,85}\text{N/GaN}$ и барьеры толщиной 2,5 и 15 нм соответственно. Толщина барьерного слоя из *p*- $\text{Al}_{0,15}\text{Ga}_{0,85}\text{N}$ составляла 30 нм. Из данной структуры изготавливались планарные светодиоды с омическими контактами Au/Ni и сопротивлением не более $10^{-2} \text{ Ом}\cdot\text{см}^2$. В ходе эксперимента измеряли зависимость внешнего квантового выхода η от тока и напряжения в интервале температур $T = 10-300 \text{ K}$ с использованием криостата фирмы «Janis», источника измерителя Keithley 2635A и осциллографа LeCroy104Xs. Фотолюминесценцию возбуждали импульсным YAG-лазером со средней мощностью 35 мВт (0,2–1 кГц, длительность – 10 нс, 355 нм) и полупроводниковым импульсным лазером (0,2–90 кГц, длительность – 15 нс, импульсная мощность – 4 Вт). Драйвер для полупроводникового лазера был разработан на основе лавинного S-диода [1, 2]. Для повышения плотности мощности лазерного излучения использовалась фокусировка лазерного пятна. Спектры ФЛ измерялись при помощи спектрометра Ocean Optics.

Квантовый выход при $T = 300$ К имеет одинаковые значения (~56–65 %) для режимов ФЛ и ЭЛ. Кроме того, экспериментальные кривые имеют одинаковый вид (рис. 1, а). Следует, что для режима ЭЛ квантовая эффективность при $T = 300$ К в основном описывается АВС-моделью по формуле

$$IQE = \frac{B \cdot n^2}{A \cdot n + B \cdot n^2 + C \cdot n^3}, \quad (1)$$

где A , B , C – коэффициенты рекомбинации Шокли – Рида, излучательной и Оже соответственно; n – стационарная концентрация неравновесных носителей в МКЯ.

При низкой температуре ($T = 10$ К) экспериментальные результаты для режимов ФЛ и ЭЛ сильно различаются (рис. 1, б).

Дополнительный анализ ВАХ показал, что при низких температурах баллистическая утечка электронов из активной области является наиболее вероятным механизмом, который определяет падение эффективности в светодиодах с МКЯ InGaN/GaN [3].

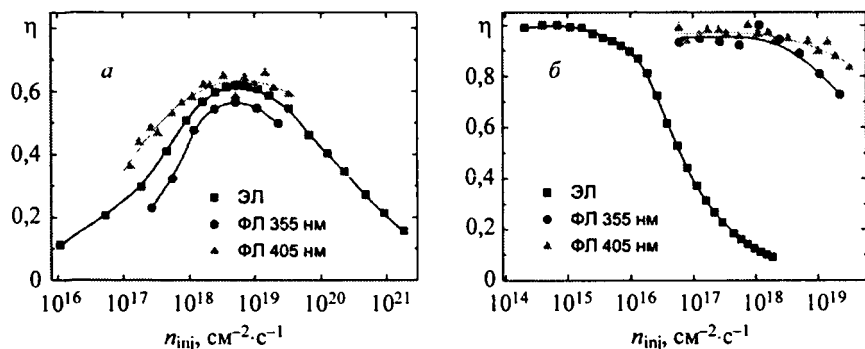


Рис. 1. Зависимости IQE от плотности потока инжектированных носителей при $T = 300$ К (а) и 10 К (б)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Prudaev I.A. and Khludkov S.S. // Russian Physics Journal. – 2009. – V. 52. – P. 163.
2. Prudaev I.A., Khludkov S.S., Skakunov M.S. and Tolbanov O.P. // Instrum. Experiment. Techn. – 2010. – V. 53. – P. 530.
3. Prudaev I.A., Golygin I.Yu., Shirapov S.B., et. al. // Semiconductors. – 2013. – V. 47. – P. 1382.

Спектральные характеристики гетероструктур для светодиодов на основе твердых растворов

Е.Ю. Ломов

Научный консультант – докт. физ.-мат. наук **В.П. Гермогенов**,
Томский государственный университет, г. Томск, Россия

999skorpion@rambler.ru, germ@mail.tsu.ru

В то время как спектры излучения светодиодов на основе $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ и AlGaInP изучены достаточно подробно, в литературе почти отсутствуют сведения о фотоэлектрических свойствах таких светодиодов [1].

В данной работе проводится изучение фотоэлектрических и электролюминесцентных характеристик светодиодных гетероструктур с квантовыми ямами на основе твердых растворов InGaN и AlGaInP .

Исследовались гетероструктуры синего свечения с множественными квантовыми ямами на основе твердого раствора InGaN , а также гетероструктуры желтого и красного свечения с МКЯ на основе твердого раствора AlGaInP .

На рис. 1, а приведены спектры фотоответа и электролюминесценции гетероструктуры на основе $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaN}$. При длинах волн $\lambda < 468$ нм появляется фотоответ с участием уровней квантовых ям. С уменьшением λ фотоэдс растёт, так как увеличивается число генерируемых пар носителей. При $\lambda < 375$ нм фотоответ резко уменьшается из-за поглощения света в верхнем слое $p\text{-GaN}$ гетероструктуры. Заметим, что при $\lambda = 442$ нм на спектре наблюдается изменение наклона, что говорит о двух типах оптических переходов с образованием фотоносителей. Максимум спектра электролюминесценции наблюдается на длине волны 464 нм, что близко к краю спектра фотоответа.

На рис. 1, б приведены спектры фотоответа и электролюминесценции гетероструктуры красного свечения на основе AlGaInP . Спектр фотоответа содержит несколько максимумов, соответствующих различным типам оптических переходов с образованием фотоносителей. В данном случае полоса излучения накладывается на край спектра фотоответа.

Для оценки параметров областей гетероструктур производился расчет спектров фототока гетероструктур. Расчет производился по упрощенной модели: многослойная светодиодная структура заменялась

трехслойной гетероструктурой, в которой узкозонный слой $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ размещался между двумя широкозонными p - и n -слоями GaN и имел толщину, равную суммарной толщине всех квантовых ям реальной гетероструктуры.

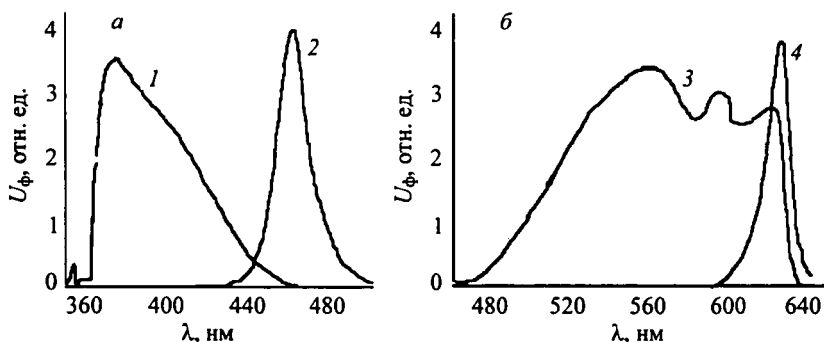


Рис. 1. Спектры фототовета (кр. 1 и 3) и электролюминесценции (кр. 2 и 4) образца синего (а) и желтого (б) свечения

Путем подгона расчетных спектров к экспериментальным был определен ряд параметров светодиодных гетероструктур и квантовых ям.

Эффективная ширина запрещенной зоны твердых растворов в квантовых ямах гетероструктур синего, желтого и красного свечения составляла соответственно 2,678; 2,105 и 1,910 эВ.

По периоду интерференционных максимумов, наблюдавшихся на спектре фототовета, определена полная толщина гетероструктуры на основе InGaN, которая составила 5 мкм. Определены типы оптических переходов, проявляющихся в спектрах фототовета, и оценены высоты барьеров для электронов и дырок в квантовых ямах InGaN.

Показано, что в гетероструктурах на основе AlGaInP переходы электронов при излучении и поглощении фотонов происходят с участием одних и тех же энергетических уровней. Однако принадлежат ли оба эти уровня квантовой яме или только один из них, пока установить не удалось.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shin D.-S., Lee J.-I., Shim J.-I. Systematic Analysis of the Photocurrent Spectroscopy on InGaN/GaN Blue Light-Emitting Diodes // IEEE J. Quantum Electron. – 2013. – V. 49. – No. 12. – P. 1062–1065.

Термодинамическое моделирование расплавов Ga – Sb, Al – Sb, In – Sb

И.А. Малкова, Е.А. Волгарев

Научный консультант – канд. физ.-мат. наук **Н.И. Ильиных**

Уральский технический институт связи и информатики (филиал)
федерального государственного образовательного бюджетного учреждения
высшего профессионального образования «Сибирский государственный
университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге, Россия

eireenfox@gmail.com, fs4ugin@gmail.com

В настоящее время наибольший научный и практический интерес представляют бинарные соединения типа $A^{III}B^V$, $A^{II}B^{VI}$, $A^{IV}B^{IV}$, которые являются важнейшими материалами полупроводниковой электроники.

Целью настоящей работы является исследование равновесного состава и термодинамических характеристик бинарных расплавов Ga – Sb, Al – Sb, In – Sb в широком интервале температур и составов.

Исследование выполнено с использованием методов термодинамического моделирования (ТМ), программного комплекса TERRA, модели идеальных растворов (ИР) и модели идеальных растворов продуктов взаимодействия (ИРПВ) [1, 2] в исходной среде аргона при общем давлении 10^5 Па, области температур и составов, соответствующей жидкому состоянию согласно [3]: система AlSb: $T = 1300\text{--}1700$ К, системы Ga – Sb, In – Sb: $T = 1000\text{--}1600$ К, $0 \leq x_{\text{Ga(In, Al)}} \leq 1$, где $x_{\text{Ga(In, Al)}}$ – исходное содержание галлия (индия, алюминия) в расплаве (мол. доли). При моделировании учитывались термодинамические функции следующих элементов и соединений: газообразных Ga, Sb, In, Al, Sb₂, Sb₃, Sb₄, In, Al, Al₂, Ar⁺, Ga⁺, In⁺, Al⁺ и конденсированных Ga, Sb, Al, In, InSb, AlSb и GaSb.

На рис. 1, а представлены концентрационные зависимости содержания компонентов расплавов Ga – Sb при различных температурах. Аналогичные зависимости наблюдаются для расплавов Al – Sb и In – Sb. Установлено, что во всех исследованных расплавах наблюдаются отрицательные отклонения от закона Рауля, что обусловлено наличием ассоциатов. Максимальные концентрации ассоциатов в расплавах наблюдаются при эквимольных соотношениях элементов, характерных для образования соединений в соответствии с диаграммами состояния [3].

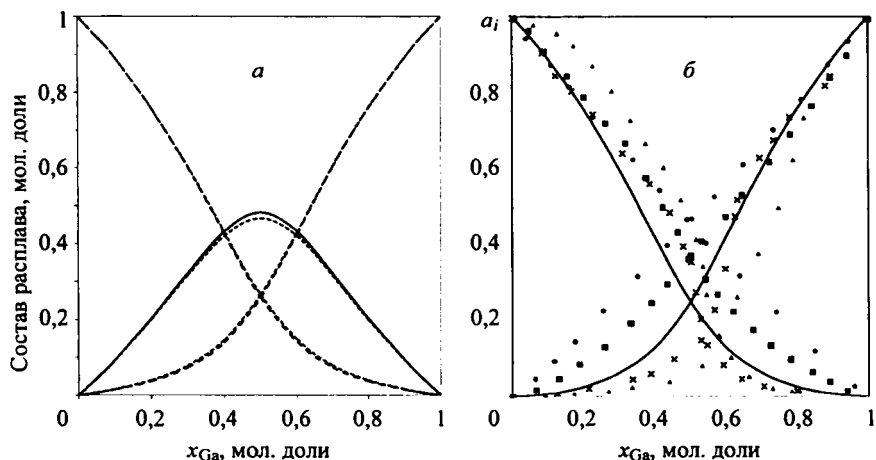


Рис. 1. Концентрационные зависимости содержания компонентов и активностей компонентов расплавов Ga – Sb при различных температурах (а): $T = 1000$ К (---); $T = 1400$ К (- · - ·); б – данные работ: ■ – [4] при $T = 1003$ К; ● – [5] при $T = 1003$ К; × – [6] при $T = 988$ К; ▲ – [7] при $T = 1023$ К; сплошная линия – наши расчеты при $T = 1000$ К

На рис. 1, б представлены концентрационные зависимости активностей компонентов (a_i) расплавов Ga – Sb по результатам настоящей работы и авторов [4–7]. Сравнение значений a_i , полученных в настоящей работе, с литературными данными показывает, что для системы Ga – Sb существует достаточно хорошее согласование a_{Sb} в области концентраций галлия 0–0,5, a_{Ga} – в области концентраций 0,5–1,0 [4, 5] и удовлетворительное согласование с данными авторов [6, 7].

Полученная информация позволяет прогнозировать свойства изделий из различных материалов, открывает дополнительные возможности для управления процессом получения и формирования продукта с определенными качественными показателями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ватолин Н.А., Моисеев Г.К., Трусов Б.Г. Термодинамическое моделирование в высокотемпературных неорганических системах. – М.: Металлургия, 1994. – 353 с.
2. Трусов Б.Г. Программная система моделирования фазовых и химических равновесий при высоких температурах // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. – 2012. – Спец. вып. 2: Программная инженерия. – С. 240–249.

3. *Massalski T.B.* Binary Alloy Phase Diagrams // Am. Soc. Metals. Metals Park. Ohio. – 1986. – V. 1; 1987. – V. 2. – 2224 p.
4. *Anderson T.J.* Thermodynamics of solid and liquid group III-V alloys. – Ph. D. thesis, Lawrence Berkeley Laboratory, 1980. – 292 p.
5. *Yazawa A., Kawashima T., and Itagaki K.* Measurements of Heats of Mixing in Liquid Antimony Binary Alloys // J. Japan Inst. Metals. – 1968. – V. 32. – No. 12. – P. 1288–1293.
6. *Яценко С.П., Данилин В.Н.* К вопросу о связи термодинамических свойств и вязкости жидких сплавов // Теплофизические свойства жидкостей: сб. – М.: Наука, 1970. – С. 120–124.
7. *Gerasimenko L.N., Kirichenko I.V., Lozhkin L.N., and Morachevskii A.G.* Zashchitn. Metal. i Oksidnye Pokrytia, Korrozyz Metal. i Issled. v Obl. Elektrokhim., Akad. Nauk SSSR, Otd. Obshch. i Tekhn. Khim., Sb. Statei, 1965. – P. 236.

Влияние многократных переотражений на фокусировку излучения плоской линзой из метаматериала

А.С. Мironъчев

*Научный консультант – докт. физ.-мат. наук В.П. Якубов,
Томский государственный университет г. Томск, Россия*

mironchev42@mail.ru

Важным приложением использования метаматериалов является изготовление линз, с помощью которых возможно превзойти дифракционный предел по пространственному разрешению в радиоволновой томографии [1]. В большинстве работ, связанных с прохождением волн через слой метаматериала, рассматриваются идеальные материальные параметры (показатель преломления $n = -1$) или близкие к ним. В реальных условиях очень сложно добиться такого значения показателя преломления, неизбежно и поглощение слоем. В связи с этим существует необходимость рассмотрения случая фокусировки электромагнитного излучения плоским слоем метаматериала с произвольным показателем преломления.

Пусть в свободном пространстве в декартовой системе координат перпендикулярно оси z расположен плоскопараллельный однородный слой толщиной d . В полупространстве $z < 0$ с показателем преломления $n = 1$ (воздух) на расстоянии h расположено два точечных источника. Показатель преломления $n = \sqrt{\epsilon\mu}$ такого слоя вводится так же, как и для обычных диэлектриков, но при этом для метаматериала $\text{Re}(\epsilon) \leq 0$, $\text{Re}(\mu) \leq 0$. Единственным требованием при извлечении квадратного корня является условие физической реализуемости $\text{Im}(\epsilon) > 0$, $\text{Im}(\mu) > 0$ [2]. Коэффициент отражения горизонтально поляризованного излучения от границы раздел полупространств «воздух – диэлектрик» соответственно имеет вид

$$R_{\Gamma} = \frac{\kappa_{0z} - \kappa_{1z}/\mu}{\kappa_{0z} + \kappa_{1z}/\mu},$$

где $\kappa_{0z} = \sqrt{\kappa^2 - \kappa_x^2 - \kappa_y^2}$ – вертикальная компонента волнового вектора

отраженной волны, а $\kappa_{1z} = \sqrt{\kappa^2 \varepsilon \mu - \kappa_x^2 - \kappa_y^2}$ – вертикальная компонента волнового вектора в слое.

При расчете фокусирующих свойств используем формулу Вейля для разложения сферической волны от источников излучения на плоские волны [3]. На рис. 1 представлен результат расчета для слоя метаматериала с показателем преломления $n = -2 + j0,01$. Источники разнесены на длину волны излучения равную 10 см. Расстояние от плоскости источников до границы метаматериала 4 см. Толщина слоя по результатам расчета составляет 18 см.

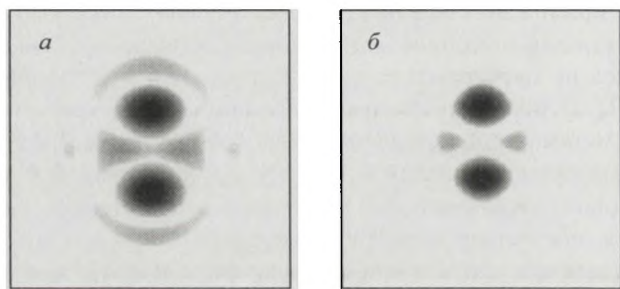


Рис. 1. Фокусировка двух точечных источников на границе слоя метаматериала без учета (а) и с учетом (б) многократных переотражений в слое

Из рис. 1 видно, что при учете многократных переотражений фокусировка осуществляется заметно лучше.

Таким образом, в ходе работы проведено исследование влияния многократных переотражений в слое метаматериала при формировании изображения на разделе границ метаматериал – свободное пространство. Показано, что многократные переотражения вносят существенный вклад в сфокусированный волновой фронт.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Якубов В.П., Шипилов С.Э., Суханов Д.Я., Клоков А.В. Радиоволновая томография: достижения и перспективы. – Томск: Изд-во НТЛ, 2014. – 280 с.
2. Мironьчев А.С., Горст А.В., Якубов В.П. Многократные переотражения в слое метаматериала // Изв. вузов. Физика. – 2014. – Т. 57. – № 9/2. – С. 84–88.
3. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах. – М.: Наука, 1973. – 343 с.

Радарное измерение торфяных залежей

А.С. Мироньчев

Научные консультанты – докт. физ.-мат. наук **В.П. Якубов¹**,
канд. физ.-мат. наук **А.В. Клоков¹**, канд. физ.-мат. наук **Е.А. Дюкарев²**

¹Томский государственный университет г. Томск, Россия

²Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН

mironchev42@mail.ru

Оптимизация природопользования требует представления о количественных и качественных характеристиках биологических ресурсов, вовлекаемых в хозяйственную деятельность, о тенденциях их развития, обусловленных причинами естественного и антропогенного происхождения. Болотообразовательный процесс является неотъемлемой частью динамики таежных экосистем. Из современных естественных процессов он является наиболее значимым для развития всего комплекса природной среды, включая трансформацию рельефа, гидрологических условий, почвенного и растительного покрова и других компонентов таежной биоты.

Цель работы заключается в ландшафтно-экологическом анализе болотообразовательного процесса на примере олиготрофного болота, расположенного неподалеку от поселка Тимирязево (Томский район, Томская область). Для оценки глубины торфяной залежи и высоты снежного покрова использовался георадар ОКО-2. Результаты, полученные георадаром, верифицировались по данным контактных измерений глубины торфа и снегомерной съемки.

Перемещение антенного блока по траектории зондирования производилось с использованием снегохода. Локатор соединялся со снегоходом мягкой сцепкой. Такое решение существенно упрощало перемещение геолокатора и позволяло без нарушения снежного покрова двигаться по траектории зондирования со скоростью до 3 м/с.

Для повышения контрастности радарограммы следует учесть экспоненциальное ослабление излучения с глубиной при проникновении в среду исследования. Зондируемая среда содержит влагу, которая вызывает ослабление радиосигналов с глубиной. Это можно сделать лишь в среднем для фоновой среды. Последовательность операций следующая [1]: при каждом положении геолокатора временные записи рассеянных

сигналов преобразуются в амплитуды аналитического сигнала, а затем усредняются по всем положениям.

На рис. 1, *а* приведены данные зондирования с учетом коррекции экспоненциального ослабления, а на рис. 1, *б* дано сопоставление радарных данных о рельефе дна (сплошная линия) и контактных измерений глубины слоя торфа в соответствующих точках трассы зондирования.

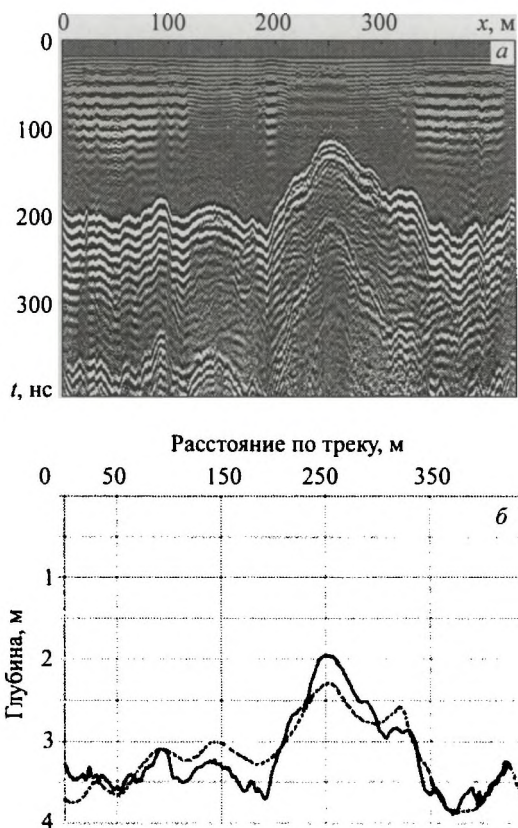


Рис. 1. Радарный профиль трассы зондирования болота (*а*) и профиль торфяного дна по радарным и контактным измерениям (пунктир) (*б*)

На рис. 1, *а* отчетливо виден характерный рельеф минерального дна. Так, на длине пути от 210 до 320 м и времени задержки от 120 до 180 нс

можно увидеть пик, который соответствует рельефу дна болота. Сильное отражение на расстоянии от 0 до 100 м и такое же отражение на расстоянии от 320 до 400 м и глубине, соответствующей времени от 50 до 130 нс, говорит о незамерзшей воде в слое торфа.

На рис. 1, б приведено сопоставление данных бесконтактного и контактного метода измерений глубины торфа, наблюдается достаточно хорошее соответствие результатов измерений.

Таким образом, проведенное исследование показало высокую корреляцию обнаруженных особенностей структуры болота «Тимирязевское» по данным геолокационных и контактных измерений. Работа выполнена по программе повышения конкурентоспособности НИ ТГУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Якубов В.П., Шипилов С.Э., Суханов Д.Я., Клоков А.В. Радиоволновая томография: достижения и перспективы. – Томск: Изд-во НТЛ, 2014. – 280 с.

Характеристики сенсоров ацетона на основе тонких пленок диоксида олова в режиме термоциклирования

Т.А. Михайлов

*Научный руководитель – ведущ. инженер Л.С. Хлудкова,
Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

timofeu@mail2000.ru

В последнее время все больший интерес вызывают методы ранней диагностики заболеваний, основанные на анализе выдыхаемого человеком воздуха. Установлено, что некоторые газы, содержащиеся в выдыхаемой смеси, могут служить биомаркерами ряда заболеваний. Так, например, в выдохе больных сахарным диабетом 1-го типа преобладает ацетон, концентрация которого составляет от единиц до нескольких десятков ppm. Перспективным материалом для разработки сенсоров следовых концентраций ацетона являются тонкие пленки металлооксидных полупроводников. Данная работа посвящена исследованию характеристик сенсоров ацетона на основе тонких нанокристаллических пленок диоксида олова с различными типами катализаторов, работающих в режиме термоциклирования.

Плёнки SnO_2 толщиной 100 нм были получены магнетронным распылением в кислородно-аргонной плазме мишени из сплава $\text{Sn}+\text{Sb}$ (0,49 ат.%). В качестве подложек использовались пластины сапфира толщиной 150 мкм. Контакты к слоям диоксида олова, а также нагреватель на обратной стороне подложки формировали напылением платины с последующей фотолитографической гравировкой до нанесения пленок диоксида олова. Исследовались сенсоры с двумя типами катализаторов. В сенсорах первого типа в качестве катализатора использовались мелкодисперсные слои палладия и платины, нанесенные на поверхность SnO_2 . В сенсорах второго типа каталитические добавки никеля и золота вводились в объем пленок, а на поверхность SnO_2 напылялся сверхтонкий слой золота.

Для исследований электрических и газочувствительных свойств сенсоры помещали в камеру объемом 1 л, снабженную вентилятором, прокачивали через нее чистый воздух, после чего камеру герметизировали. При помощи шприц-дозатора «Hamilton» в камеру подавали необходи-

мый объем паров ацетона. За отклик сенсора принимали отношение проводимости G в воздушной среде, содержащей пары ацетона, и проводимости в чистом воздухе G_0 . Для реализации режима термоциклирования использовался автоматизированный измерительный стенд, позволяющий регистрировать $G(t)$ через интервал времени 0,1 с и перестраивать длительность циклов нагрева и охлаждения в широком диапазоне температур.

При работе сенсоров в режиме термоциклирования периодически осуществлялся резкий нагрев до температуры $T_2 = 400^\circ\text{C}$ и затем резкое охлаждение до температуры T_1 . В цикле нагрева на поверхности слоя диоксида олова преобладает атомарная форма хемосорбированного кислорода, отличающегося высокой химической активностью. При резком охлаждении сенсора до $T_1 < 200^\circ\text{C}$ поверхностная плотность хемосорбированного атомарного кислорода не успевает заметно уменьшиться. В то же время с понижением температуры возрастает вероятность адсорбции газовых молекул на поверхности диоксида олова. Вследствие этого отклик сенсоров G/G_0 на воздействие паров ацетона, измеренный в конце периода охлаждения, в несколько раз выше, чем в конце периода нагрева, при этом наблюдается зависимость G/G_0 от температуры в цикле охлаждения. С уменьшением T_1 от 200 до 50°C для обоих типов сенсоров величина отклика возрастает в несколько раз. Исследования зависимости отклика сенсоров от длительности циклов охлаждения t_1 и нагрева t_2 проводились для режима термоциклирования с $T_1 = 50^\circ\text{C}$ и $T_2 = 400^\circ\text{C}$. Установлено, что для сенсоров первого типа уменьшение t_2 приводит к увеличению отклика, тогда как для сенсоров второго типа величина G/G_0 растет при увеличении t_2 и уменьшении t_1 . Максимальные значения отклика наблюдаются при $t_1 = 3$ с, $t_2 = 2$ с для сенсоров первого типа и $t_1 = 3$ с, $t_2 = 12$ с для сенсоров второго типа. Измеренные при этих режимах термоциклирования концентрационные зависимости отклика сенсоров на ацетон приведены на рис. 1. Кривые 1 и 2 получены при измерениях в цикле нагрева для сенсоров соответственно первого и второго типов, кривые 3 и 4 – при измерениях в цикле охлаждения также для сенсоров первого и второго типов. Величина отклика в цикле охлаждения при воздействии 1 ppm ацетона для сенсоров с катализатором Pt/Pd в 2 раза больше, чем для сенсоров с введенными в объем добавками Ni и Au и составляет $G/G_0 = 3,8$. Таким образом, в цикле охлаждения сенсоры обладают высокой чувствительностью, позволяющей обнаруживать пары ацетона на уровне 1 ppm.

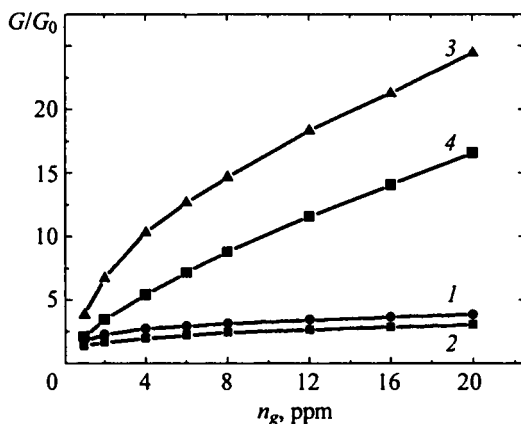


Рис. 1

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Guo D., Zhang D., and Zhang L. Sparse representation-based classification for breath sample identification // *Sensors and Actuators B.* – 2011. – V. 158. – P. 43–53.
2. Righettoni M., Tricoli A., and Pratsinis S.E. Si:WO₃ sensors for highly selective detection of acetone for easy diagnosis of diabetes by breath analysis // *Anal. Chem.* – 2010. – No. 82. – P. 3581–3587.
3. Liu Li, Zhang Yu, Wang Guoguang, Li Shouchun, and Wang Lianyuan. High toluene sensing properties of NiO–SnO₂ composite nanofiber sensors operating at 330°C // *Sensor and Actuators B.* – 2011. – V. 160. – P. 448–454.
4. Волькенштейн Ф.Ф. Электронные процессы на поверхности полупроводников при хемосорбции. – М.: Наука, 1987. – 432 с.
5. Гаман В.И. Физика полупроводниковых газовых сенсоров: монография. – Томск: Изд-во НТЛ, 2012. – 112 с.

Исследование и разработка сверхширокополосного радара для обнаружения объектов за стенами

Э.С. Некрасов

*Научный консультант – канд. физ.-мат. наук Е.В. Балзовский,
Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

a001sd@gmail.com, tduty5@mail.ru

В последнее время активно развивается радиолокация малого радиуса действия для обнаружения объектов за оптически непрозрачными препятствиями с использованием сверхширокополосных (СШП) импульсов. Зондирование с помощью биполярных импульсов длительностью 0,5 нс позволяет обеспечить высокое пространственное разрешение для объектов за препятствиями из легких стройматериалов [1].

Существенным информационным признаком при распознавании зондируемых объектов является поляризационная структура (ПС) отраженных импульсов. Поэтому необходимо регистрировать одновременно две ортогональные компоненты отраженных импульсов с минимальными искажениями.

Для построения сканирующей приемной антенной решетки используются управляемые линии задержки (УЛЗ) [2], вносящие контролируемый временной сдвиг импульсов, принимаемых каждым антенным элементом.

Основная часть

Внешний вид двухполяризационной приемной СШП антенной решетки приведен на рис. 1. Антенными элементами линейной решетки являются четыре скрещенных активных диполя [3], прикрытые пенополистиролом 1. Каждый скрещенный диполь имеет выход в виде двух симметричных линий, прикрытых поглотителем 2. Для выделения противофазных компонент по каждой поляризации применены СШП симметраторы 3. Далее сигналы поступают на две четырехканальные УЛЗ 4 и 5. После сумматоров 6 и 7 пропорциональные напряженностям падающего поля напряжения регистрируются на осциллографе. Для управления линиями задержки предназначен микроконтроллер STM32F4 8.

Исследование ПС отраженного излучения проведено без использования диэлектрической преграды между приемо-передатчиком и объек-

тами. В качестве источника импульсов выступал генератор биполярных импульсов длительности 0,5 нс. Для формирования импульса с линейной поляризацией использовалась 2×2 решетка комбинированных антенн, а в качестве излучателя с эллиптической поляризацией – однозаходная цилиндрическая спиральная антенна.

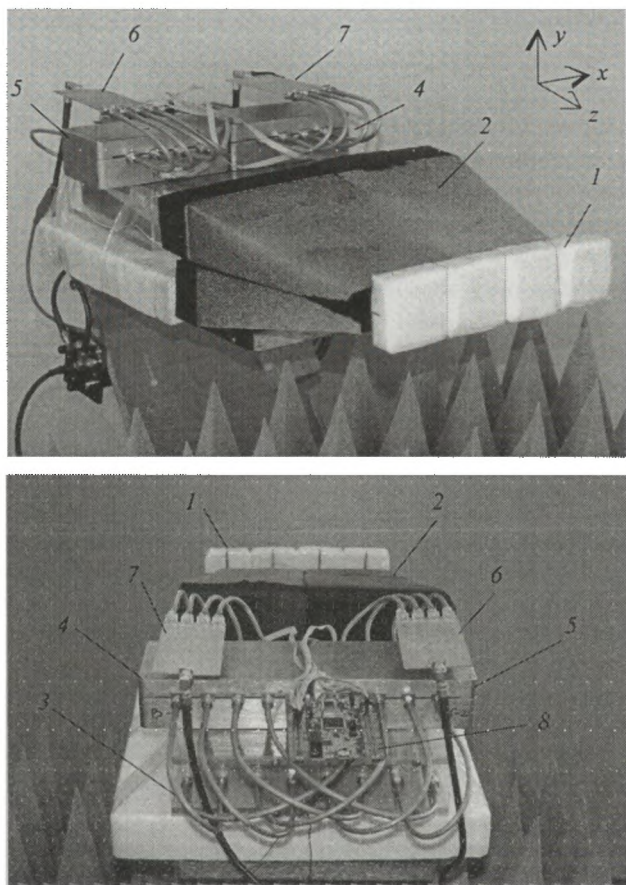


Рис. 1. Конструкция двухполяризационной приемной антенной решетки

В экспериментах применялись металлические пластины, располагающиеся в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны, с возможностью вращения в этой плоскости.

На рис. 2 приведены результаты измерения ПС излучения, рассеянного пластиной размером 180×30 мм, облучаемой импульсами с вертикальной линейной поляризацией. На рис. 3 приведены результаты измерения ПС излучения, рассеянного пластинами размером 275×10 мм (кривые 1) и 275×30 мм (кривые 2), облучаемыми импульсами с эллиптической поляризацией.

Для узких пластин (с относительной шириной $d/\lambda_0 < 0,15$, где $\lambda_0 = 15$ см – длина волны на центральной частоте спектра импульса напряжения) отраженное поле имеет почти линейную поляризацию при любых положениях пластин. Для более широких пластин поляризация

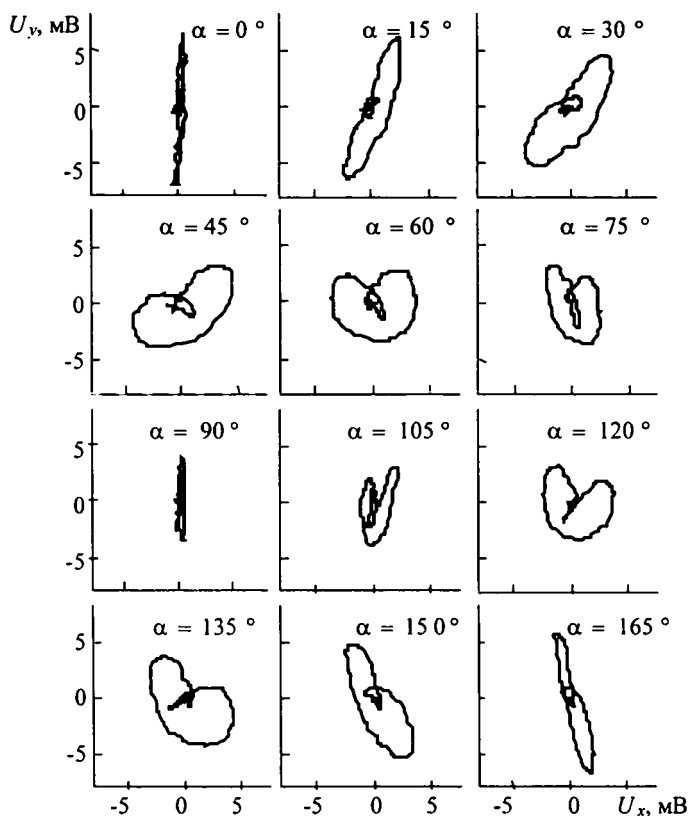


Рис. 2. ПС излучения, отраженного от металлической полосы при облучении импульсами с линейной поляризацией

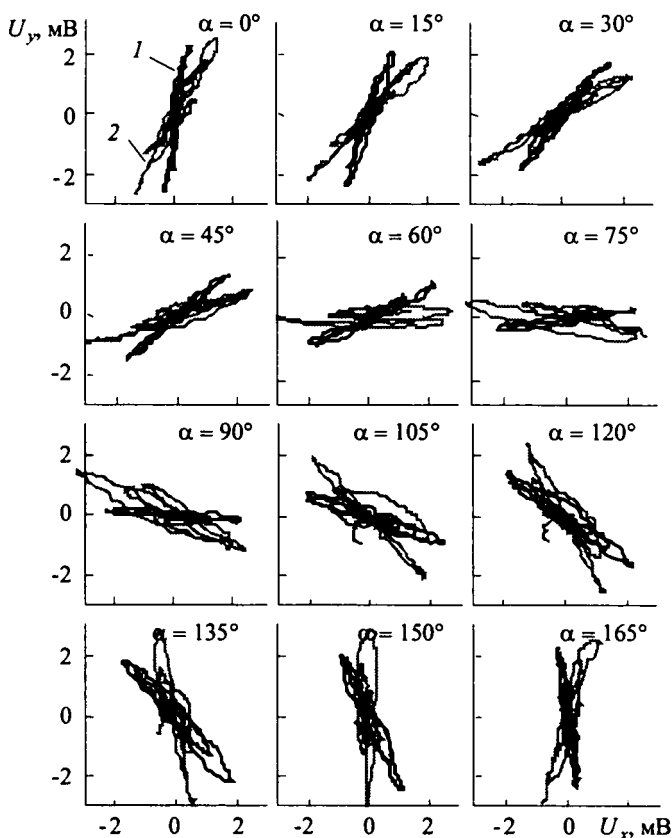


Рис. 3. ПС излучения, отраженного от металлической полосы при облучении импульсами с эллиптической поляризацией: 1 -- $d/\lambda_0 = 0,07$; 2 -- $d/\lambda_0 = 0,2$

отраженного поля отличается от линейной, а для пластин с $d/\lambda_0 > 0,5$ – стремится к круговой.

Разработан макет СШП-радара, позволяющий измерять поляризационную структуру рассеянного на объектах поля. Проведено тестовое зондирование объектов в виде металлических пластин, различным образом ориентированных. Последовательное облучение пластины СШП-импульсами с линейной и эллиптической поляризациями позволяет оценить угол наклона пластины и её ширину.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балзовский Е.В., Кошелев В.И., Шипилов С.Э. Обнаружение металлических объектов за стеной при зондировании сверхширокополосными импульсами // Изв. вузов. Физика. – 2012. – Т. 55. – № 8/2. – С. 24–28.
2. Балзовский Е.В., Буянов Ю.И., Кошелев В.И. Двухполяризационная антенная решетка для регистрации сверхширокополосных импульсов // Радиотехника и электроника. – 2010. – Т. 55. – № 2. – С. 184–192.
3. Балзовский Е.В., Буянов Ю.И., Кошелев В.И., Некрасов Э.С. Двухполяризационная сканирующая антенная решетка для регистрации сверхширокополосных электромагнитных импульсов // Изв. вузов. Физика. – 2013. – Т. 56. – № 8/2. – С. 71–75.

Исследование светодиодов из AlGaInP методикой спектроскопии адмиттанса

В.Л. Олейник

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук **И.А. Прудаев**,
Лаборатория функциональной электроники РФФ,
Томский государственный университет, г. Томск, Россия

dozorx777@gmail.com

В настоящее время четверной расправ AlGaInP широко используется для создания высокоомощных светодиодов красного и жёлтого свечения [1]. Однако их электрические характеристики изучены недостаточно. В данной работе исследовано влияние температуры на зависимости электрической ёмкости и проводимости от частоты тестового сигнала ($C(\omega)$ и $G(\omega)$ соответственно), методика проведения исследования аналогична методике адмиттансной спектроскопии, описанной в работе [2].

Основная часть

Исследовались красные светодиоды с 20 квантовыми ямами (КЯ) и жёлтые с 30 КЯ. Они были изготовлены из AlGaInP методом газофазной эпитаксии из металлоорганических соединений. Экспериментальная установка состояла из криостата замкнутого цикла фирмы «Janis» и RLC-метра Agilent E4980A. Измерения проводились при температурах от 17 до 350 К и частотах от 20 Гц до 2 МГц с постоянным смещением +1 и +1,7 В и тестовым сигналом 40 мВ.

На рис. 1 представлена типичная зависимость ёмкости от частоты для исследуемых светодиодов. На ней обнаружено две ступеньки, смещающиеся по частоте в зависимости от температуры и, предположительно, связанные с эмиссией носителей из КЯ или иных ловушечных центров. Для зависимостей $G(\omega)$ наблюдается серия пиков, которые аналогично зависимостям $C(\omega)$ смещаются под действием температуры.

В методике адмиттансной спектроскопии сдвиг ступеньки с температурой используется для определения положения энергетического уровня дефектов, для этого строят зависимость $\omega(1/T)$, для частот соответствующих половине высоты ступеньки на зависимости $C(\omega)$ [2]:

$$\omega = \omega_0 \exp\left(-\frac{E_A}{kT}\right), \quad (1)$$

где E_A – энергия активации дефекта; k – постоянная Больцмана; T – абсолютная температура; ω_0 – предэкспоненциальный множитель.

Продифференцировав выражение (1) до вида линейного уравнения и найдя тангенс угла наклона на кривой Аррениуса, получим

$$E_A = -B \times k, \quad (2)$$

где B – тангенс угла наклона, рассчитанный из экспериментальной кривой $\omega(1/T)$.

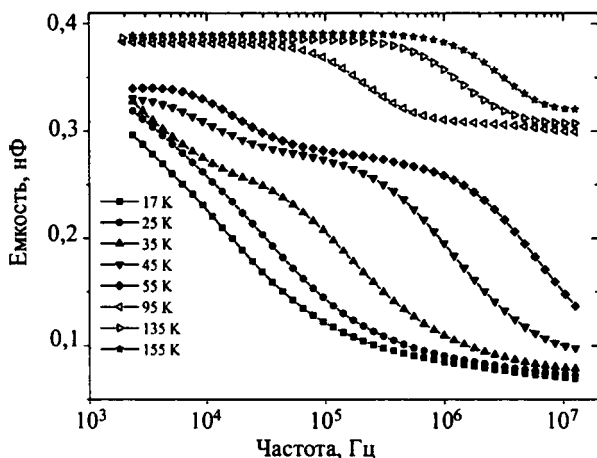


Рис. 1. Типичная зависимость $C(\omega)$ светодиодов из AlGaInP

Из температурных зависимостей $C(\omega)$ и $G(\omega)$ определены энергии активации энергетических уровней соответствующих ловушек. Обнаружено, что они зависят от температуры и увеличиваются при ее повышении. Максимальные значения энергии активации для красных светодиодов составляют 10 и 170 мэВ, а для жёлтых – 13 и 103 мэВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Gessmann T.H. and Schubert E.F.* High-efficiency AlGaInP light-emitting diodes for solid-state lighting applications // J. Appl. Phys. – 2004. – V. 95. – No. 5. – P. 2203–2216.
2. *Солтанович О.А., Якимов Е.Б.* Анализ температурных зависимостей вольт-фарадных характеристик светоизлучающих структур InGaN/GaN с множественными квантовыми ямами // ФТП. – 2012. – Т. 46. – № 12. – С. 1597–1603.

Влияние физической природы материалов наночастиц на коротковолновое смещение спектра генерации

А.В. Трифонова, М.М. Зиновьев

*Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук **А.А. Землянов,**
Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

3140a@mail.ru, muxa9229@gmail.com

Несмотря на то, что вопросам безрезонаторной лазерной генерации в нанодисперсных активных средах («random lasing», или случайная генерация в пленках или растворах лазерно-активных веществ, допированных наночастицами) посвящено огромное количество экспериментальных работ [1,2], некоторые особенности ее проявления не получили должного объяснения или требуют дальнейших исследований. К таким особенностям относится зачастую наблюдающийся в эксперименте коротковолновый сдвиг спектра безрезонаторной генерации относительно максимума спектра наблюдающейся спонтанной флуоресценции. Надо сказать, что такое спектральное поведение не характерно для типичной генерации в лазерах на красителях, где спектр генерации сдвинут в красную область из-за эффекта реабсорбции.

Основная часть

Целью данной работы было сравнить величины коротковолновых сдвигов спектров безрезонаторной лазерной генерации в растворах родамина 6G с агломерированными наночастицами Al и диэлектриков Al_2O_3 , TiO_2 . Все используемые наночастицы имеют одинаковые морфологию и функции распределений по размерам. В эксперименте растворы R6G с агломерированными наночастицами [3] помещались в кювету толщиной 2 мм и возбуждались лазерными импульсами ($\Delta t = 6$ нс, $\lambda = 0,53$ мкм). На рис. 1 показана зависимость коротковолнового смещения максимума спектра генерации от энергии накачки для различных агломератов разных материалов. На рис. 1, кривая 3, приведена для сравнения такая же зависимость, но для спонтанной люминесценции чистого раствора R6G, полученная в кювете толщиной 20 мкм. Такой тонкий слой раствора был выбран для того, чтобы показать спектральное расположение максимума спонтанной люминесценции красителя, спектр которой не деформирован воздействием реабсорбции («истин-

ный» спектр люминесценции). Из полученных спектров свечения растворов R6G, допированных наночастицами различных материалов, следует, что спектр генерации R6G с наночастицами Al смещен в коротковолновую область на 10 нм относительно спектра спонтанной флуоресценции раствора R6G без наночастиц и на 2 нм относительно спектра генерации растворов с наночастицами Al_2O_3 , TiO_2 .

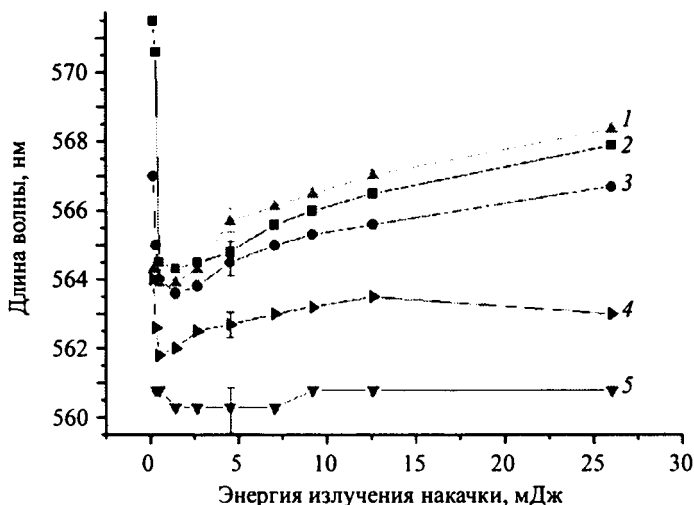


Рис. 1. Зависимость длины волны спектра генерации от энергии накачки: 1 – чистый R6G; 2 – R6G с наночастицами TiO_2 ; 3 – R6G с наночастицами Al_2O_3 ; 4 – R6G с наночастицами Al; 5 – истинное свечение R6G в кювете толщиной 20 мкм

Благодаря наличию сильных оптических полей вблизи агломерированных наночастиц в тонком переднем слое среды, в котором ничтожно влияние реабсорбции на спектр флуоресценции, возникает достаточное количество фотонов, которые являются затравочными для формирования вынужденного излучения во всей возбужденной среде. Поскольку коротковолновый сдвиг для растворов с частицами диэлектриков Al_2O_3 , TiO_2 относительно спектра спонтанной люминесценции R6G без наночастиц незначителен, то также можно сделать вывод о том, что в случае частиц Al_2O_3 , TiO_2 локальные поля если и существуют, то не оказывают значительного влияния на формирования спектральной картины генерации.

Работа выполнена в рамках программы повышения конкурентоспособности Национального исследовательского Томского государственного университета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ramy G.S., and Dardiry El.* Sources and gain in photonic random media // FNWI: Van der Waals-Zeeman Institute. – The Netherlands, 2012. – P. 130.
2. *Cao H.* Lasing in random laser // Waves Random Media. Topical Review. – 2003. – V. 13. – P. R1–R39.
3. *Донченко В.А., Землянов Ал.А., Кривошеев Н.С., Харенков В.А.* Влияние локальных полей вблизи агломерированных наночастиц на эффективность суперлюминесценции в растворах органического красителя // Оптика атмосферы и океана. – 2012 – Т. 25. – № 11 – С. 999–1002.

Исследование влияния размеров контактов на вольт-амперные характеристики GaAs<Cr> детекторов

Л.К. Шаймерденова

Научный консультант – А.В. Тяжев,
Томский государственный университет, г.Томск, Россия

shaimerdenova.l@gmail.com, antontyazhev@mail.ru

Ранее было показано, что арсенид галлия, компенсированный хромом, является перспективным материалом для создания матричных сенсоров рентгеновского излучения, работающих в диапазоне энергий от 10 до 40 кэВ [1–4]. Одним из современных направлений является повышение пространственного разрешения матричных сенсоров, что достигается уменьшением размеров единичного элемента. Анализ работ, представленных в открытой печати, показал, что вопрос зависимости вида вольт-амперных характеристик (ВАХ) от диаметра контакта единичного элемента остается недостаточно исследованным, что и обуславливает постановку данной работы.

Основная часть

Представленные исследования проводились с использованием образцов единичных GaAs<Cr>-детекторов различной толщины (707 и 509 мкм) и разными диаметрами и формой «анодного» контакта. Характеристики GaAs<Cr>-детекторов представлены в таблице.

Исследуемые образцы GaAs<Cr>-детекторов

Название	$S_{\text{в.к.}}, \text{см}^2$	$d, \text{мкм}$	Форма анодного контакта
AG 352 12, mode 1, "as is", N1	0,09	707	Квадрат
AG 352 12, mode 1, "as is", N2	0,09	707	Квадрат
AG 352 12, mode 1, "as is", N3	0,09	707	Квадрат
AG 352 12, mode 1, "as is", N4	0,09	707	Круг
AG 352 12, mode 1, "as is", N5	0,09	707	Круг
AG 352 12, mode 1, "as is", N6	0,01	707	Круг
AG 352 12, mode 1, "as is", N7	0,01	707	Круг
AG 221 9, mode 1, "as is", N1	0,09	509	Круг
AG 221 9, mode 1, "as is", N2	0,09	509	Круг
AG 221 9, mode 1, "as is", N3	0,01	509	Круг
AG 221 9, mode 1, "as is", N4	0,01	509	Круг

Измерения ВАХ проводились при комнатной температуре с использованием источника-измерителя Keithley 2410 в интервале напряжений от 0 до 500 В при различной полярности напряжения смещения. Экспериментальные ВАХ усреднялись по каждой группе образцов, имеющих одинаковые толщины и форму анодного контакта. На рис. 1 и 2 представлены характерные ВАХ детекторов.

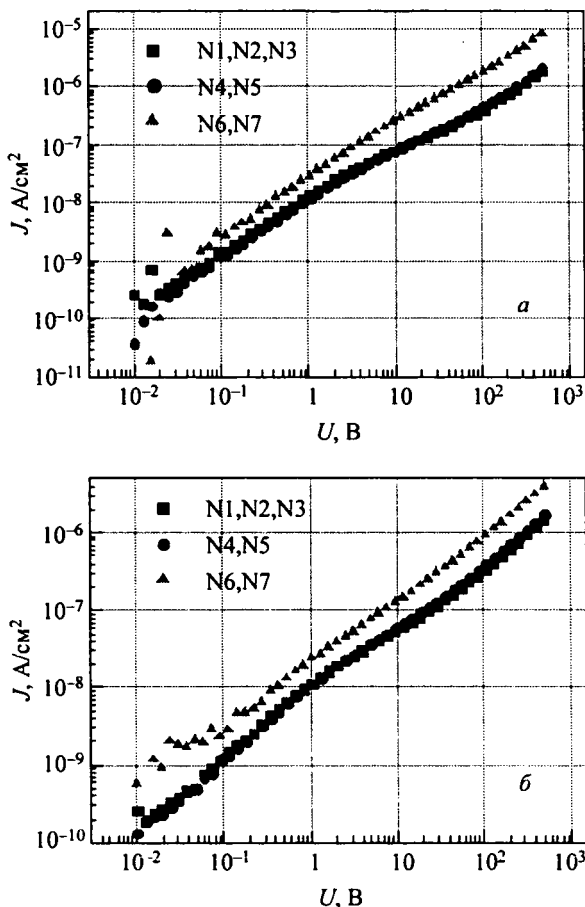


Рис. 1. Зависимость плотности тока от напряжения для образцов толщиной 707 мкм: а – прямые ветви, б – обратные ветви

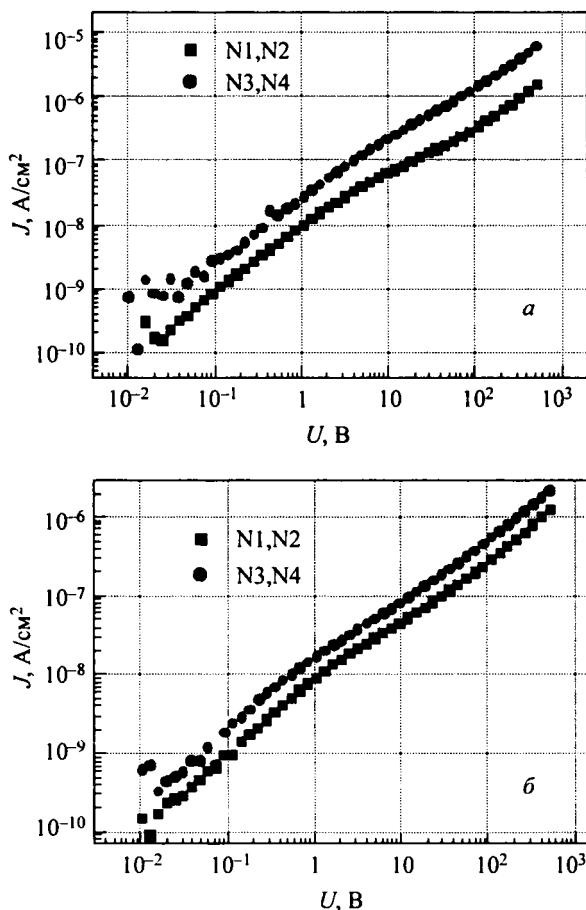


Рис. 2. Зависимость плотности тока от напряжения для образцов толщиной 509 мкм: *а* – прямые ветви, *б* – обратные ветви

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

- независимо от толщины образца, формы и диаметра контакта, ВАХ структур симметричны и имеют характерные участки с линейной и сублинейной зависимостью плотности тока от напряжения;
- ВАХ образцов с наименьшим диаметром «анодного» контакта характеризуются большей плотностью тока и более протяженным участком

ком линейной зависимости плотности тока от напряжения, что, возможно, обусловлено уменьшением влияния потенциального барьера вследствие высокой напряженности поля в периферийной области «анодного» контакта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tyazhev A., Novikov V, Tolbanov O., Zarubin A., Fiederle M., and Hamann E. Investigation of the current-voltage characteristics, the electric field distribution and the charge collection efficiency in X-ray sensors based on chromium compensated gallium arsenide // Proc. SPIE 9213, Hard X-Ray, Gamma-Ray, and Neutron Detector Physics XVI, 92130G (September 5, 2014); doi:10.1117/12.2061302
2. Veale M.C. et al. Chromium compensated gallium arsenide detectors for X-ray and γ -ray spectroscopic imaging // Nucl. Instrum. Meth. Phys.Res. – 2014. – V. A752. – P. 6–14.
3. Tolbanov O. et al. A Matrix Gallium-Arsenide Detector for Roentgenography // Bio-med. Eng. – 2013. – V. 46(5). – P. 194–198.
4. Budnitsky D. et al. GaAs Pixel Detectors // MRS Online Proceedings Library, 1576, (2013) mrss13-1576-ww08-01 doi:10.1557/opl.2013.1144.

Исследование среды обитания подземных животных

Б.Н. Шарафиев, В.В. Генералов

*Научные консультанты – канд. физ.-мат. наук А.С. Запасной,
канд. физ.-мат. наук А.В. Клоков,*

Томский государственный университет, г. Томск, Россия

valeragicha@mail.ru

При стандартных исследованиях среды обитания животных, живущих под землей, приходится перекапывать землю, чтобы изучить норы и ходы животных, тем самым нанося им губительный вред [1]. Использование георадара «ОКО-2» в этих целях является более безопасным [2]. Совместно с учеными Биологического института ТГУ сотрудники кафедры радиофизики в июне 2014 г. проводили георадарные исследования среды обитания цокоров в Кожевниковском районе.

Перемещение георадара в поперечном направлении приходится контролировать самостоятельно, поэтому перед проведением эксперимента площадка размечалась натянутой ниткой с шагом 20 см. Для выравнивания данных вдоль направления движения на радиолокационных трассах и минимизации ошибок определения координат вначале трассы располагались растянутая металлическая рулетка. В дальнейшем, при обработке она служила нулевым уровнем как по вертикали относительно земли, так и началом отсчета трасс, в продольном направлении. Общее количество трасс составило 21 штуку.

При первичной обработке в начале геолокационного профиля имеются разрывы в восстановленном сигнале от металлической рулетки, обусловленные тем, что измерение каждой трассы начиналось не с одной и той же точки. Чтобы учесть этот сдвиг, необходимо было выровнять трассы относительно рулетки. Для этого выделялась область вокруг рулетки, затем находились коэффициенты корреляции трасс относительно друг друга, которые переводились в отсчеты для сдвига трасс. Результат такой обработке представлен на рис. 1 (положение рулетки помечено овалом).

Обработка геолокационных данных состоит в фокусировке изображения [3], для измерений на участке 4×4 метра ее результаты показаны на рис. 2. Горизонтальный ход, по которому перемещается цокор под землей, наглядно представлен последовательностью прямоугольников. Местоположение нор, наблюдаемых на поверхности, отмечено кругами.

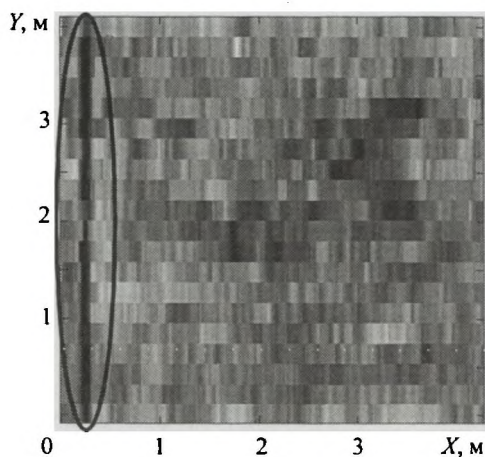


Рис. 1. Геолокационный профиль исследуемой площадки

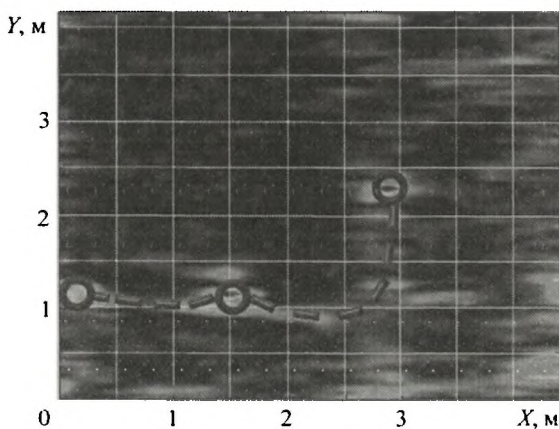


Рис. 2. Георадарный разрез горизонтального хода цокора на глубине 0,3 м

Использование георадара для исследования среды обитания животных, живущих под землей, является важным и перспективным направлением, так как удастся избежать вреда, причиняемого при отлове самих животных, за счет перекапывания большой площади земли, что ведет к нарушению их естественной среды обитания.

Работа выполнена по программе повышения конкурентоспособности Национального исследовательского Томского государственного университета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Россолимо О.Л.* Разнообразие млекопитающих. Ч. II / О.Л. Россолимо, И.Я. Павлинов, С.В. Крускоп, А.А. Лисовский, Н.Н. Спасская, А.В. Борисенко, А.А. Паниютина. – М.: Изд-во КМК, 2004. – 218 с.
2. *Якубов В.П., Шипилов С.Э., Суханов Д.Я., Клоков А.В.* Радиоволновая томография: достижения и перспективы: монография / под ред. В.П. Якубова. – Томск: Изд-во НТЛ, 2014. – 264 с.
3. *Клоков А.В., Запасной А.С., Шипилов С.Э., Якубов В.П.* Технология повышения разрешающей способности типовых георадаров // Изв. вузов. Физика. – 2013. – Т. 56. – № 8/2 – С. 174–176.

Измерение высоты потенциального барьера сенсоров на основе GaAs:Cr методом энергии активации

И.Д. Щербаков

*Научный руководитель – мл. науч. сотр. А.Д. Лозинская,
Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

Ivan_sherbakov94@mail.ru, padfootnst@rambler.ru

Как известно, в рентгеновских и гамма-лучах становятся прозрачными все предметы. Излучение, прошедшее через какой-либо объект, несёт в себе информацию о внутреннем содержании этого объекта и с помощью детектора ионизирующего излучения на основе GaAs:Cr мы можем фиксировать изменения интенсивности и энергетического спектра прошедшего излучения и строить изображение анатомии объекта [1]. Как будет влиять повышение температуры окружающей среды на работу детектора, пока полностью не изучено, поэтому данный эксперимент представляет большой интерес.

Детектор представляет собой симметричную структуру металл – полупроводник – металл. Для получения данной структуры использовались кристаллы *n*-GaAs, выращенные методом Чохральского. Контакт металл – полупроводник получен химическим осаждением Ni на поверхность полупроводника. Для того чтобы увеличить времена жизни носителей заряда и удельную глубину проникновения электрического поля, GaAs компенсируют Cr. Глубина проникновения Cr в полупроводниковый материал зависит от температуры отжига полупроводникового материала, были исследованы образцы с температурой отжига 955 °C (образец № 1) и 975 °C (образец № 2).

Измерения вольт-амперных характеристик (ВАХ) проводились при изменении температуры от 303,15 до 343,15 К (рис. 1). ВАХ симметрична. В диапазоне напряжений от 0 до 1 В ВАХ близка к линейной, далее при увеличении напряжения от 1 до 10 В зависимость становится сублинейной. При дальнейшем увеличении напряжения зависимость приобретает сверхлинейный характер, что, возможно, связано с лавинным пробоем. Наличие сублинейного участка говорит о наличии барьера на границе Ni – GaAs:Cr.

В ходе анализа ВАХ с помощью метода энергии активации [2] была найдена высота потенциального барьера для каждого из образцов.

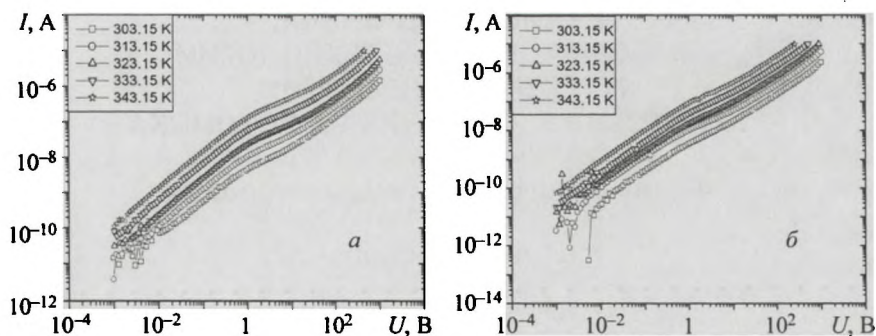


Рис. 1. ВАХ для образца с температурой отжига 955 °С (а) и 975 °С (б)

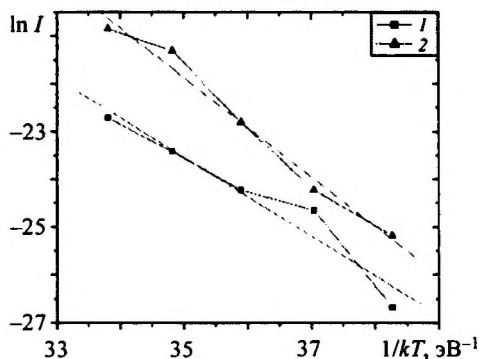


Рис. 2. Измерение высоты потенциального барьера методом энергии активации

Для образца № 1 (температура отжига 955 °С) высота барьера составила $\Phi_6 = 1,04$ эВ, а для образца № 2 (температура отжига 975 °С) $\Phi_6 = 0,83$ эВ. Нетрудно заметить, что с увеличением температуры отжига от 955 до 975 °С высота потенциального барьера значительно снижается. Это может быть связано с переходом полупроводника из n - в p -тип в ходе процесса компенсации GaAs хромом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Толбанов О.П. Детекторы ионизирующих излучений на основе компенсированного арсенида галлия // Вестник Томского государственного университета. – 2005. – № 285. – С. 155–163.
2. Зи С. Физика полупроводниковых приборов. – М.: Мир, 1984. – Т. 1. – 455 с.

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ, КВАНТОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА И ФОТОНИКА

Физические основы музыкотерапии

А.А. Автандилян

*Научный консультант – канд. пед. наук Н.О. Филатова,
Сибирский лицей, г. Томск, Россия*

nadeenf@sibmail.com

В окружающем нас мире всё звучит. Вся Вселенная создает постоянную вибрацию, гул, который является оригинальным звуком и в то же время сочетанием всех отдельных звуков. При излучении звука приводится в движение каждая частица, колеблясь и резонируя с определенным звуком. Звук, который получается при движении или в совокупности двух разных по своим свойствам элементов, прекрасен (как в воздухе флейтой, как шум листьев при дуновении ветерка) и воздействует определенным образом на материю.

Уже давно известно, что слова, которые мы говорим и которые тоже являются звуком, имеют силу влиять на окружающий мир, помогая либо поддерживать жизненную силу и создавать гармонию, либо направлять к разрушению и дисгармонии. Так, заметив однажды влияние звуковых волн на организм, люди создали музыкотерапию, которая стала отдельным направлением в медицине.

Гипотеза: возможно, что различные звуки способны определенным образом влиять на организм человека.

Цель: объяснение применения музыкотерапии с позиций физических законов.

Задачи:

- 1) проанализировать теоретические основы применения музыкотерапии;
- 2) продемонстрировать звуковые волны с помощью трубы Рубенса;
- 3) провести спектральный анализ различных звуков;
- 4) провести опрос, выясняющий отношение людей к музыкотерапии;
- 5) найти физическое объяснение применения музыкотерапии.

Объект исследования: звуки.

Предмет исследования: музыкотерапия.

Методы исследования: анализ, обобщение, наблюдение, эксперимент.

В процессе выполнения работы были получены следующие результаты.

Звук – это распространяющиеся в упругих средах – газах, жидкостях и твёрдых телах – механические колебания, воспринимаемые органами слуха.

Звуковые волны возникают благодаря упругим связям между частицами (молекулами или атомами) тела или среды, в которой находится источник звука, совершающими упругие механические колебания.

Первые научные работы, исследующие механизм воздействия музыки на человека, появились в конце XIX – начале XX века. В работах В.М. Бехтерева, И.М. Догеля, И.Р. Тарханова и др. появляются данные о благотворном влиянии музыки на ЦНС, дыхание, кровообращение, газообмен.

Для демонстрации звуковых волн (стоячих) была изготовлена труба Рубенса. Труба Рубенса (рис.1) позволяет провести физический эксперимент по демонстрации стоячей волны, основанный на связи между звуковыми волнами и давлением газа. На одном из торцов горизонтально расположенной трубы, перфорированной по всей длине, прикреплена мембрана, а ко второму подключен источник горючего газа (например, пропан). В 1904 г. немецкий физик Генрих Рубенс во время эксперимента использовал 4-метровую трубу, в которой насчитывалось 200 отверстий с шагом 2 см. Просачивающийся через отверстия газ поджигают,

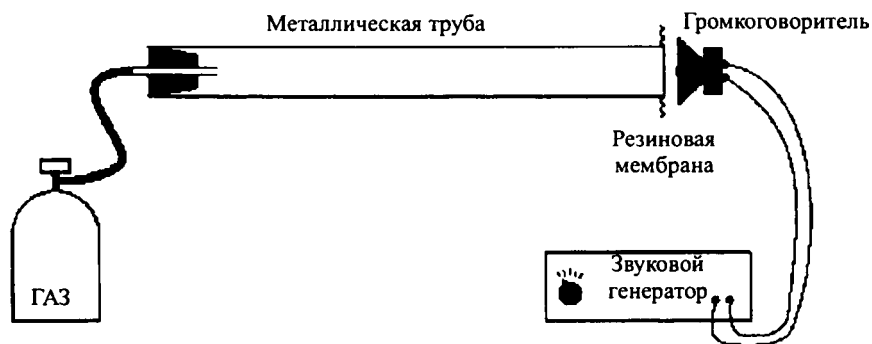


Рис. 1. Схема трубы Рубенса

при этом высота язычков пламени будет одинаковой. Теперь напротив мембраны устанавливают громкоговоритель, подключенный к генератору гармонических колебаний. Когда громкоговоритель включен, в трубе формируются области повышенного и пониженного давления. Там, где благодаря звуковым волнам находится область повышенного давления, через отверстия просачивается больше газа и высота язычков пламени увеличивается.

С помощью трубы Рубенса можно увидеть частотный диапазон различных звуков: от классической до тяжелого рока.

Помимо этого, частотный диапазон различных звуков был проанализирован с помощью графиков зависимости частоты от времени колебаний. В качестве образца были взяты следующие мелодии: 1) Моцарт – Симфония № 40; 2) Rise Against – Endgame. Кроме этих были проанализированы и другие мелодии.

По результатам анализа графиков можно сделать вывод, что в классической музыке используются в основном частоты от 1 до 4 кГц, а в тяжелом роке – от 6 до 20 кГц.

В свою очередь терапевты, использующие в лечении музыкотерапию, применяют именно классическую музыку.

Из физики известно, что звук – это волна. Как любая волна, он имеет свою частоту колебаний. И как любая волна, он действует на организм независимо от того, улавливаем мы ее ритм или нет. В нашем организме тоже заложен свой ритм и гармония. Для того чтобы находиться в состоянии этой гармонии, необходимо пропускать через свои внутренние биологические ритмы – внешние: звуки музыкальных композиций, природы и пр. Вибрационный фактор музыки является стимулятором обменных процессов на уровне клетки. «Сегодня научные исследования показывают, что с помощью вибрации можно воздействовать даже на процесс катализа» [4], подбирая точную вибрацию и стимулируя деятельность отдельных ферментов.

Если организм ослаблен, угнетен, находится в депрессивном состоянии, то для гармоничного здорового существования ему не хватает стимулирующих звуков. Пропуская через себя их вибрации, клетки сами настраиваются на здоровый, оптимистический лад. И большую роль здесь играет явление резонанса.

Таким образом, проанализировав литературу, выполнив эксперимент, можно сделать вывод, что действительно применение музыкотерапии имеет под собой ряд оснований, позволяющих утверждать об ее эффективности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Влияние* музыки на воду. – URL: <http://www.o8ode.ru/>.
2. *Труба* Рубенса: эффект демонстрации звуковых волн с помощью огня. – URL: <http://ogend.ru>.
3. *Зук*: интересные факты. – URL: <http://www.9element.ru>.
4. *Братанин В.* Самолечение музыкой // *Здоровье: Прил. к газ. «Аргументы и факты»*. – 1995. – № 10 – С. 7.

Квазиоптический резонаторный контроль синтетических нитей

В.В. Бессонов

*Научный консультант – канд. физ.-мат. наук И.О. Дорофеев,
Томский государственный университет, г.Томск, Россия*

Witalikdj@mail.ru, idorofeev@mail.tsu.ru

В настоящее время развиваются технологии производства рассасы- вающихся синтетических нитей для хирургии [1]. К их качеству предъявляются достаточно высокие требования. Так, например, по всей длине нити должны обеспечиваться минимальные отклонения ее диаметра. Это можно обеспечить включением в технологический процесс устройств непрерывной диагностики. Перспективно применение СВЧ- радиоволнового контроля, обеспечивающего бесконтактность, высокую скорость, высокую точность [2]. С точки зрения взаимодействия электромагнитной волны с нитью последнюю можно представить в виде протяженного диэлектрического цилиндра. Компонентная база СВЧ- диапазона в настоящее время ограничена в основном частотой 40 ГГц. Производимые нити имеют диаметр $2r$ менее 1 мм, поэтому в миллиметровом диапазоне длин волн выполняется соотношение $kr \ll 1$, где k – волновое число в свободном пространстве. Вследствие этого необходимо применение резонаторных методов диагностики. В миллиметровом диапазоне длин волн целесообразно использовать открытые резонаторы квазиоптического типа, имеющие достаточно разряженный спектр, обеспечивающий удобное расположение и доступ к образцу и успешно применяемые для контроля, например, микропровода [3].

Были проведены экспериментальные исследования зависимости изменений спектральных характеристик открытого резонатора миллиметрового диапазона длин волн, вызванные внесением в него протяженных диэлектрических цилиндров различных диаметров.

Открытый резонатор представлял собой два сферических отражателя диаметром 8 см, радиусом вогнутости 12 см, расположенных на расстоянии 14,4 см. В центре отражателей находились элементы связи с внешними волноводными трактами в виде узких щелей, обеспечивающих поляризацию электрического поля в резонаторе, ортогональную щелям. Образцы располагались в центре резонатора ортогонально его

оси, параллельно вектору электрического поля в его пучности. Измерения проводились в диапазоне от 30–40 ГГц. В данном диапазоне у открытого резонатора имелись пять основных, нечетных по продольному индексу типов колебаний. Экспериментальная установка для измерения резонансной частоты и добротности (полосы пропускания) резонатора была построена на основе анализатора цепей Agilent E8363B. В качестве модельных образцов использовались близкие по параметрам отрезки лесок, так как медицинские нити на воздухе быстро разрушаются (при нормальных условиях).

Измерения показали, что потери, вносимые в открытый резонатор исследуемыми образцами, малы, поэтому единственной измеряемой характеристикой открытого резонатора, зависящей от диаметра вносимого цилиндра, является сдвиг его резонансной частоты.

На рис. 1 приведены зависимости сдвига резонансной частоты трех основных типов колебания открытого резонатора от диаметра вносимого образца. Как видно из графика, с увеличением диаметра вносимого образца сдвиг резонансной частоты основных мод увеличивается. Отклонения измеренных значений для образцов диаметром 0,3 и 0,4 мм вызваны тем, что они изготовлены из другого материала.

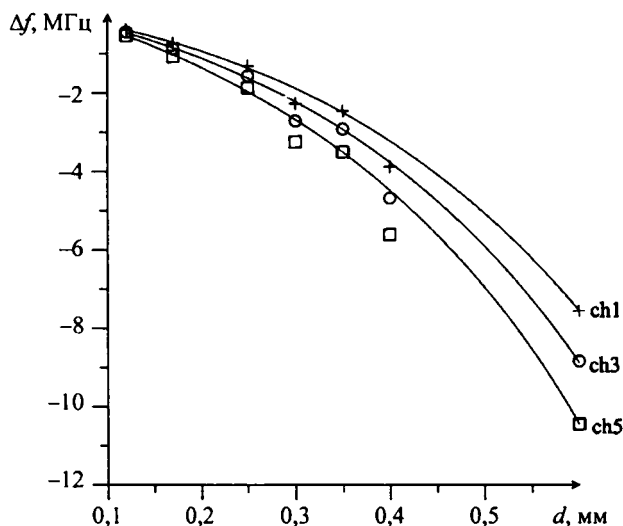


Рис. 1. Зависимости сдвига резонансной частоты от диаметра

С точки зрения диагностики диаметра нитей необходимо, чтобы на единицу изменения диаметра образца приходилось максимальное значение изменения резонансной частоты резонатора, поэтому можно ввести понятие абсолютной чувствительности как $S = \frac{\Delta(\Delta f)}{\Delta d}$. Эта чувстви-

тельность, как показывают расчеты, на различных участках различная и увеличивается для моды с резонансной частотой 30,8 ГГц от $S = 7,3$ МГц/мм на начальном участке до $S = 20,4$ МГц/мм на конечном участке зависимости сдвига частоты от диаметра. Для моды с резонансной частотой 39,1 ГГц увеличение S составило от 6,2 МГц/мм до 27,8 МГц/мм соответственно. Таким образом, с ростом диаметра абсолютная чувствительность увеличивается, увеличивается она также и с ростом частоты. Более наглядно это показывают графики на рис. 2, где построены частотные зависимости сдвига резонансной частоты открытого резонатора для различных образцов. Наиболее заметным этот рост является для цилиндров с большими значениями диаметра.

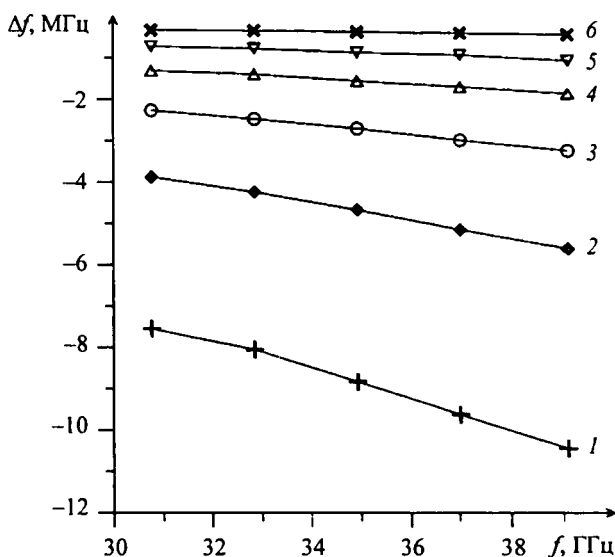


Рис. 2. Частотные зависимости сдвига резонансной частоты открытого резонатора для различных образцов: кр. 1 — $d = 0,6$ мм, кр. 2 — $d = 0,4$ мм, кр. 3 — $d = 0,3$ мм, кр. 4 — $d = 0,25$ мм, кр. 5 — $d = 0,15$ мм, кр. 6 — $d = 0,1$ мм

Исследования тонких диэлектрических цилиндров в открытом резонаторе миллиметрового диапазона длин волн показали, что значения резонансных частот основных мод резонатора зависят от диаметра вносимого образца, эта зависимость имеет более сильный характер для высокочастотной моды, а также увеличивается с ростом диаметра цилиндра. Данные результаты могут быть положены в основу разработки устройства для бесконтактной непрерывной диагностики диаметра медицинских нитей в процессе производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабкина О.В., Алексеенко А.В., Немойкина А.Л. Получение монофиламентной нити и сополимера гликолевой и молочной кислот (PGLA94/6) экструзионным способом // Известия вузов. Химия и химическая технологи. – 2014. – Т. 57. – № 3. – С. 79–81.
2. Дунаевский Г.Е. Открытые резонаторные преобразователи – Томск: Изд-во НТЛ, 2006. – С. 304.
3. Дорофеев И.О., Дунаевский Г.Е. Устройство квазиоптической резонаторной диагностики остеклованного литого микропровода // Дефектоскопия. – 2014. – № 12. – С. 50–57.

Адаптация устройства углового позиционирования исследуемых образцов материалов для терагерцового спектрометра

В.Ю. Выговский

*Научный консультант – инженер **А.В. Бадьин**,
Томский государственный университет г. Томск, Россия*

vigovskiyyv1994@mail.ru, Alex001@sibmail.com

В настоящее время терагерцовый диапазон остается слабо освоенным, однако исследования в данном диапазоне позволяют получить новые знания об электромагнитных свойствах образцов различной природы. Спектр изучения крайне обширен, но важно заметить, что процесс исследования очень трудоемок, в особенности это касается анизотропных веществ как природного (дерево, горные породы), так и искусственного (кристаллы) происхождения [1, 2]. В связи с этим появилась необходимость создания автоматизированного механизма ориентации образца. Помимо уменьшения временных затрат, механизм позволяет производить более точные измерения, что, в свою очередь, ведет к получению более совершенных знаний об электромагнитных свойствах образцов.

Основная часть

Одним из методов исследования электромагнитных свойств материалов в терагерцовой области является ЛОВ – спектроскопия. Данный метод основан на взаимодействии электромагнитной волны в открытом пространстве с образцом, помещенном между источником излучения (лампа обратной волны) и детектором (ячейкой Голея). При исследовании анизотропных материалов необходимо производить вращение образца относительно продольной оси распространения волны. Недостатки данной методики заключаются в следующем: высокая погрешность установки углового положения образца, большие временные затраты ввиду продолжительности частотного сканирования в каждом угловом положении. Имеющийся спектрометр СТД-21 оснащен держателем образца, не предназначенным для автоматического позиционирования [3]. Одним из путей решения этой проблемы является адаптация механизма ориентации поляризатора спектрометра МАСС-4 в качестве механизма углового позиционирования исследуемых образцов в терагерцовом

спектрометре СТД-21. На первом этапе была произведена модификация крепления механизма к оптической рельсе (рис. 1).

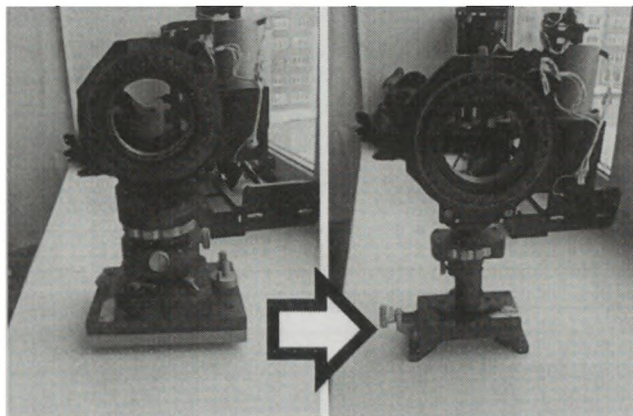


Рис. 1. Внешний вид исходного (слева) и адаптированного для оптической рельсы терагерцового спектрометра (справа) крепления механизма ориентации образца

В качестве прецизионного привода используется униполярный шаговый двигатель ШД-300 с тремя управляющими обмотками. Управление механизмом осуществляется с помощью ЭВМ через модуль ввода-вывода E-154 фирмы «L-card» [4], контроллера клавиатуры и силового модуля управления ключами. Питание осуществлялось от источника постоянного напряжения 24 В. Блок-схема устройства приведена на рис. 2.



Рис. 2. Блок-схема устройства углового позиционирования

С использованием программного пакета LabVIEW была создана программа, позволяющая управлять углом поворота образца, количеством шагов, временной задержкой.

Апробация данного прибора на терагерцовом спектрометре показала, что минимизируются трудозатраты оператора, избавляя его от необходимости ручного выставления угла, повышается точность измерений, следовательно, информация, полученная в ходе исследования, является более достоверной. Измерения коэффициента прохождения анизотропного объекта (плоского образца горной породы толщиной 4,36 мм) в частотном диапазоне 104–177 ГГц в интервале углов от 0 до 360° с шагом 15° с разрешением 300 точек заняло 30 мин в автоматическом режиме. При соблюдении условий точной начальной соосной юстировки квазиоптического тракта результаты измерения получаются достоверными. В течение всего времени сканирования оператору нет необходимости вмешиваться в измерительный процесс. Адаптированный механизм позволяет производить серию измерений коэффициента прохождения без вмешательства оператора с точностью 0,3°. Вследствие этого данное устройство может быть использовано в другом экспериментальном оборудовании СВЧ-диапазона, основанном на рупорном методе и методе открытого резонатора.

Таким образом, проведена адаптация устройства углового позиционирования образцов для терагерцового спектрометра. Показано, что применение данного устройства обеспечивает точность установки угла, позволяет производить серию измерений различных образцов с одинаковой точностью и снижает трудозатраты оператора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Suslyayev V.I., Kochetkova T.D., Dunaevskii G.E., and Dorozhkin K.V.* Research of Dielectric Properties of Wood at Frequencies 0,1÷ 0,5 THz // *Infrared, Millimeter, and Terahertz waves (IRMMW-THz)*, 2014 39th International Conference on. IEEE, 2014. – P. 1–2.
2. *Кочеткова Т.Д., Сусяев В.И., Дорожкин К.В.* Комплексная диэлектрическая проницаемость древесины в терагерцовом диапазоне // *Изв. вузов. Физика.* -- 2013. – Т. 56. – № 8/3. – С. 85–87.
3. *Millimeter – submillimeter-wave quasi-optical spectrometer STD-21 and mach-zahnder interferometer IMZ TD-01.* Users manual. ОАО КДП – М.: б/и, 2010. – 58 p.
4. *Гарманов А.В.* Устройства для мобильных систем L-Card E-154 / *Руководство пользователя.* – М., 2009. – 31 с.

Обработка сигналов резонаторного преобразователя устройства радиоволновой диагностики микропровода

Д.Ю. Гаврилов

*Научный консультант – канд. физ.-мат. наук И.О. Дорофеев,
Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

idorofeev@mail.tsu.ru, gavr131313@gmail.com

Литой остеклованный микропровод широко используется при создании современных искусственных радиоматериалов, но его параметры не являются стабильными даже в пределах одной катушки, что, как следствие, отрицательно влияет и на стабильность параметров непосредственно самих радиоматериалов, в которых используются эти микропровода. Этот факт делает актуальным вопрос создания устройства, позволяющего проводить непрерывный безконтактный контроль характеристик микропровода. На кафедре радиоэлектроники РФФ НИ ТГУ создано действующее устройство для такого контроля.

Разработанное устройство через интерфейсную карту «e-154» фирмы «Л Кард» имеет возможность подсоединяться к ПК через USB-кабель. Через микроконтроллер передается два сигнала: сигнал, прошедший через датчик (измерительный), и сигнал уровня мощности генератора прибора (опорный).

Для контроля сбора данных с использованием компьютера и автоматизации их обработки стало необходимо создать программное обеспечение (ПО), визуализирующее результаты измерений контролируемых параметров микропровода. Используя представленные на сайте фирмой-поставщиком интерфейсной карты стандартные библиотеки, было разработано необходимое ПО в среде разработки Object Pascal.

Блок-схема разработанной программы представлена на рис. 1. Непосредственно после запуска ПО выполняет ряд проверок, которые, в свою очередь, определяют возможность взаимодействия с микроконтроллером. Эти проверки отображены на схеме блоками ветвления и включают в себя следующие действия: проверку наличия драйверов на микроконтроллер, проверку наличия библиотеки для работы программы и ее версии, проверку наличия подключения микроконтроллера через USB порты компьютера, проверку модели микроконтроллера, расчет скорости его работы.

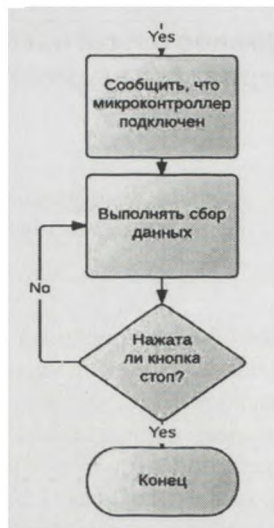
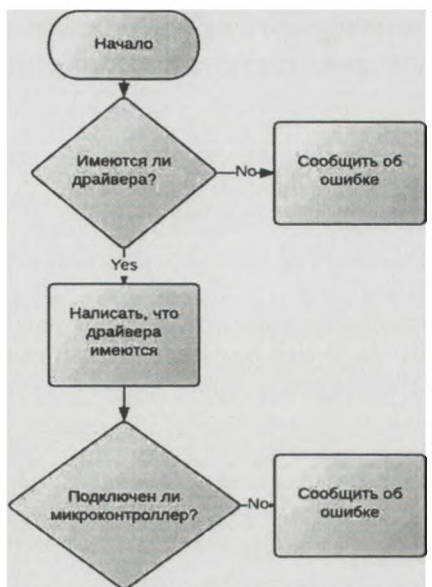


Рис. 1. Блок-схема алгоритма разработанного программного обеспечения, выполняющего компьютерную обработку сигнала резонаторного преобразователя

Весь функционал программы можно описать, опираясь на интерфейс разработанного приложения (рис. 2). Нажатие кнопки «Пуск» вызывает процедуру сбора данных, остановка которой осуществляется нажатием кнопки «Стоп». Непосредственно над этими кнопками размещены два подписанных поля, отображающих моментальные значения опорного и измерительного сигналов. Эти значения записываются в лог работы программы, размещенный в центре рабочего окна приложения. Также зависимость значений опорного и измерительного сигналов от времени отражается на графике, масштаб которого автоматически изменяется исходя из полученных данных. В главном меню программы имеется пункт «Файл», позволяющий сохранять лог событий программы, а следовательно, и все собранные данные, а также открывать сохраненные логи для получения возможности оперативного построения графика. Все рабочие объекты приложения подписаны, отображена легенда графика, интерфейс программы интуитивно понятен и ориентирован как на инженеров, так и на среднестатистических пользователей.

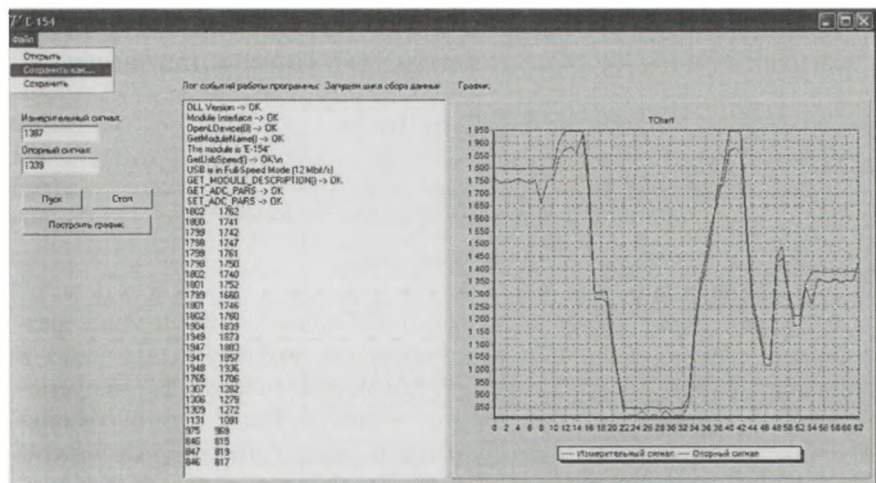


Рис. 2. Внешний вид программы обработки сигнала микроконтроллера «Л Кард» E-154

Планируется расширение функционала программы: добавление возможности настройки параметров работы микроконтроллера, добавление функции математической обработки измерительного и опорного сигналов в режиме реального времени, добавление возможности подачи визуального и звукового сигнала пользователю при резких изменениях значений измерительного и опорного сигналов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дунаевский Г.Е. Открытые резонаторные преобразователи – Томск: Изд-во НТЛ, 2006. – С. 304.
2. Дорофеев И.О., Дунаевский Г.Е. Устройство квазиоптической резонаторной диагностики остеклованного литого микропровода // Дефектоскопия. – 2014. – № 12. – С. 50–57.

Исследование зависимости оптических параметров KrCl-эксилампы от динамического скачка давления

М.В. Диденко

*Научный консультант – докт. физ.-мат. наук Э.А. Соснин,
Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

mari.dm28@mail.ru

В течение последних нескольких лет наблюдается интенсивное развитие источников спонтанного излучения ультрафиолетового (УФ) и вакуумного ультрафиолетового (ВУФ) диапазона спектра, формируемого за счёт эксимерных и эксиплексных молекул. Такие источники принято называть эксилампами. В настоящий момент наибольшее практическое применение получили эксилампы барьерного разряда (БР) [1].

Традиционно для исследования характеристик и оптимального режима работы эксилампы используют оптический, электрофизический и плазмохимический методы. Для этого используют физические и химические фотоприемники, чувствительные в УФ- и ВУФ-диапазонах спектра. Чувствительность физических фотоприемников может снижаться вследствие нарушения приемной поверхности излучением при длительной эксплуатации.

На сегодняшний день является актуальным поиск альтернативных методов исследования характеристик эксиламп в условиях длительной эксплуатации.

В работе [2] было предложено для определения термодинамических параметров использовать результаты измерения скачка давления в кювете эксилампы БР при ее включении. Этот метод был использован для определения условий получения максимальных оптических параметров эксиламп БР, емкостного разряда и эксиламп с СВЧ-возбуждением, в различных режимах и на различных рабочих молекулах [3].

Цель работы – проверка выводов работ [2, 3] при различных длительностях питающего импульса напряжения ($600 \text{ нс} < \tau < 1,4 \text{ мкс}$). Проверка была проведена на KrCl-эксилампе БР. Регистрировали величину динамического скачка давления и энергетическую светимость лампы при включении. Известно, что тепловая мощность W , рассеиваемая в коаксиальной эксилампе БР, пропорциональна $\Delta p/p$, где Δp – динамический скачок давления, p – стартовая величина давления до

включения лампы. То есть характеризовать W можно величиной $\Delta p/p$. На рис. 1 дана тепловая мощность (в отн. ед.) и мощность излучения K₂Cr₂O₇-эксилампы в зависимости от давления смеси. Видно, что максимумы W и мощности излучения находятся в области давлений 90–100 Торр, т.е. не применяя оптические средства измерений можно выбрать давление, при котором мощность излучения максимальна. Аналогичные зависимости были справедливы при других значениях τ .

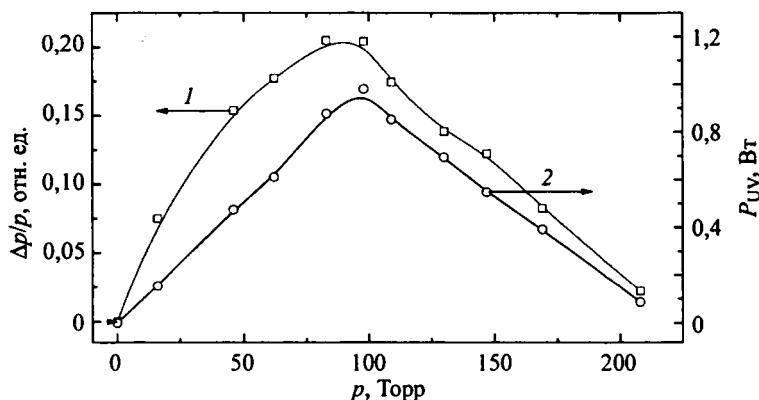


Рис. 1. Зависимость тепловой мощности (кр. 1) и мощности излучения (кр. 2) от давления смеси; K₂Cr₂O₇ = 200:1, $\tau = 1,4$ мкс

Таким образом: 1) подтверждена экспериментально выявленная ранее [2, 3] связь между термодинамическими и оптическими величинами; 2) показано, что установленная корреляция справедлива для режимов с различными значениями длительности импульса напряжения от источника питания эксилампы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бойченко А.М., Ломаев М.И., Панченко А.Н., Соснин Э.А., Тарасенко В.Ф. Ультрафиолетовые и вакуумно ультрафиолетовые эксилампы: физика, техника и применения. – Томск: STT, 2001. – 512 с.
2. Пикулев А.А., Цветков В.М. Эффект динамического скачка давления в K₂Cr₂O₇-эксилampe барьерного разряда // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 316. – № 4. – С. 132–135.

Влияние ультразвуковой обработки на электромагнитные характеристики композитов на основе углеродных нанотрубок

А.О. Качусова

*Научный консультант – канд. физ.-мат. наук **О.А. Доценко**
Томский государственный университет, г.Томск, Россия*

anastasia_kachusova@mail.ru, dot_ol_09@rambler.ru

Нанотрубки и нановолокна вызывают повышенное внимание исследователей в связи с перспективами их применения в различных областях техники, включая микроволновые устройства. Однако исследования микроволновых свойств этих наноструктур и композиционных материалов на их основе немногочисленны [1–5]. Микроволновые свойства материалов описываются частотной зависимостью комплексной диэлектрической проницаемости $\epsilon(\omega) = \epsilon'(\omega) - j\epsilon''(\omega)$, где $\epsilon'(\omega)$ и $\epsilon''(\omega)$ – действительная и мнимая части, характеризующие диэлектрическую проницаемость среды и потери в ней соответственно.

Основная часть

Цель данной работы – измерение спектров диэлектрической проницаемости композитов на основе уретано-алкидного лака с концентрацией многостенных углеродных нанотрубок 1 мас.%, обработанных ультразвуком до полимеризации, и 0,25–2 мас.%, не обработанных ультразвуком.

В качестве наполнителя использовались многослойные углеродные нанотрубки МУНТ-2 (Институт катализа СО РАН). Средний диаметр нанотрубок 9,4 нм, в диапазоне диаметров 4–21 нм. При выборе связующего необходимо учитывать его адгезионные свойства, текучесть, скорость полимеризации. Вследствие этого был использован уретано-алкидный лак, удовлетворяющий всем вышеперечисленным показателям.

Композиты для измерений приготавливали следующим образом. В навеску лака добавляли необходимое количество наполнителя и полученную смесь тщательно перемешивали. Композиты с концентрацией МУНТ 1 мас.% обрабатывались ультразвуком. Затвердевание образцов происходило в течение 48 ч при комнатной температуре. Диэлектриче-

ские свойства образцов измеряли в диапазоне частот от 3 до 13,7 ГГц на установке E8363B фирмы «Agilent Technologies», по резонаторной методике. Данный метод позволяет измерить амплитудно-частотную характеристику резонатора без и с образцом, после чего происходит расчет материальных характеристик (в нашем случае – диэлектрической проницаемости) исследуемого образца.

Известно, что лак – обычный неполярный диэлектрик, диэлектрическая проницаемость которого равна 4 отн.ед. Добавление 1 мас.% нанотрубок увеличивает значение диэлектрической проницаемости до 6–8 отн.ед. Обработка ультразвуком изменила значения диэлектрической проницаемости. Результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Значения диэлектрической проницаемости
экспериментальных образцов с обработкой ультразвуком**

Время обработки, мин	0	1	2	3	4	5
ϵ' , отн.ед.	6–8	~ 8	10–12	13–18	10–12	~ 9
ϵ'' , отн.ед.	0,2–1,5	0,75–1,5	1–2	2–4	1,25–2,75	1,25–2,25

Таблица 2

**Значения диэлектрической проницаемости
экспериментальных образцов без обработки**

Концентрация, %	0,25	0,5	1	2
ϵ' , отн.ед.	6,4	5,4	8,4	9,1
ϵ'' , отн.ед.	0,55	0,91	1,1	1,6

Из табл. 2 видно, что диэлектрическая проницаемость образцов с концентрациями наполнителя, равными 0,25 и 0,5 мас.%, увеличивается до значения 6 отн.ед. Диэлектрическая проницаемость образца с концентрацией нанотрубок 1 и 2 мас.% равна 8–9 отн.ед. Таким образом, с увеличением концентрации нанотрубок в композите увеличивается диэлектрическая проницаемость.

Выводы

При концентрации трубок в 2 мас.% диэлектрическая проницаемость получается максимальной. То же значение мы можем увидеть при 1 мас.% после 5 мин обработки.

Эксперимент показал, что для достижения требуемой величины диэлектрической проницаемости необязательно увеличивать концентрацию трубок в композите, можно просто подвергнуть образец ультразвуковой обработке.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ мол_а № 14-02-31421 «Разработка научных основ создания микроволновых композиционных радиоматериалов на основе углеродных наноструктур и ферромагнетиков».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мурадян В.Е., Соколов Е.А., Бабенко С.Д. Диэлектрические свойства композитов, модифицированных углеродными наноструктурами, в микроволновом диапазоне // ЖТФ. – 2010. – № 2. – С. 83–87.
2. Кулешов Г.Е., Доценко О.А., Кочеткова О.А., Сусляев В.И. Электромагнитные характеристики композитов на основе углеродных наноструктур и гексаферритов в гигагерцовом диапазоне // Изв. вузов. Физика. – 2013. – Т. 56. – № 8/2. – С. 315–317.
3. Доценко О.А., Сусляев В.И., Кузнецов В.Л., Мазов И.Н., Кочеткова О.А. Микроволновые характеристики композиционных радиоматериалов на основе полимера и углеродных структур // Доклады ТУСУРа. – 2011. – № 2 (24). – Ч. 2. – С. 36–40.
4. Кочеткова О.А., Леухина А.Е., Доценко О.А. Микроволновые электрофизические характеристики композитов на основе многостенных углеродных нанотрубок // Современные проблемы радиоэлектроники: сб. науч. трудов. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2011. – С. 398–401.
5. Качусова А.О., Доценко О.А. Исследование спектров диэлектрической проницаемости композитов на основе углеродных нанотрубок // Евразийское научное объединение. – 2015. – № 2. – С. 22–24.

Самая лучшая тара для яиц

В. Коваленко, М. Ананина, А. Лисицина

Научный консультант – *Ревера Светлана Агафоновна*

Revera91@mail.ru

Цель проекта: исследовать наиболее популярную тару для яиц в наших магазинах.

Задачи:

1) Уточнение терминологии: вес, сила тяжести, сила упругости и др.
2) Зависимость сохранности яиц от высоты падения в разных упаковках.

3) Зависимость прочности тары от силы, действующей на неё.

4) Продемонстрировать полученный результат в видеороликах.

Мы, как покупатели, можем столкнуться с проблемой неправильно хранения и транспортировки такого хрупкого товара, как яйца. Производители решают эту проблему, изготавливая разную тару.

Преимущества пластика:

- 1) разбитые яйца видны с первого взгляда;
- 2) в пластиковой упаковке бой высыхает, обеспечивая гигиеничность упаковки;
- 3) пластиковая упаковка для яиц снабжена специальными внутренними защитными стойками;
- 4) пластиковая упаковка устойчива к изменениям температуры и влажности.

Как вы заметили, лучшей упаковкой является картонная упаковка для яиц, изготовленная из вторичного картонно-бумажного сырья или макулатуры. Ее главные преимущества – это надежность, недорогая стоимость, а также возможность сдавать упаковку для переработки. К тому же **картонная упаковка для яиц** – экологически чистая и абсолютно безопасная.

На сегодняшний день самым оптимальным вариантом является **картонная упаковка для яиц**. Она поможет сохранить хрупкий, легко бьющийся продукт не только от повреждений, но и будет создавать оптимальные условия для его хранения.

Результаты 1-го эксперимента

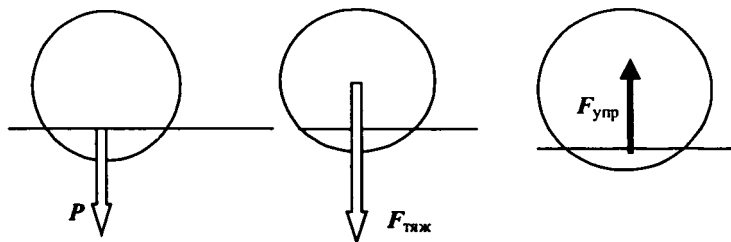
Вид тары	Количество целых яиц
Картонная	10
Пластиковая	8
Картонная без крышки	6

Добавим, что картонная тара бывает в виде лотков емкостью в 30 или 60 штук, существуют и небольшие закрытые контейнеры на 10 яиц.

А теперь внимание на экран. Для того чтобы вы лучше поняли смысл, напомним, что *вес* – это сила, с которой тело вследствие притяжения к Земле действует на опору или подвес.

Сила тяжести – сила, с которой Земля притягивает к себе тело.

Сила упругости – сила, возникающая в теле в результате его деформации и стремящаяся вернуть тело в исходное положение.



Если посмотреть на стеллажи с яйцами в супермаркете, мы увидим, что сотрудники магазина ставят коробки друг на друга. Возникает вполне логичный вопрос, могут ли нижние ряды быть раздавленными? И сколько составит урон?

В магазине мы увидели, что ставятся яйца в 7 рядов, одна упаковка стоит примерно 49 руб. Урон составит 343 руб. за один ряд. На основе наших расчётов можно сделать вывод, что экономически выгодно и целесообразно учитывать законы физики при хранении продуктов.

Вывод: наши эксперименты показали, что самой лучшей тарой для яиц является картонная упаковка, на втором месте – пластик, на третьем – картонная коробка без верха.

Мы предлагаем вам ещё два варианта применения использованной тары для яиц – вы можете хранить в ней ёлочные игрушки в течение года и использовать в качестве подставки под ноутбук (он не будет перегреваться).

Результаты 2-го эксперимента
(вес груза 320 Н)

Вид тары	Количество целых яиц
Картонная	10
Пластиковая	9
Картонная без крышки	2

Высокоселективный фильтр для систем цифрового телевидения

А.Ю. Королёва

Научный консультант – докт. техн. наук **В.П. Разинкин**,
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, Россия

alena1040@gmail.com

В России происходит стремительное развитие цифрового эфирного телевидения (ЦЭТВ), вследствие этого на сегодняшний день актуальной задачей является обеспечение заданного уровня фильтрации сигналов на выходе усилителей мощности и модуляторов. При работе со стандартом DVB-T2 необходимо увеличение фильтрации в соседнем канале, по сравнению с аналоговым телевидением, в среднем на 10 дБ. В работе предложена методика, которая обеспечивает выбор необходимых частот режекции фильтра в полосе заграждения, что не допускает синтез классических полиномиальных фильтров.

Исследованный канальный фильтр содержит каскадно включенные квазиэллиптический фильтр с заданными частотами режекции, согласованный линейный усилитель и двухконтурный полосовой фильтр (ПФ) с комбинированной связью.

Схема двухконтурного фильтра с комбинированной связью имеет хорошую физическую реализуемость и обеспечивает минимальные массогабаритные параметры. В качестве прототипа квазиэллиптического фильтра взят ПФ второго порядка с четвертьволновой связью. Далее произведено эквивалентное замещение параллельных колебательных контуров многомодовыми колебательными системами, выполненными в сосредоточенном элементном базисе, как показано на рис. 1.

Для этого использовано условие эквивалентности на центральной частоте полосы пропускания [1]:

$$\left. \frac{\partial B}{\partial \omega} \right|_{\omega=\omega_0} = \left. \frac{\partial B_e}{\partial \omega} \right|_{\omega=\omega_0},$$

где B – входная проводимость параллельного контура; B_e – проводимость многомодовой колебательной системы в сосредоточенном элементном базисе; $\omega_0 = \sqrt{\omega_{\max} \cdot \omega_{\min}}$ – центральная частота полосы пропускания фильтра.

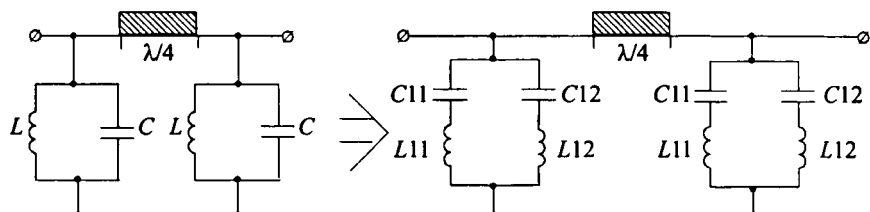


Рис. 1. Эквивалентное замещение параллельных колебательных контуров многомодовыми колебательными системами

Результаты компьютерного моделирования амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) приведены на рис. 2. Пунктирной линией показан график АЧХ квазиэллиптического фильтра, который имеет четыре симметрично расположенные частоты режекции. Результирующая АЧХ канального фильтра (сплошная линия) имеет высокую крутизну скатов и большое подавление в полосе заграждения.

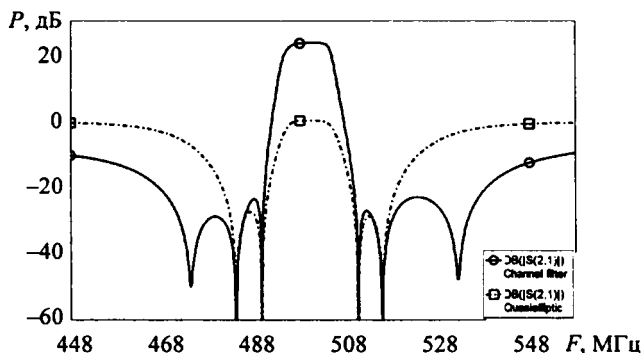


Рис. 2. АЧХ квазиэллиптического и канального фильтров

Таким образом, исследованный высокоселективный фильтр обеспечивает электромагнитную совместимость телевизионных и радиотехнических устройств в диапазоне частот от 0,05 до 2 ГГц. Предложенная структура и методика расчета телевизионного фильтра были использованы в аппаратуре, производимой в ООО «НПП Триада-ТВ» (г. Новосибирск).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абросимов А.А., Разинкин В.П. Эллиптические фильтры на сосредоточенных элементах // Доклады ТУСУРа. – 2012. – № 2. – Ч. 2. – С. 29–31

Органический тонкопленочный лазер красного диапазона спектра с продольной накачкой

И.Л. Лапина

*Научный консультант – канд. хим. наук **Р. М. Гадиров**,
Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

inna_lapina_92@mail.ru

На сегодняшний день современные научные исследования в области органической электроники и лазерных систем направлены на разработку новых органических материалов, которые можно использовать в качестве активных лазерных сред. Наибольший интерес представляют тонкопленочные активные среды, поскольку они могут быть внедрены в различные электронные устройства, используемые в медицине, спектроскопии и сенсорике.

В данной работе в качестве вещества для лазерно-активной среды рассматривается органический краситель Родамин 800, исходя из того, что длина волны генерации этого красителя (786 нм) лежит в окне прозрачности биологических тканей (700–1000 нм). Это позволяет использовать подобные лазеры в такой области медицины, как многофотонная конфокальная микроскопия, методика которой основана на возможности получать детальные трехмерные изображения биологических объектов и тканей за счет изменения фокусировки лазерного излучения и большей глубиной проникновения излучения на рассматриваемой длине волны [1].

Есть несколько проблем в области исследования тонкопленочных лазеров, связанных с потерей выходного излучения: технически очень трудно получить хорошее качество торцов органических пленок (необходимую для развития генерации вдоль пленки), так как структура материала аморфна; также важно подобрать резонатор, поскольку это один из основных элементов лазерной системы.

В связи с этим стоит задача, заключающаяся в выборе резонатора. В данной работе выбор был остановлен на продольной накачке с внешним резонатором. Принципиальное отличие данной схемы заключается в ее простоте; возможности вывода излучения из пленки с меньшими потерями; возможности варьировать параметры резонатора. Недостатком продольной схемы является необходимость использования диэлек-

трических (или голографических) зеркал в резонаторе. Так, входное зеркало должно быть максимально прозрачным для излучения накачки и непрозрачным для генерации, в то время как выходное зеркало – непрозрачным для излучения накачки и частично прозрачным для излучения генерации.

В работе были созданы методом полива тонкие пленки Родамина 800 в полиметилметакрилате (ПММА) и в сополимере полиметилметакрилат – изобутилметакрилат (ПММА-ИБМА) (0,02 г полимера на 1 мл раствора). Концентрация красителя в смеси растворителя (тетрагидрофуран) с полимером составила 10^{-4} моль/л. Толщина пленок измерялась на оптическом профилометре KLA-TencorMicroXam 100 и составила 10 мкм. Спектры поглощения и флуоресценции пленок исследовались на спектрофлуориметре CM2203. Максимум спектра поглощения для пленки в ПММА находится на длине волны $\lambda = 685$ нм, а для пленки в ПММА + ИБМА на $\lambda = 680$ нм, максимум длины волны флуоресценции – на 720 и 713 нм соответственно. Несмотря на высокую концентрацию красителя в пленке, оптическая плотность на длине волны возбуждения (532 нм) составляет всего 0,28 отн.ед., что говорит о том, что эффективное поглощение на длине волны накачки у Родамина 800 низкое и в таких условиях значительная часть излучения накачки проходит сквозь пленку. Спектры генерации получены при плотности мощности накачки 65 МВт/см^2 . КПД генерации в пленках составил порядка 0,6 %, длина волны генерации 786 нм. При этом было установлено, что в пленке формируется связанный волноводный резонатор излучение которого выходит из торцов пленки. Формирование такого резонатора является вредным, так как приводит к снижению КПД генерации в продольном резонаторе. Однако уменьшение площади возбуждения (введение диафрагмы, фокусировка) уменьшает нежелательные потери.

В дальнейшей работе планируется исследовать зависимость КПД генерации от толщины пленки, а также рассмотреть зависимость КПД от площади возбуждения путем введения в схему фокусирующего элемента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мишина Е.Д., Семин С.В., Швырков К.В. Нелинейно-оптическая микроскопия и спектроскопия сегнетоэлектрических и мультиферроидных материалов // ФТТ. – 2012. – Т. 50 – С. 836–842.

Разработка алгоритма маршрутизации трафика в программно-конфигурируемых сетях

И.А. Манов

*Научный консультант – канд. техн. наук А.Н. Тараканов,
ЯрГУ им. П.Г. Демидова, г. Ярославль, Россия*

ivanmanov@live.com

Программное конфигурирование сети связи можно назвать технологией будущего. Современная тенденция развития систем связи постоянно подтверждает этот факт. [1] Однако на сегодняшний день применение этой технологии в ее текущем виде оправдано лишь в больших сетях технологических гигантов и операторов связи. Но позаимствовав основные принципы работы программно-конфигурируемых сетей (централизованное управление, виртуализация сетевой функции и т.д.) и спроецировав их на ограниченное количество самостоятельных устройств, с единой политикой маршрутизации трафика, можно добиться гибкости в предоставлении сервисов различного рода. Всё дальнейшее рассмотрение будет проецировано на совокупности устройств, представляющих собой P2P-систему связи.

Основная часть

Цель данной работы – разработать единую политику управления механизмами маршрутизации трафика различного рода, опираясь на текущие требования к качеству предоставления сервисов, регламентируемые МСЭ-Т. Достижение поставленной цели возможно путем решения задачи разработки обобщенной метрики, подробно характеризующей каналы связи между устройствами в сети и задачи разработки механизма динамического перестроения логической топологии сети (управления маршрутами) для обеспечения качественной работы всей сети в целях удовлетворения текущим требованиям на качество предоставления того или иного вида сервиса.

Для получения информативной картины, характеризующей систему связи, введем интегральную метрику $W(i, j)$, учитывающую четыре параметра: процент потерянных пакетов, полосу пропускания, задержку между узлами i и j и вычислительную эффективность узла связи j , задача которого заключается в обработке трафика от узла i . Метрика, бу-

дет иметь следующий вид:

$$W(i,j) = \sqrt[4]{X_1 \left(1 - \frac{N_{i,j}}{M_{i,j}}\right)^2 + X_2 \left(1 - \frac{t_{\min}}{t_{i,j}}\right)^2 + X_3 \left(1 - \frac{B_{i,j}}{B_{\max}}\right)^2 + X_4 \left(\frac{1}{1 - \frac{L_j}{L_{j\max}}}\right)^2},$$

где X_1, X_2, X_3, X_4 – весовые коэффициенты, изменяющиеся в диапазоне от 0 до 1, и их сумма должна быть равна единице.

В процессе разработки была создана имитационная модель сети, состоящая из 9 узлов. Задача, решаемая системой связи, сводилась к обеспечению наилучшего качества передачи данных высокой плотности.

В ходе проведенных исследований было выявлено, что при равных весовых коэффициентах функции $W(i,j)$ средняя задержка и процент потерянных пакетов в течение всего сеанса связи сопоставимы с результатами работы модели эталонного алгоритма OSPF.

При приоритизации параметра, характеризующего задержку на канале связи значением $X_2 = 0,5$, при $X_1 = X_3 = X_4 = 0,167$, средняя задержка снизилась на 41% по сравнению с эталонным значением. Показатели характеризующих потери пакетов остались на том же уровне. При приоритизации параметра, характеризующего полосу пропускания каналов значением $X_3 = 0,5$, при $X_1 = X_2 = X_4 = 0,167$, средняя задержка снизилась на 31 % по сравнению с эталонным значением, однако потери пакетов снизились до нуля, что говорит о том, что был найден оптимум, удовлетворяющий текущим потребностям сети.

Использование предложенного механизма управления трафиком позволяет гибко управлять системой связи с учетом текущих потребностей и возможностей сети. Было показано, что, имея совокупность сетевых узлов, можно увеличить ее эффективность путем грамотного управления маршрутной информацией.

Существенным достоинством предложенного подхода к управлению механизмами маршрутизации является его возможность развертывания как в рамках текущих программно-конфигурируемых систем, так и в рамках отдельно взятой совокупности узлов связи, объединенной единой логикой организации сетевых ресурсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Thomas D. Nadeau and Ken Gray. SDN: Software Define Networks.* – O'Reilly Media, Inc., 2013.

Ультрафиолетовое излучение и его влияние на зрение человека

А.П. Мельникова

*Научный консультант – канд. пед. наук Н.О. Филатова,
Сибирский лицей, г. Томск, Россия*

nadeenf@sibmail.com

На протяжении всего существования человечества солнечный свет в представлении большинства людей ассоциировался со здоровьем и благополучием. В то же время с давних времен известно, что ультрафиолетовая составляющая спектра солнечного излучения может представлять опасность для человека. Еще Ксенофон описывает в своих трудах «снежную слепоту». С каждым днем становится актуальнее вопрос о необходимости защиты глаз от избытка солнечного света. К заболеваниям, связанным с воздействием солнечного света, относят возрастную катаракту, макулодистрофию, старение глаза, фотокератит, рак век. По сравнению с красным светом, синий свет с длиной волны от 400 до 530 нм обладает в 500 раз большей повреждающей способностью по отношению к органу зрения.

Всем известно, что очки в некоторой степени защищают от ультрафиолетового излучения. Но измерение количества ультрафиолета, достигающего глаз человека, представляет определенную проблему для простого обывателя.

Цель исследования: изучить ультрафиолетовое излучение, а также его влияние на зрение человека.

Задачи:

1. Изучить литературу об ультрафиолетовом излучении.
2. Изучить литературу о строении, болезнях человеческого глаза.
3. Ознакомиться с приборами, разработанными для данной области исследований.
4. Провести серию экспериментов по данной теме.
5. Сопоставить изученные данные.
6. Сделать вывод.

Наиболее эффективными в настоящее время в развитии науки методами исследования считаю: изучение литературы по данному вопросу, собственноручно проведенный эксперимент.

Объект исследования: ультрафиолетовое излучение.

Предмет исследования: влияние ультрафиолетового излучения на зрение человека.

В ходе исследования была проведена серия экспериментов по изучению степени проницаемости солнцезащитных очков для УФ-излучения и возможность использования солнцезащитных очков в качестве защиты от УФ-излучения.

В ходе исследования был использован измерительный прибор – спектрофотометр. Для исследования были отобраны 10 образцов солнцезащитных очков различных производителей, в разное время представленных на рынке Томска. Помимо места производства (производителя), изготовления (линзы были изготовлены из стекла либо пластика со специальным напылением). Результаты проведенных экспериментов показали, что далеко не все из проверенных экземпляров оказались достаточной защитой глаз от ультрафиолетового излучения. Однако в случае проверки выбранных очков при покупке при помощи описанного устройства возможно подобрать очки, которые будут защищать глаза от ультрафиолетового излучения.

В завершение своего исследования хотелось бы сделать вывод о сути ультрафиолетового излучения:

1) ультрафиолетовое излучение может быть как опасно для человека, так действовать ему во благо;

2) защищаться от ультрафиолетового излучения стоит, и с этим нужно быть внимательнее.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <http://www.vseozrenii.ru> – Все о зрении. Ультрафиолетовое излучение и наши глаза.
2. <http://vitaportal.ru> – Воздействие ультрафиолета на глаза.
3. <http://ultralight.at.ua> – Поражение органа зрения ультрафиолетовыми лучами.
4. <http://www.optica4all.ru> – Защита глаз от ультрафиолетового излучения с помощью солнцезащитных очков.

Применение углеродных нанотрубок

А.С. Поливанова

*Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук О.А. Доценко,
Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

anyuta.poliwanowa@yandex.ru

Нанотрубки – одно из самых выдающихся открытий современной науки. Еще в прошлом веке японский ученый Иджима в 1991 г., изучая осадок, который образуется на катоде при распылении графита в электрической дуге, обнаружил необычную структуру осадка. Он состоял из микроскопических нитей и волокон. Иджима с помощью электронного микроскопа сделал измерения, которые показали, что диаметр этих нитей не превышает нескольких нанометров, а длина от одного до нескольких микрон. Разрезав тонкую трубочку вдоль продольной оси, ученые смогли обнаружить, что она состоит из одного или нескольких слоев, каждый из которых представляет гексагональную сетку графита, основой которой является шестиугольники, в вершинах углов которых расположены атомы углерода. Расстояние между слоями такое же, как и между слоями в кристаллическом графите и равно 0,34 нм. Верхние концы таких трубочек закрыты многослойными полусферическими крышечками, каждый слой из которых составлен из пятиугольников и шестиугольников, которые, в свою очередь, напоминают структуру половинки молекулы фуллерена. Такие протяженные структуры, состоящие из свернутых гексагональных сеток с атомами углерода в узлах, получили название «углеродные нанотрубки» [1].

Взяв на вооружение открытие Иджима, ученые многих стран мира приступили к тщательному исследованию как всевозможных свойств данных структур, так и способов их получения и применения. Заметим, что изучаются не только углеродные нанотрубки, но и нанотрубки, полученные из других химических элементов [2, 3].

Так как научно-техническая информация, посвященная изучению нанотрубок, в основном содержит данные по углеродным нанотрубкам (по данным базы Scopus [4] 78 % статей посвящено углеродным нанотрубкам и 22 % – остальным нанотрубкам), то перед данной работой была поставлена цель: провести анализ научно-технических областей применения углеродных нанотрубок.

На диаграммах рис. 1 и 2 представлены результаты анализа, проведенного по данным базы цитирования Scopus по ключевому слову «carbon nanotubes».

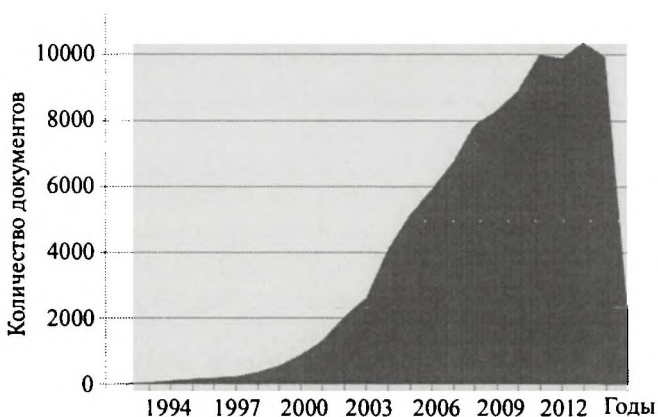


Рис. 1. Распределение количества документов, найденных по ключевому слову «carbon nanotubes», по годам (база данных Scopus) [4]

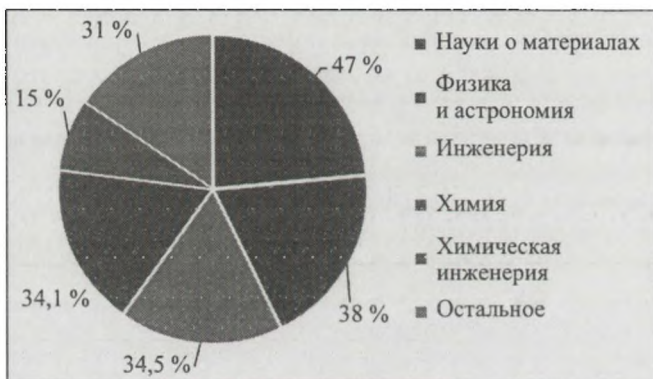


Рис. 2. Распределение количества документов, найденных по ключевому слову «carbon nanotubes», по областям знаний (база данных Scopus) [4]

Из диаграмм видно, что с каждым годом увеличивается число публикаций (рис. 1). Выборка по областям знаний (рис. 2) показывает, что

лидирующее место занимают науки о материалах, физика, технические науки и химия. То есть научно-техническая информация посвящена процессам получения углеродных нанотрубок, исследованию физических и химических свойств, а также возможности их применения в разнообразных инженерных приложениях.

На диаграмме (рис. 3) представлен результат анализа, проведенного по данным базы цитирования Scopus по ключевому слову «carbon nanotubes composite».



Рис. 3. Распределение количества документов, найденных по ключевому слову «carbon nanotubes composite» по областям знаний (база данных Scopus) [4]

Из диаграммы рис. 3 видно, что лидирующее место по композитам на основе нанотрубок занимают науки о материалах, инженерия, химия, физика и астрономия. Причем наблюдается корреляция между рис. 2 и 3, что указывает на то, что в большей мере нанотрубки применяют как наполнитель при изготовлении композиционных материалов для улучшения физико-химических свойств.

На протяжении всех лет ученые исследовали углеродные нанотрубки, их получение, а также применение. В химической промышленности углеродные нанотрубки получают с помощью метана. Известен способ получения графитовых нанотрубок путем разложения газообразных предельных и непредельных, линейных и циклических углеводородов C1-C6 на катализаторах. Ещё известен способ получения углеродного материала путем пиролиза углеводородов при температурах в интерва-

ле 400–3000 °С в присутствии 0,01–5 мас.% летучего металлоорганического катализатора и многие другие способы [5].

Углеродные нанотрубки достаточно широко применяются в различных областях науки и техники.

Инертные углеродные нанотрубки являются естественной защитой магнитных нанокластеров от окисления и других внешних воздействий, а также способствуют сохранению уникальной структуры нанокластеров, фиксируя ее при термической обработке. Используя это, можно моделировать структуру, магнитное состояние и другие магнитные параметры углеродных нанотрубок с интеркалированным металлом путем термовакуумной обработки и варьированием диаметра нанотрубок в процессе синтеза. Углеродные трубки с интеркалированными металлами, благодаря монодоменности нанокластеров и стабильности магнитного состояния металла, выделяют в особый класс магнитных материалов, которые эффективны в качестве магнитных сред, обеспечивающих высокую плотность записи информации. Большая поверхностная площадь нанотрубок обеспечивает их высокую адсорбционную способность. Они эффективно поглощают сероводород, диоксид серы, аммиак и др. [6].

Наличие пористой проницаемой однородной оболочки из углеродных нанотрубок на неорганических ультратонких волокнах фильтров значительно увеличивает качество улавливания субмикронных аэрозольных частиц. Тонкая оболочка нанотрубок превращает грубоволокнистый фильтр, который является подложкой, в суперфильтр, пригодный для улавливания аэрозольных наночастиц [7].

Канат, сплетенный из нанотрубок, может удерживать у Земли космическую станцию, позволяя подниматься на орбиту и спускаться обратно на лифте. Это фантастика, которая воплощается в жизнь в проекте NASA так называемого космического лифта. Он будет представлять собой кабель, соединяющий орбитальную станцию с платформой на поверхности Земли. Кабинки на гусеничном ходу будут перемещаться по кабелю вверх и вниз, перенося спутники и зонды, которые нужно вывести на орбиту. С помощью этого лифта на самом верху можно будет построить в космосе стартовую площадку для космических аппаратов, отправляющихся к Луне, Марсу и т.п. Оригинально решена проблема подачи энергии к самим лифтовым «кабинам»: трос будет покрыт солнечными батареями, либо кабины будут оснащены небольшими фотоэлектрическими панелями, которые с Земли будут подсвечивать мощные лазеры [8].

Предлагается использовать нанотрубки в качестве иглы сканирующего микроскопа. Обычно такое острие представляет собой остро заточенную вольфрамовую иглу, но по атомным меркам такая заточка все равно достаточно грубая. Нанотрубка же представляет собой идеальную иглу диаметром порядка нескольких атомов. Прикладывая определенное напряжение, можно подхватывать атомы и целые молекулы, находящиеся на подложке непосредственно под иглой, и переносить их с места на место [8].

Из представленного выше материала можно сказать, что углеродные нанотрубки относятся к многофункциональным материалам.

Таким образом, открытие углеродных нанотрубок относится к значительным достижениям современной науки. Это форма углерода по своей структуре занимает промежуточное место между графитом и фуллеренами. Однако многие свойства углеродных нанотрубок не имеют ничего общего ни с графитом, ни с фуллеренами. Это позволяет рассматривать и исследовать нанотрубки как самостоятельный материал, который обладает только присущими ему физико-химическими характеристиками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Pereplet.* – URL: <http://www.pereplet.ru/obrazovanie/stsoros/742.html> (Дата обращения 19.03.2015).
2. *Samulionis V., Banys J., Sanches-Ferrer A., and Mezzenga R.* Ultrasonic Characterization of Dynamic Elastic Properties of Polymer Composites with Inorganic Nanotubes // *Sensors & Transducers J.* – 2011. – V. 12. Special Issue. – P. 66–70.
3. *Pierini F., Lanzi M., Lesci I.G., and Roveri N.* Comparison between inorganic geometric chrysotile and multiwalled carbon nanotubes in the preparation of one-dimensional conducting polymer nanocomposite // *Fibers and Polymers.* – 2015. – V. 16. – Is. 2. – P. 426–433.
4. *Scopus.* – URL: <http://www.scopus.com/> (Дата обращения 20.03.2015).
5. *Findpatent.* – URL: <http://www.findpatent.ru/patent/243/2431600.html> (Дата обращения 20.03.2015).
6. *Томишко М.М., Демичева О.В., Алексеев А.М., Томишко А.Г., Клинова Л.Л., Фетисова О.Е.* Многослойные углеродные нанотрубки и их применение // *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева).* – 2008. – Т. LII. – № 5. – С. 40–41.
7. *Бураков А.Е., Иванова И.В., Буракова Е.А., Ткачев А.Г., Таров В.П.* Применение углеродных нанотрубок для повышения эффективности работы волокнистых фильтров сверхтонкого обеспыливания газов // *Материаловедение. Нанотехнологии.* – 2010. – Т. 16. – № 3. – С. 650–653.
8. *Елецкий А.В.* Углеродные нанотрубки // *УФН.* – 1997. – Т. 167. – № 9. – С. 967–971.

Загадка катушки Тесла

И. Протопопов, М. Черепанов, М. Бюранова

*Научный консультант – канд. пед. наук Н.О. Филатова,
Сибирский лицей, г. Томск, Россия*

nadeenf@sibmail.com

Современные биографы считали Н. Тесла «человеком, который изобрёл XX век» и «святым заступником» современного электричества. Сегодня человек очень тесно связан электромагнитными явлениями, частью которых является изобретение Тесла, поэтому мы считаем наш проект актуальным.

Нас его открытие очень заинтересовало, и мы решили воспроизвести в своем проекте часть его изобретения.

Цель: создание катушки Тесла в домашних условиях.

Задачи:

1. Изучить опыт Тесла и учебную литературу по данной теме.
2. Повторить опыт Тесла.
3. Продемонстрировать опыт.
4. Найти применение этому опыту в повседневной жизни.

Никола Тесла родился и вырос в Австро-Венгрии, в последующие годы в основном работал во Франции и США. В 1891 г. получил американское гражданство.

Широко известен благодаря своему вкладу в создание устройств, работающих на переменном токе, многофазных систем и электродвигателя, позволивших совершить так называемый второй этап промышленной революции. Также он известен как сторонник существования эфира: известны многочисленные его опыты и эксперименты, имевшие целью показать наличие эфира как особой формы материи, поддающейся использованию в технике.

Именем Н. Тесла названа единица измерения плотности магнитного потока (магнитной индукции).

Практический этап

Для сборки катушки Тесла мы использовали следующую цепь: для вторичной обмотки катушки брали медный провод диаметром 0,1 мм и длиной 200 м, а в качестве каркаса – канализационную трубу в диамет-

ром 5 см и длиной 34 см. Количество витков 1000. Для первичной обмотки мы использовали медную проволоку с количеством витков 5. Также нам понадобились такие радиодетали: транзистор D13007, небольшой радиатор для этого транзистора, а также два резистора: один переменный на 50 кОм, второй постоянный на 75 Ом. Для цепи понадобилось напряжение 18 В, поэтому мы использовали понижающий трансформатор.

Попробуем показать нашу катушку Тесла в действии. Для этого используется обычная энергосберегающая лампочка с рабочим напряжением в 220 В. Попробуем поднести ее к катушке. Лампочка загорается. Еще попробуем поднести люминесцентную лампу к катушке. Лампа тоже загорается. Теперь покажем, какие бывают газовые разряды на конце катушки. Для демонстрации используем скрепку, поднесем ее к выходу на иголке. Между иголкой и скрепкой образуется газовый разряд стример. Всего газовых разрядов существует четыре вида:

- 1) стример,
- 2) спарк,
- 3) дуговой разряд,
- 4) коронный разряд.

Стримеры катушки Тесла не причиняют болевых ощущений. Некоторые люди по незнанию приписывают это явление к скин-эффекту – непроникновению тока в глубь проводника. Однако проникание составляет несколько сантиметров (порядка 5–7 см). Настоящая причина в том, что нервные окончания организма человека не реагируют на высокие частоты. Ток, проникая внутрь, все же разогревает внутренние ткани органов, что может привести к серьезным заболеваниям через несколько лет.

Использование трансформатора Тесла

Выходное напряжение трансформатора Тесла может достигать нескольких миллионов вольт. Это напряжение в резонансной частоте способно создавать внушительные электрические разряды в воздухе, которые могут иметь многометровую длину. Эти явления очаровывают людей по разным причинам, поэтому трансформатор Тесла используется как декоративное изделие.

В начале XX века трансформатор Тесла также нашёл популярное использование в медицине. Пациентов обрабатывали слабыми высокочастотными токами, которые, протекая по тонкому слою поверхности

кожи, не причиняют вреда внутренним органам, оказывая при этом тонизирующее и оздоравливающее влияние.

В наши дни трансформатор Тесла не имеет широкого практического применения. Он изготавливается многими любителями высоковольтной техники ради сопровождающих его работу эффектов. Также он иногда используется для поджига газоразрядных ламп и для поиска течей в вакуумных системах.

Трансформатор Тесла используется военными для быстрого уничтожения всей электроники в здании, танке, корабле. Создается на доли секунды мощный электромагнитный импульс в радиусе нескольких десятков метров. В результате перегорают все микросхемы и транзисторы, полупроводниковая электроника. Данное устройство работает совершенно бесшумно. В прессе появилось сообщение, что частота тока при этом достигает 1 ТГц.

Вывод: в результате экспериментов был собран трансформатор Тесла. Он является простым в изготовлении и настройке прибором, предложенная нами конструкция является недорогой и применяется в различных сферах человеческой жизни. Это устройство является безопасным для использования в учебных целях, при соблюдении правил ТБ во время работы с трансформатором.

Исследование влияния основных параметров эпитаксиального роста на свойства гетероструктур Si/Ge с квантовыми точками Ge

В.Ю. Серохвостов, А.А. Пицагин

*Научный руководитель – докт. физ.-мат. наук **А.П. Коханенко**,
Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

slavjan.grey@mail.ru

Формирование эпитаксиальных слоев для полупроводниковых структур является одним из основных технологических процессов современной микроэлектроники. Развитие микроэлектроники на пути к нанозлектронике выдвигает более жесткие требования к размерам элементов и толщине рабочих слоев полупроводниковых приборов. Технология молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ) в условиях сверхвысокого вакуума позволяет выращивать тонкие (до 1 нм) эпитаксиальные слои и гетероструктуры с резкими гетеропереходами. Проведение ростовых процессов в условиях сверхвысокого вакуума позволяет свести к минимуму влияние среды, а также открывает возможность объективного контроля за параметрами эпитаксиального роста и качеством структуры.

Основная часть

В методе МЛЭ пучки атомов, являющихся компонентами растущего соединения, направляются в сверхвысоком вакууме на нагретую подложку, где и происходит синтез соединения и рост эпитаксиального слоя. Источники пучков атомов – испарительные ячейки, в каждой из которых содержится свой материал. Испарительные ячейки называются также эффузионными ячейками Кнудсена. Ячейка Кнудсена содержит пар в равновесии с конденсированной фазой. Она имеет апертуру в виде малого отверстия, составляющую $\sim 1/10$ длины свободного пробега. Давление внутри ячейки много больше давления снаружи. Испарительная ячейка должна обеспечивать быстрое и точное регулирование интенсивности молекулярного пучка, предотвращать взаимодействие испаряемого материала с конструктивными элементами установки, а также обеспечивать оптимальную активацию молекул для их эффективно-

го встраивания в растущую структуру. В настоящее время основными источниками молекулярных пучков, используемых в установках МЛЭ, являются твердотельные источники.

Технология МЛЭ широко распространена в фундаментальных исследованиях и представляет собой развитие метода термического напыления в вакууме. МЛЭ-установка включает в себя испарители – источники молекулярных пучков компонентов осаждаемого соединения, которые направляются на подложку (рис. 1) [1].

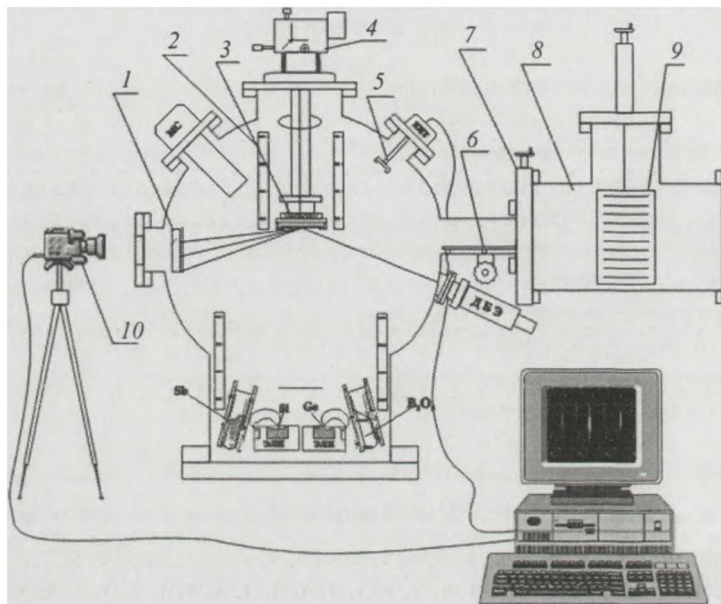


Рис. 1. Схема установки МЛЭ: 1 – люминесцентный экран; 2 – криопанель; 3 – нагреватель; 4 – манипулятор; 5 – кварцевый измеритель толщины; 6 – рейка для транспортировки подложек; 7 – шибер; 8 – камера МЗВ; 9 – манипулятор с кассетами; 10 – система регистрации ДБЭ [2]

Эпитаксиальный рост в МЛЭ включает в себя следующие элементарные процессы:

- адсорбция на подложке атомов или молекул из пучка;
- диффузия атомов по поверхности подложки;
- встраивание атомов в кристаллическую решетку растущего слоя;

- образование и дальнейший рост двумерных зародышей на подложке или на поверхности растущего слоя;
- взаимодиффузия атомов, вошедших в решетку;
- термическая десорбция атомов, не вошедших в решетку.

В работе представлены экспериментальные данные по синтезу наногетероструктур Ge/Si с квантовыми точками Ge при различных температурах роста и скоростях осаждения Si и Ge. Приведены результаты измерений морфологии поверхности методом атомно-силовой микроскопии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Филатов Д.О., Исаков М.А., Круглова М.В. Фотозлектрические свойства наноструктур GeSi/Si: учеб. пособие.* – Н. Новгород: ННГУ, 2010. – 118 с.
2. *Установка молекулярно-лучевой эпитаксии «Катунь»* [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.chemiemanian.ru/chemies-10048-1.html>, свободный.

Использование оперативно доступных спутниковых данных для определения скорости и направления облачности

Н.Н. Скорород

*Научный консультант – канд. техн. наук А.И. Елизаров,
Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск, Россия*

nik.tom92@yandex.ru, alex@iao.ru

В связи с тем, что облачность играет важнейшую роль в радиационном балансе, актуальным является изучение распространения различных типов облачности и её движения. Основными источниками такой информации являются искусственные спутники Земли, предоставляющие данные в виде изображений. В настоящий момент колоссальные объёмы информации поступают со спутников и, к сожалению, не имеется отлаженной системы её обработки. Одним из этапов обработки информации спутниковых данных являются оценки интегральных характеристик облачности и их изменения во времени. Такая информация может быть использована в составлении краткосрочных прогнозов, в авиационной метеорологии и актуальна в различных научных исследованиях.

Основная часть

В настоящее время существует возможность получать информацию об облачности как из специализированных источников, так и из открытых источников. К специализированным источникам относятся различные транснациональные научно-исследовательские спутники с различными дистанционными зондами для наблюдения за окружающей средой и изменением климата. К открытым источникам относится набор картографических приложений для web-браузеров.

Достоинством специализированных источников является высокое разрешение получаемых изображений, что позволяет использовать их в прикладных задачах. Так, например, на данных снимках можно произвести разделение облачности по слоям и определить их тип.

Основным недостатком является тот факт, что обновление такого типа данных обычно происходит 2 раза в день, что существенно затрудняет оперативную обработку информации об облачности. И кроме

того, большая часть специализированных источников не находятся в открытом доступе, либо требуется ежемесячная оплата такой информации.

Открытые источники спутниковых данных позволяют получить обновление информации в среднем с интервалом 1–2 часа, что очень важно для общей оценки облачного покрова.

Среди таких источников можно выделить сервисы как Wunderground, Openweathermap, Google Maps, предоставляющих свой интерфейс программирования приложений (API), что, в свою очередь, позволяет оперировать различным набором данных.

Цель исследования заключается в использовании информации об облачности, получаемой с помощью оперативно доступных спутниковых изображений земной поверхности и атмосферы, получаемых из открытых источников: разработать технологию определения скорости и направления перемещения облачности, а также сделать оценку возможности составления краткосрочного прогноза.

Поиск сцены по образцу в видеопотоке

В.А. Соловьёв

*Научный консультант – канд. техн. наук В.Т. Калайда,
Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

sovictor_tomsk@hotmail.com

Существующие в настоящее время подходы к решению задачи поиска заданной сцены в видеопотоке обладают двумя недостатками: невысоким быстродействием и недостаточной для практического применения точностью. При поиске сцены по образцу нужно уметь эффективно решать две подзадачи: быстро находить области, схожие с образцом, и проверять соответствие найденной области и образца.

Гистограммы. Гистограммы зарекомендовали себя в качестве хорошей характеристики изображения: они полностью отбрасывают информацию о взаимном расположении частей изображения, сохраняя только данные о распределении яркости (или цвета) [1]. Такое представление изображения сохраняет некоторую инвариантность к изменению поворота и формы объекта.

Процедура Mean Shift. Mean Shift [2] позволяет для любой точки в пространстве состояний найти ближайший пик плотности распределения. Это может быть использовано для нахождения новой позиции объекта при переходе от одного кадра к другому. Кроме того, та же процедура позволяет по гистограмме образца найти фрагмент изображения, содержащий объект.

Несомненным плюсом Mean Shift является тот факт, что, используя его, мы параллельно определяем направление движения объекта.

Сплатиограммы. В [1] предлагается идея сплатиограмм – обобщения гистограмм, включающего моменты более высокого порядка. Сплатиограммы второго уровня содержат пространственное среднее и пространственную ковариацию для каждого столбца гистограммы. В работе также предлагается соответствующая модификация процедуры Mean Shift.

SIFT. Недостатком описанных выше методов является тот факт, что в характеристику изображения вносит вклад каждая его точка, каким бы плохим этот вклад ни был. Чтобы обойти эту проблему, нужно выбирать некоторые особые (ключевые) точки и только на их основе сравнивать изображения друг с другом.

Идею использования особых точек реализует алгоритм SIFT (Scale Invariant Feature Transform) [3]. Полученные SIFT особые точки имеют дескрипторы (описания), инвариантные к смещению и повороту изображения, а также частично к масштабированию и изменению яркости.

SURF. Метод SURF [4] ищет особые точки с помощью матрицы Гессе. Детерминант матрицы Гессе, или гессиан, достигает экстремума в точках максимального изменения градиента яркости, хорошо детектируя пятна, углы и края линий.

К аффинным преобразованиям SURF не инвариантен, в чём явно проигрывает менее чувствительному к ним SIFT. С другой стороны, алгоритм отличается повышенным относительно SIFT быстродействием.

Заключение

На основе анализа литературы, связанной с распознаванием сцены в видеопотоке, можно заключить, что для эффективного поиска объекта в последовательности кадров по его образцу могут быть применены алгоритмы SIFT или SURF. На данном этапе сложно определить, использование какого из этих двух алгоритмов целесообразнее.

Когда объект локализован, направление его движения может быть дополнительно определено при помощи процедуры Mean Shift.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Birchfield S.T. and Rangarajan S.* Spatiograms versus histograms for region-based tracking // Computer Vision and Pattern Recognition, 2005. CVPR 2005. IEEE Computer Society Conference on. – IEEE, 2005. – Т. 2. – С. 1158–1163.
2. *Comaniciu D. and Meer P.* Mean shift: A robust approach toward feature space analysis // Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on. – 2002. – V. 24. – No. 5. – P. 603–619.
3. *Lowe D.G.* Distinctive image features from scale-invariant keypoints // Int. J. Computer Vision. – 2004. – V. 60. – No. 2. – P. 91–110.
4. *Bay H. et al.* Speeded-up robust features (SURF) // Computer vision and image understanding. – 2008. – V. 110. – No. 3. – P. 346–359.

Инфракрасные обогреватели – мифы и реальность

Н. Стрельцова

*Научный консультант – канд. пед. наук Н.О. Филатова,
Сибирский лицей, г. Томск, Россия*

nadeenf@sibmail.com

Для комфортной жизни человеку необходимо тепло. В осеннее время, когда отопительный сезон еще не начался, встает необходимость обогрева своего жилья, выборе обогревателя. В магазинах нам зачастую предлагают новинки, «новые технологии». Одной из таких новинок являются инфракрасные обогреватели. В чем же особенность этих новинок и действительно ли это «новинки», предлагается рассмотреть.

Цель работы: изучение принципа работы и особенностей инфракрасных обогревателей.

Задачи:

- 1) выяснить свойства инфракрасного излучения;
- 2) изучить устройство инфракрасных обогревателей;
- 3) изучить устройство наиболее распространенных обогревателей (электрических, масляных);
- 4) сравнить инфракрасные и электрические обогреватели;
- 5) проанализировать предложения на рынке бытовой техники.

Объект исследования: инфракрасное излучение.

Предмет исследования: обогреватели.

В процессе выполнения работы были получены следующие результаты. Инфракрасное излучение, или инфракрасные лучи, – это электромагнитное излучение, занимающее спектральную область между красным концом видимого света (с длиной волны 0,74 мкм) и коротковолновым радиоизлучением (1–2 мм). Диапазон ИК-излучения делится на три составляющих: коротковолновая ($\lambda = 0,74\text{--}2,5$ мкм), средневолновая ($\lambda = 2,5\text{--}50$ мкм) и длинноволновая ($\lambda = 50\text{--}2000$ мкм). Иначе инфракрасное излучение называют тепловым, оно воспринимается кожей как ощущение тепла, например, когда мы выходим на солнце или находимся у костра. Чем сильнее нагрето тело, тем короче длина волны инфракрасного излучения.

Глубина проникновения и соответственно прогрева организма инфракрасным излучением зависит от длины волны. Коротковолновое излучение способно проникать в организм на глубину нескольких сантиметров и нагревает внутренние органы, в то время как длинноволновое излучение задерживается влагой, содержащейся в тканях, и повышает температуру по-

кровов тела. Особенно опасно воздействие интенсивного инфракрасного излучения на мозг – оно может вызвать тепловой удар.

У большинства инфракрасных обогревателей один и тот же принцип действия и схожая в общих чертах конструкция, по которой его всегда можно узнать. По сути, все инфракрасные обогреватели – это греющие лампы или панели. В то время как отопительные приборы, представляющие противоположный фронт (батареи, радиаторы, конвекторы, тепловентиляторы), – это теплообменники с разными рабочими средами. Радиатор системы водяного отопления, электроконвектор или маслонаполненный радиатор – это нагретое тело, с которого воздух осуществляет теплосъем с нагретой жидкости. При этом, чем больше площадь поверхность радиатора, тем больше теплообмен и тем лучше радиатор. Качество обогрева помещения зависит от температуры жидкости и площади поверхности радиатора. В то время как инфракрасный обогреватель – это нагретое тело, оснащенное дефлектором, формирующим пучок тепловых инфракрасных лучей, практически не взаимодействующих с воздухом. Качество обогрева помещения зависит от температуры нагревателя и качества дефлектора излучателя.

Традиционные обогреватели (масляные, электрические, конвекционные) нагревают воздух, а инфракрасные – предметы (стены, потолок, мебель), которые затем отдают тепло воздуху (рис. 1). Лишь менее 10 % энергии уходит на бесполезный нагрев воздуха под потолком. Происходит это за счет того, что нагревательные элементы инфракрасных обогревателей излучают в диапазоне, который мало поглощается воздухом. Исследования учёных доказали, что лучшим диапазоном волн для человека является

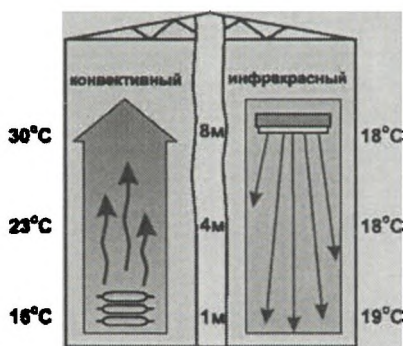


Рис. 1. Отличие инфракрасных обогревателей от конвективных

средневолновый, причём не вся его часть, а та, которая лежит в интервале 5–15 мкм. Тепловое излучение самого человека составляй 9,6 мкм, то есть оно находится как раз в этом интервале. Можно сказать, что все нагретые приборы (включая нас с вами) являются инфракрасными обогревателями.

Спектр инфракрасного излучения напрямую зависит от температуры нагревания. Собственно нагревательным элементом и отличаются инфракрасные обогреватели от других типов обогревателей. Безусловным преимуществом инфракрасных обогревателей является скорость нагрева.

Инфракрасные обогреватели сегодня постепенно завоевывают рынок отопительных приборов. Хотя приставка «инфракрасный» позволяет маркетологам повысить стоимость прибора. Но, как мы выяснили, «инфракрасный» не означает что-то новое. Наши обычные обогреватели, которые совмещают в себе и конвекционный тип передачи тепла и лучистый, ничем не уступают современным инфракрасным. Только ценовая разница очень значительная. Цена на инфракрасный обогреватель среднего класса составляет около 6–10 тыс. руб., цена на электрический (конвектор, масляный и пр.) обогреватель также среднего класса составляет около 1–3 тыс. руб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <http://gidotopleniya.ru> – Как сделать правильный выбор инфракрасного электро-обогревателя?
2. *Ковалев В.* Домашнее солнце (обзор рынка инфракрасных отопительных приборов) // Идеи вашего дома. – 2004. – № 1.
3. <http://www.energomir.su> – Как работает ИК-обогреватель.
4. <http://www.ltv.ru> – программа «Доброе утро», «Инфракрасный обогреватель» от 20.01.14.
5. <http://www.4living.ru> – Устройство ИК-обогревателей.
6. <http://onyxmef.narod.ru> – Инфракрасное тепло.
7. <http://www.energosovet.ru> – Что такое инфракрасный обогрев?
8. <http://ydoma.info/> – Какой обогреватель выбрать?

Комплексные волны в круглых волноводах с многослойным заполнением

А.А. Сутулин

*Научный консультант – канд. физ.-мат. наук А.А. Жуков,
Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

Jackhammer477@gmail.com

В работе исследуются комплексные волны в круглых многослойных экранированных волноводах с различными значениями магнитных проницаемостей слоев. Определены зависимости постоянных распространения комплексных волн запредельного двухслойного волновода от параметров слоев.

Основная часть

Круглые волноводы с радиально ступенчатыми на поперечном сечении неоднородностями обладают рядом особенностей, что позволяет создавать на их основе преобразователи для контроля диэлектрической [1, 2] и магнитной проницаемостей материалов и сред [3, 4]. При определенных значениях геометрических и материальных параметров слоев в таких структурах возможно существование комплексных волн при отсутствии потерь в заполняющих средах [5–7]. На предмет существования комплексных волн рядом авторов исследованы круглый волновод с неоднородным по радиусу диэлектрическим заполнением и прямоугольный волновод с одномерной диэлектрической неоднородностью. Показано, что в круглом волноводе с неоднородным заполнением для несимметричных волн существуют области комплексных волн. Несимметричные волны в такой структуре являются гибридными – все шесть составляющих электромагнитного поля не равны нулю. В то же время для симметричных волн не существует комплексно-сопряженных пар решений волновых уравнений [5]. Экспериментально доказано существование в экранированном волноводе без потерь или с малыми потерями волн, имеющих комплексные постоянные распространения. Рассчитаны и экспериментально исследованы некоторые СВЧ-устройства, работа которых основана на специфических свойствах волн частично заполненных круглых волноводов [6].

В данной работе исследуются комплексные волны экранированного двухслойного цилиндрического волновода при изменении отношений радиусов слоев и их магнитных проницаемостей. Показано, что при определенных геометрических параметрах и фиксированных значениях магнитных проницаемостей слоев экранированного двухслойного волновода в такой структуре возможно существование комплексных волн.

На рис. 1 показаны зависимости действительной и мнимой частей нормированной постоянной распространения βb волны EH_{11} от коэффициента заполнения двухслойного волновода a/b (b – радиус волновода, a – радиус внутреннего слоя). Пунктирные линии соответствуют действительной части $\beta' b$, а сплошные линии – мнимой части $\beta'' b$ нормированной постоянной распространения ($\beta = \beta' - i\beta''$). Диэлектрическая проницаемость внутреннего и внешнего слоя равна 10 ($\epsilon_1 = \epsilon_2 = 10$). Магнитная проницаемость μ_2 внешнего слоя равна 1. Волновое число свободного пространства $k_0 b$, нормированное на радиус волновода, равно 0,04. Кривые 1, 2, 3 – зависимости нормированной постоянной распространения от коэффициентов заполнения волновода при значениях магнитной проницаемости μ_1 внутреннего слоя равных 1000, 500 и 100 соответственно.

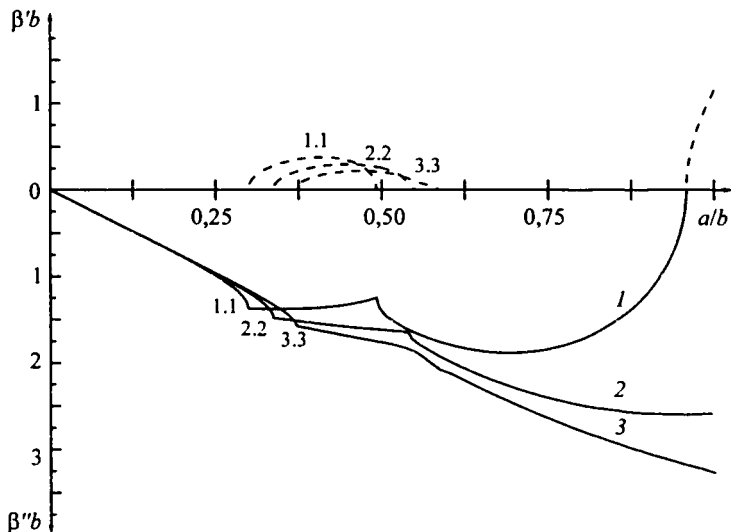


Рис. 1. Зависимость постоянной распространения волны EH_{11} от коэффициента заполнения в двухслойном волноводе

Из графика видно, что при определённых параметрах заполнения волновода постоянная распространения становится комплексной величиной, что соответствует комплексным волнам. Эти области обозначены на графике 1.1, 2.2 и 3.3.

Расчёты показывают, что комплексные волны в структурах со скачком магнитной проницаемости слоев возникают при меньших значениях коэффициента заполнения волновода, чем волны в структурах со скачком диэлектрической проницаемости слоев. Этот факт можно объяснить различной радиальной зависимостью составляющих электрического и магнитного полей рассматриваемого типа волны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жуков А.А., Мещеряков В.А., Редькин Г.А. Собственные волны HE_{11} и EO_1 в запередельном двухслойном изотропном круглом волноводе // Изв. вузов. Физика. – 2010. – Т. 53. – № 9/2. – С. 195–197.
2. Жуков А.А., Мещеряков В.А., Редькин Г.А. Запередельные волноводные преобразователи для контроля диэлектрической проницаемости материалов и сред // Ползуновский вестник. – 2011. – № 3/1. – С. 83–85.
3. Жуков А.А., Редькин Г.А., Ширенкова О.И. Измерительные преобразователи на основе запередельных двухслойных круглых волноводов // Изв. вузов. Физика. – 2008. – Т. 51. – № 9/2. – С. 172–174.
4. Жуков А.А., Мещеряков В.А., Редькин Г.А. Устройство измерения магнитной проницаемости материалов на основе запередельного круглого двухслойного волновода // Доклады ТУСУРа. – 2011. – № 2(24). – Ч. 1. – С. 245–248.
5. Веселов Г.И., Раевский С.Б. Слоистые металлодиэлектрические волноводы. – М.: Радио и связь, 1988. – 248 с.
6. Раевский А.С., Раевский С.Б. Комплексные волны. – М.: Радиотехника, 2010. – 224 с.
7. Pollock J.G. and Iyer A.K. Below-cutoff propagation in metamaterial lined circular waveguides // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 2013. – V. 61. – No. 9. – P. 3169–3178.

Парящий в невесомости гироскоп

А. Текаева, Н. Кухаренко

Научный консультант – учитель физики **С.А. Ревера**,
МАОУ СОШ № 5, г. Томск, Россия

Revera91@mail.ru

Цель: изучение вращательного движения на примере сконструированного гироскопа.

Задачи:

- 1) рассмотреть вращательное движение;
- 2) собрать собственными руками гироскоп;
- 3) Найти применение гироскопа в повседневной жизни.

Гироскоп — устройство, способное реагировать на изменение углов ориентации тела, на котором оно установлено, относительно инерциальной системы отсчета. Простейшим примером является юла (волчок).

У гироскопа есть две оси: ось вращения, которая может изменять свое направление в пространстве, и ось, которая может менять угловую скорость вращения.

Гироскоп изобрёл Иоганн Боненбергер и опубликовал описание своего изобретения в 1817 г. Однако французский математик Пуассон ещё в 1813 г. упоминает Боненбергера как изобретателя этого устройства.

В 1852 г. французский учёный Фуко усовершенствовал гироскоп и впервые использовал его как прибор, показывающий изменение направления (в данном случае — Земли), через год после изобретения маятника Фуко, тоже основанного на сохранении вращательного момента. Именно Фуко придумал название «гироскоп». Фуко, как и Боненбергер, использовал карданов подвес.

Впервые на практике гироскоп был применён в 1880-х годах инженером Обри для стабилизации курса торпеды. В XX веке гироскопы стали использоваться в самолётах, ракетах и подводных лодках вместо компаса или совместно с ним.

Китайский волчок. Обычный волчок после раскручивания (в любую сторону) обладает следующими тремя свойствами: 1) направление вращения постоянно в процессе вращения; 2) точка на волчке, касающаяся плоскости, не изменяется; 3) расстояние от центра тяжести до точки опоры в процессе остается тем же.

На первый взгляд кажется, что эти три свойства должны наблюдаться у любого волчка (не содержащего внутри источника энергии). Однако необычная форма и неравномерное распределение массы по телу волчка может привести к иному характеру вращения, на первый взгляд противоречащему законам сохранения: через некоторое время после начала вращения волчок переворачивается и начинает вращаться, касаясь плоскости другой своей точкой; направление вращения изменяется на противоположное, а центр тяжести поднимается.

Практическая часть проекта.

1) Взяли деревянную ось, обмотали ее изолентой, чтобы магнитик и два кольца крепко на нем держались, насадили их на основу – получил аналог волчка.

2) Соединили два больших круглых магнита, сверху них расположили дощечку.

3) Один взял «волчок» и начал его раскручивать на доске. Другой человек, после удачной раскрутки «волчка», взял по обеим сторонам дощечку и начал медленно ее поднимать вверх.

4) Подняли дощечку вверх и, немного снизив высоту, удостоверились, что волчок парит, убрали дощечку, опыт удался, чего мы и добились.

Игрушки на основе гироскопа. Самыми простыми примерами игрушек, сделанных на основе гироскопа, являются йо-йо, волчок и юла. Диаболо – одна из разновидностей волчков. Очень часто гироскоп называют волчком, а волчок — гироскопом. И хотя конструктивно гироскоп и волчок отличаются друг от друга, они имеют много общего в характере движения. И гироскоп, и волчок – это тела, способные быстро вращаться вокруг своей оси симметрии, имеющей неподвижную точку, оба обладают способностью устойчиво сохранять при вращении направление своей оси в пространстве, совершать прецессию.

Ряд радиоуправляемых вертолётов использует гироскоп, применяется в навигации.

Гироскоп в спортивных тренажерах. Гироскопический тренажёр — спортивный тренажёр, принцип работы которого основан на свойствах двухосного роторного гироскопа.

Является малогабаритным тренажёром, используемым для создания нагрузки мышц и суставов кисти руки. Для достижения высоких степеней раскручивания ротора гироскопического тренажёра задействуются мышцы предплечья, плеча и плечевого пояса.

В некоторой степени этот тренажёр можно отнести к предметам развлечения (игрушкам), в силу своих довольно необычных свойств демонстрирующих физические законы в области классической механики. Представляет собой небольшой предмет шаровидной формы, который может прочно обхватываться ладонью и удерживаться пальцами одной руки взрослого человека.

Применение гироскопа в повседневной жизни. Из школьного курса мы знаем, что коленный сустав соединяет бедренную кость и кости голени. Внутри коленки есть мениски, а снаружи ее закрывают суставная сумка и коленная чашечка, прикрепленные связками.

Внутри кости соединены крестообразным комплексом, похожим на букву «X» – крестовидной связкой. То есть крестообразный комплекс – это сверхточный датчик со всеми возможными типами рецепторов. В нем есть рецепторы давления, кручения, сжатия, свободные нервные окончания — всего примерно по 300 в каждой связке.

Когда на коленку действует нагрузка, моментально идет проверка в сверхточном датчике – гироскопе: не чрезмерна ли она. В крестовидной связке ученые обнаружили суперпроводящие волокна, обеспечивающие мгновенную передачу такого сигнала. Если в обычных волокнах скорость передачи сигнала от 40 до 80 м/с, то в этой связке скорость проведения больше 180 м/с.

Вывод. Мы попробовали сконструировать гироскоп своими руками, а при исследовании выяснили, что этот прибор широко используется в жизни.

Информационное обеспечение лабораторного практикума по курсу «Схемотехника аналоговых электронных устройств»

М.А. Ткачёв

*Научный консультант – канд. физ.-мат. наук А.А. Жуков,
Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

mt-194@mail.ru

На радиофизическом факультете Томского государственного университета для повышения уровня подготовки студентов и качества их самостоятельной работы автором разработан электронный учебный курс (ЭУК) «Схемотехника аналоговых электронных устройств. Лабораторный практикум». Курс предназначен для информационного и методического обеспечения одноименной общеобразовательной дисциплины [1].

Целью разработанного электронного ресурса является базовая подготовка студентов в области моделирования, экспериментального исследования и применения аналоговых электронных схем в современной радиоэлектронной аппаратуре, а также эффективного использования современных компьютерных средств схемотехнического моделирования и натурного макетирования радиоэлектронных устройств.

ЭУК реализован в системе дистанционного обучения Moodle и размещен на образовательном сервере радиофизического факультета Томского госуниверситета (<http://info.rff.tsu.ru/>). Фрагмент главной страницы курса приведен на рис. 1.

Система Moodle разработана для создания онлайн-курсов. Она предлагает широкий спектр возможностей для полноценной поддержки процесса обучения: разнообразные способы представления учебного материала, проверки знаний и контроля успеваемости [2]. Каждый студент факультета имеет возможность доступа к системе Moodle как из учебных аудиторий, так и с любого компьютера, подключенного к сети интернет.

Электронный учебный курс включает в себя описания программы схемотехнического моделирования Micro-Cap [3], комплекта виртуальных измерительных приборов NI ELVIS II+ и шести лабораторных работ по различным разделам курса:

1. Основы работы с программой схемотехнического моделирования Micro-Cap и аппаратной платформой NI Elvis II+.

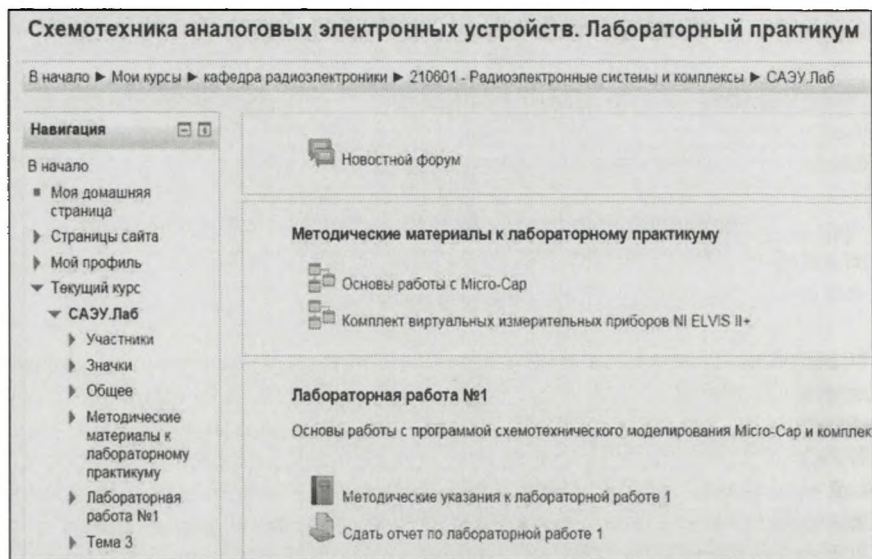


Рис. 1. Фрагмент главной страницы электронного учебного курса

2. Исследование характеристик и параметров биполярного транзистора.

3. Исследование усилителя на биполярном транзисторе в схеме с общим эмиттером.

4. Исследование каскодной схемы (общий эмиттер – общая база).

5. Исследование свойств дифференциального каскада.

6. Комплементарные усилители мощности в режимах А и АВ.

В лабораторных работах предусмотрено компьютерное моделирование, различные виды компьютерного анализа рассматриваемых элементов и схем, а также их экспериментальное исследование с помощью комплекта виртуальных приборов NI Elvis II+ [4].

По лабораторным работам студенты на компьютере создают отчеты и в рамках электронного ресурса отправляют их на проверку преподавателю. Результаты работы оцениваются. Оценки доступны студентам для просмотра. В рамках электронного ресурса средствами системы Moodle ведется журнал текущей успеваемости, в который автоматически заносятся оценки студентов по лабораторным работам. Это позволяет оценить работу студентов в семестре и упрощает оценку их знаний на экзамене.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дейкова Г.М., Жуков А.А. Схемотехника аналоговых электронных устройств. учебно-методическое пособие. – Томск: [б. и.], 2013. – 232 с.
2. Анисимов А.М. Работа в системе дистанционного обучения Moodle. – Харьков: ХНАГХ, 2009. – 292 с.
3. Амелина М.А., Амелин С.А. Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap. Версии 9, 10: учеб. пособие. – СПб.: Лань, 2014. – 632 с.
4. Комплект виртуальных измерительных приборов для учебных лабораторий NI ELVIS II. Руководство пользователя. – URL: ftp://ftp.ni.com/pub/branches/russia/ni_elvis/ni_elvis_2_user_guide.pdf. (Дата обращения 10.04.2015).

Исследование магнитной анизотропии нанопорошков гексаферритов $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ методом ферромагнитного резонанса

М.Р. Уфимцев

*Научный консультант – канд. физ.-мат. наук В.А. Журавлёв,
Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

ufimtsev.mi@bk.ru

Оксидные ферримагнетики с гексагональной кристаллической структурой (гексаферриты) широко используются в различных областях современной техники. Согласно данным, приведенным в [1], в настоящее время наблюдается экспоненциальный рост числа публикаций, посвященных исследованию физических свойств и различным аспектам применений гексаферритов. Уникальность свойств гексаферритов обусловлена большими величинами полей магнитокристаллической анизотропии (МКА) и намагниченности насыщения [2]. Традиционно они используются в качестве материалов для постоянных магнитов, для магнитной записи информации, для разработки различных устройств СВЧ-, КВЧ-диапазонов частот, радиопоглощающих и радиозащитных покрытий и материалов. Всплеск интереса к этому классу оксидных ферримагнетиков в последнее время обусловлен тем, что ряд из них обладает свойствами мультиферроиков при комнатных температурах [1, 3, 4].

Основная часть

В данной работе методом ферромагнитного резонанса (ФМР) исследована магнитная анизотропия наноразмерных порошков гексаферрита бария М-типа состава $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ (Ba-M), полученных методом золь-гель-горения. Исследование проведено для двух образцов:

1) образец № 1 – исходный порошок, полученный методом золь-гель-горения.

2) образец № 2 – композиционный материал, состоящий из 70 мас.% гексаферрита Ba-M и 30 мас.% сегнетоэлектрика BaTiO_3 по шихте.

Смесь перемешивалась и измельчалась в планетарной мельнице типа МПВ, затем прессовалась на установке электроискрового прессования при температуре 950 °С в течение 20 мин. Охлаждение проводилось со

скоростью 200 °С в час. Для исследования ФМР полученные таблетки измельчались в фарфоровой мельнице до размеров менее 100 мкм.

Результаты исследования ФМР порошковых образцов представлены на рис. 1. и 2. На рис. 1 приведены экспериментальные (точки) кривые ФМР образца № 1, измеренные на частотах 50 и 53 ГГц. Сплошная и пунктирная линии – расчетные кривые, полученные в приближении независимых зерен по методике, описанной в работах [5, 6]. Расчетные кривые для образца №1 приведены в более широких пределах изменения намагничивающего поля, чем экспериментальные, чтобы показать наличие еще одного максимума вблизи поля, соответствующего направлению трудного намагничивания.

μ'' , отн.ед.

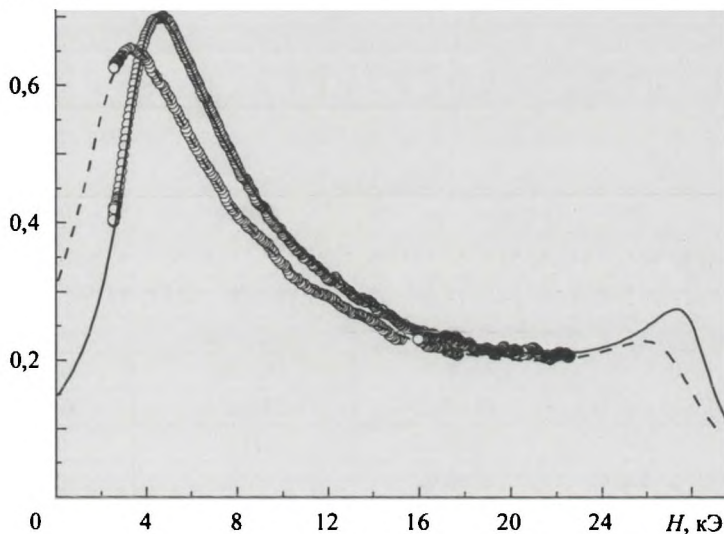


Рис. 1. Кривые ФМР образца № 1:
сплошные линии – частота 53 ГГц, пунктирные – 50 ГГц

Результаты экспериментов и расчетов для композиционного образца № 2 приведены на рис. 2.

В таблице приведены использованные для построения расчетных кривых величины магнитомеханических отношений ($\gamma/2\pi$), полей анизотропии (H_{a1}) и постоянных затухания (α) в уравнении Ландау – Лифшица – Гильберта.

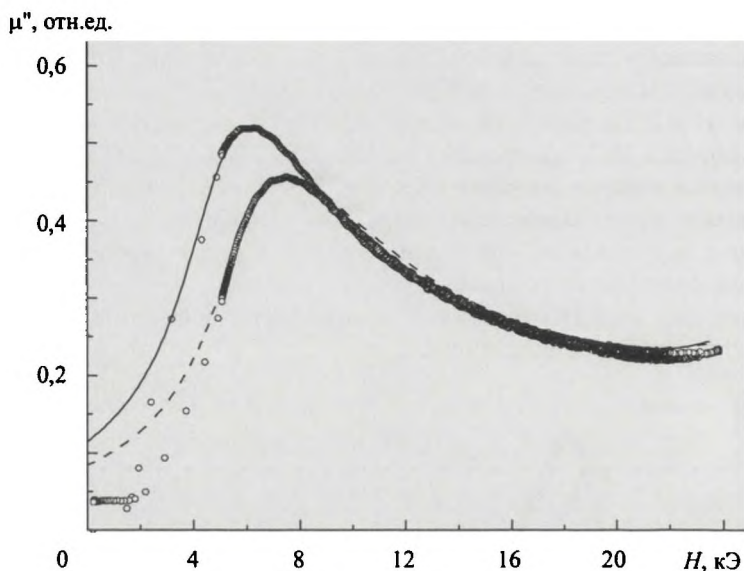


Рис. 2 . Кривые ФМР образца № 2:
сплошные линии – частота 52 ГГц, пунктирные – 55 ГГц

Измеренные методом ФМР магнитные параметры материалов

Образец	$\gamma/2\pi$, ГГц/кЭ	H_{al} , кЭ	α
№ 1, 50 ГГц	$2,80 \pm 0,02$	$15,4 \pm 0,1$	$0,11 \pm 0,01$
№ 1, 53 ГГц	$2,80 \pm 0,02$	$15,4 \pm 0,1$	$0,07 \pm 0,01$
№ 2, 52 ГГц	$2,78 \pm 0,02$	$14 \pm 0,1$	$0,1 \pm 0,01$
№ 2, 55 ГГц	$2,78 \pm 0,02$	$14 \pm 0,1$	$0,1 \pm 0,01$

Согласно таблице, полученное для образца № 1 значение поля анизотропии (15,4 кЭ) меньше известных из [2] данных для массивных образцов гексаферрита Ва-М (17 кЭ). Причиной этого может быть влияние анизотропии формы наночастиц. Поле анизотропии композитного образца № 2 меньше исходного на 1,4 кЭ. Возможной причиной этого уменьшения могут быть механохимические (при измельчении в планетарной мельнице) и химические (при электроискровом прессовании) реакции, протекающие между частицами гексаферрита Ва-М и сегнетоэлектрика ВаTiO₃.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Robert C. Pullar* // *Progr. Mater. Sci.* – 2012. – V. 57. – P. 1191–1334.
2. *Смит Дж., Вейн Х.* Ферриты. – М.: ИЛ, 1958. – 504 с.
3. *Ebnabbasi K., Mohebbi M., and Vittoria C.* // *J. Appl. Phys.* – 2013. – V. 113. – P. 17C703; <http://dx.doi.org/10.1063/1.4793606>.
4. *Ebnabbasi K., Mohebbi M., and Vittoria C.* // *J. Appl. Phys.* – 2013. – V. 113. – P. 17C707; <http://dx.doi.org/10.1063/1.4794745>.
5. *Минин Р.В., Найденов Е.П., Итин В.И., Журавлев В.А.* // *Изв. вузов. Физика.* – 2008. – Т. 51. – № 9/2. – С. 223–225.
6. *Найден Е.П., Журавлев В.А., Суляев В.И., Минин Р.В., Итин В.И., Коровин Е.Ю.* // *Изв. вузов. Физика.* – 2010. – Т. 53. – № 9. – С. 87–95.

Кластеризация изображения по его текстурным признакам

А.А. Ханефт

Научный консультант – докт. физ.-мат. наук **В.Т. Калайда**,
Томский государственный университет, г. Томск, Россия

a.khaneft@mail.ru

Для выделения разных типов облачности на спутниковых фотографиях применяется кластерный анализ, который представляет собой процесс разбиения множества объектов на подмножество непересекающихся объектов, называемых кластерами. Каждый кластер состоит из схожих объектов, а объекты разных кластеров существенно отличаются.

Основная часть

Яркость облаков на изображении может значительно меняться в зависимости от времени суток, однако различие яркости светлых и тёмных участков облака остаётся почти неизменным, за счёт чего сохраняются его текстурные характеристики. Поэтому эффективнее будет описать текстуру изображения через матрицу смежности значений яркости.

Для каждого пикселя выделяем окружающую его квадратную область 21×21 пиксель, центром которой он является. На основе выделенной области для каждого пикселя строим матрицу смежности (рис. 1).

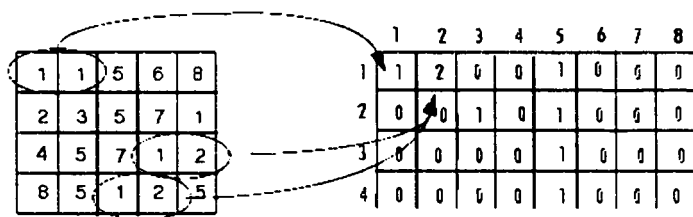


Рис. 1. Пример формирования матрицы смежности

Размер матрицы определяется количеством градаций яркости изображения. Значение каждого элемента матрицы равно количеству встречаемости пары пикселей с соответствующими значениями интенсивностей в заданных позициях относительно друг друга [1].

После вычисления матрицы смежности и её нормализации можно приступить к вычислению текстурных характеристик, которых около 20, но наиболее часто используемые из них следующие:

- энергия $T_1 = \sum_{i=0}^{K-1} \sum_{j=0}^{K-1} N_{i,j}^2$;
- энтропия $T_2 = \sum_{i=0}^{K-1} \sum_{j=0}^{K-1} N_{i,j} \log_2 N_{i,j}$;
- контраст $T_3 = \sum_{i=0}^{K-1} \sum_{j=0}^{K-1} (i-j)^2 N_{i,j}$;
- гомогенность $T_4 = \sum_{i=0}^{K-1} \sum_{j=0}^{K-1} \frac{(i-\mu_i)(j-\mu_j)}{1+|i-j|}$;
- корреляция $T_5 = \sum_{i=0}^{K-1} \sum_{j=0}^{K-1} \frac{(i-\mu_i)(j-\mu_j)}{\sigma_i \sigma_j}$;
- математическое ожидание $\mu_i = \sum_{i=0}^{K-1} \sum_{j=0}^{K-1} i N_{i,j}$; $\mu_j = \sum_{i=0}^{K-1} \sum_{j=0}^{K-1} j N_{i,j}$;
- дисперсия $\sigma_i = \sum_{i=0}^{K-1} \sum_{j=0}^{K-1} (i-\mu_i) N_{i,j}$; $\sigma_j = \sum_{i=0}^{K-1} \sum_{j=0}^{K-1} (j-\mu_j) N_{i,j}$.

Полученные характеристики будут интерпретироваться как новые координаты пикселя в многомерном пространстве.

Для быстрого нахождения точек многомерного пространства в окрестности заданной будет использоваться структура R-дерево [3].

После того как исходное изображение разбито на кластеры, для каждого из них определяем тип облачности. Тип облачности позволяет определить, на каком вертикальном уровне находится кластер.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Харалик Р.М. Статистический и структурный подходы к описанию текстур. – ТИИРЭ 5. – 1979. – Р. 98–118.
2. Ester M., Kriegel H.-P., Sander J., Xu X. A Density-Based Algorithm for Discovering Clusters in Large Spatial Databases with Noise // Proceedings of 2nd Int. Conf. on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD-96). – Portland, 1996. – Р. 226–231.
3. Guttman A. R-trees: A Dynamic Index Structure For Spatial Searching // Proc. ACM SIGMOD Int. Conf. on Management of Data. – 1984. – Р. 47–57.

Электромагнитные характеристики композитов на основе многостенных углеродных нанотрубок и графена

Д.А. Черноброва

*Научный консультант – канд. физ.-мат. наук **О.А. Доценко**,
Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

chernobrova.dasha@ya.ru

Характерной чертой новейших технологий является их активное вторжение в мир нанометровых размеров. Современными исследованиями показано, что для построения композиционных радиоматериалов перспективно использовать углеродные наноразмерные структуры (УНС), обладающие особыми свойствами, отличными от характеристик макро- и микроразмерного углерода [1]. В настоящее время ведутся исследования графена [2] и многостенных углеродных нанотрубок (МУНТ) [3] – новых аллотропных форм углерода, открытых учеными совсем недавно. Уникальные электрические свойства делают графен одним из самых перспективных материалов в области нанoeлектроники, хотя отличие графена от МУНТ лишь в том, что он представляет собой развернутую плоскость углерода толщиной в один атом.

Целью работы является исследование электромагнитных характеристик композитов, наполнителями которых являются МУНТ и графен.

Основная часть

В качестве активной фазы, взаимодействующей с электромагнитным излучением, в композитах были взяты графен и МУНТ.

Графен – уникальная разработка инженеров Сибирского химического комбината, был получен руководителем исследовательской группы, кандидатом наук В.И. Мазиным.

МУНТ диаметром 9,4 нм, полученные осаждением этилена в присутствии катализатора $\text{FeCo/Al}_2\text{O}_3$, произведены Институтом катализа СО РАН, г. Новосибирск [4].

Для приготовления образцов композитов использовалась эпоксидиановая смола ЭД-20 В качестве отвердителя использовали полиэтилендио-лиамин (ПЭПА) с массовым отношением ЭД-20: ПЭПА = 4:1. Отверждение композита проводили во фторопластовой форме, представ-

ляющей собой цилиндрическую форму, внутренний диаметр которой равен 16 мм. В центре формы расположен штырь с внешним диаметром 6 мм. Образцы для экспериментов представляют собой шайбу с отверстием посередине.

Измерения электромагнитного отклика от слоя композиционного материала проводились в диапазоне 0,01–4 ГГц. На рис. 1 и 2 представлены результаты измерений электромагнитных характеристик коэффициентов прохождения (T) и отражения (R). Цифра в обозначении соответствует концентрации в мас.%, буква – тип материала: G – графен, C – МУНТ.

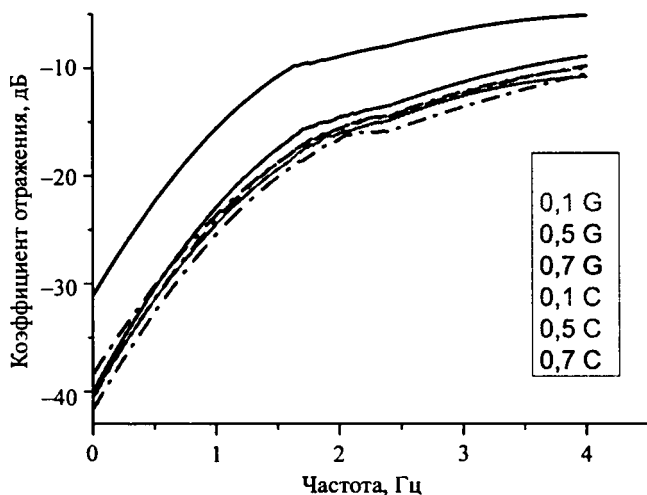


Рис. 1. Частотная зависимость коэффициента отражения для графена (сплошная линия) и МУНТ (прерывистая линия)

Из графиков видно, что увеличение процентного содержания углеродных нанотрубок и графена в образце композиционного материала приводит к росту коэффициентов отражения (рис. 1) и уменьшению коэффициента прохождения (рис. 2).

Сравнение коэффициентов отражения и прохождения для композитов, содержащих 0,7 мас. % графена и МУНТ, показывает, что они отличаются на 25 %.

Также были проведены измерения проводимости всех образцов. Обнаружилось, что образец с концентрацией графена 0,7 мас. % имеет небольшую проводимость.

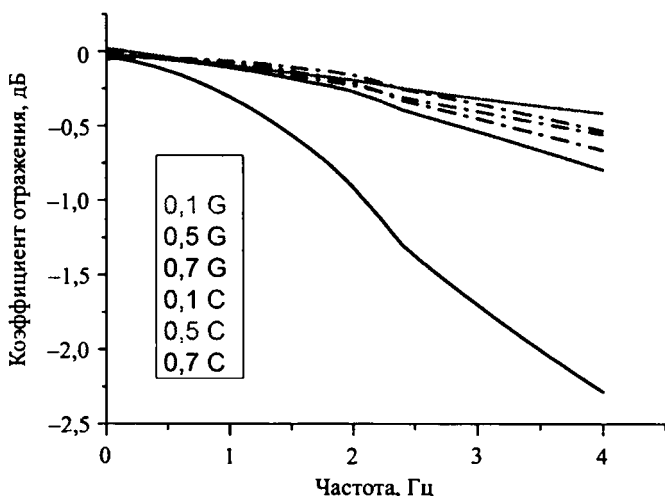


Рис. 2. Частотная зависимость коэффициента прохождения для графена (сплошная линия) и МУНТ (прерывистая линия)

Таким образом, в результате проведенного исследования можно сделать вывод, что композит на основе графена показывает лучшие поглощающие свойства по сравнению с композитом на основе МУНТ.

Работа выполнена по программе повышения конкурентоспособности Национального исследовательского Томского государственного университета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Huang Y., Wu J. and Hwang K.C. Thickness of Graphene and Single-Wall Carbon Nanotubes // PRB. – 2006 – V. 74. – No. 24. – P. 245413(9)
2. Ye Z., Li Z., Roberts J.A., Zhang P., Wang J.T., and Zhao G.L. Electromagnetic wave absorption properties of carbon nanotubes – epoxy composites at microwave frequencies // J. Appl. Phys. – 2010. – No. 108.
3. Mazov I.N., Kuznetsov V.L., Moseenkov S.I., Ishchenko A.V., Romanenko A.I., Anikeeva O.B., Buryakov T.I., Korovin E.Yu., Zhuravlev V.A., and Suslyaev V.I. Electrophysical and Electromagnetic Properties of Pure MWNTs and MWNT / PMMA Composite Materials Depending on Their Structure // Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures. – 2010. – V. 18. – No. 4. – P. 505–515.

Робототехническая лаборатория «IRobot» как один из способов решения проблемы привлечения выпускников школ на естественно-научные факультеты НИТГУ

Е.Д. Юрченко

*Научный консультант – канд. физ.-мат. наук В.А. Мещеряков,
Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

mva@mail.tsu.ru

В настоящее время технические специальности высших учебных заведений не представляют особого интереса для школьников. Причины данного явления обусловлены спецификой школьного образования, которое не обеспечивает достаточный уровень мотивации и не имеет к ней предпосылок. Одним из возможных решений данной проблемы является увлечение школьников кружковой, лабораторной работой прямо в стенах высшего учебного заведения. Цель – преподнести техническую специальность как интересное и увлекательное научное исследование, предоставить школьникам возможность поучаствовать непосредственно в учебном процессе, посетить лекции, поучаствовать в конференциях, пройти экскурсию по лабораториям факультета.

Основная часть

Наш проект «IRobot» представляет собой действующую в течение года лабораторию цифровой электроники, в которой студенты могут передать школьникам свои знания о работе с цифровыми чипами и совместно разрабатывать увлекательные и практически значимые устройства. Проект даёт возможность участникам ознакомиться с работой микроконтроллеров, различных датчиков и индикаторов, приобрести навыки их программирования, научиться проектировать и собирать электронные схемы.

Учебный корпус радиофизического факультета, на базе которого проводится лаборатория, обеспечен значительной частью необходимого оборудования от электронных компонентов и блоков питания до современных лабораторных аудиторий, оснащенных учебными комплексами NI Elvis, позволяющими выполнять широкий спектр измерений и экспериментальных работ (рис. 1 и 2).

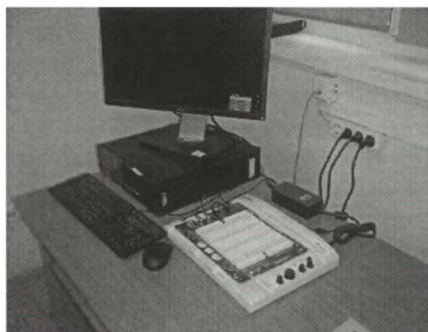


Рис. 1. Оборудование учебного корпуса РФФ

Процесс привлечения школьников представляет собой совместную со студентами работу над одним из проектов, в процессе которой студенты передают школьникам свои накопленные знания. Творческая работа поделена на две основные части. Первая из них – теоретическая. В неё входит изучение принципов работы, строения и особенностей современных микроконтроллеров, языков программирования, среды разработки, а также основных физических принципов и законов. Вторая – практическая, на которой школьники смогут самостоятельно работать с микроконтроллерами, различными датчиками и индикаторами, а также с паяльным и измерительным оборудованием.

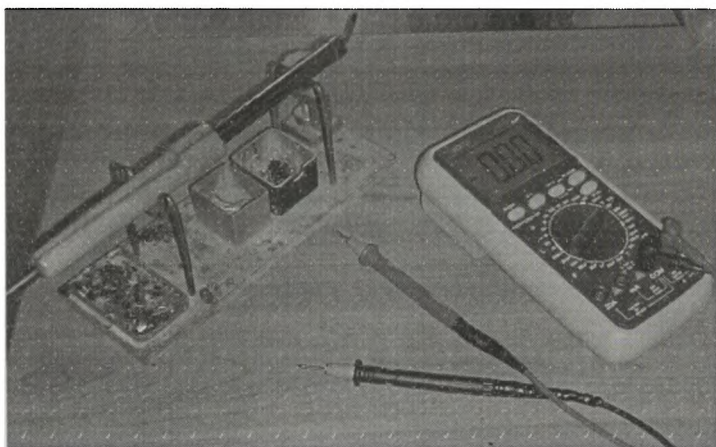


Рис. 2. Оборудование учебного корпуса РФФ

Программа занятий затрагивает микроконтроллеры и радиоэлектронную аппаратуру разного уровня возможностей [1]. На первом этапе рассматриваются простые 8-битные контроллеры от компании Atmel, на примере модели AtMega8, которая содержит 22 управляемых порта, способных работать как на вход, так и на выход, несколько таймеров разной разрядности, 6 каналов АЦП 10-битной точности и другое периферийное оборудование. Монтаж контроллера и подключаемых частей производится на макетных платах, не требующих пайки, что позволяет без труда демонтировать и изменять собранные схемы (рис. 3).

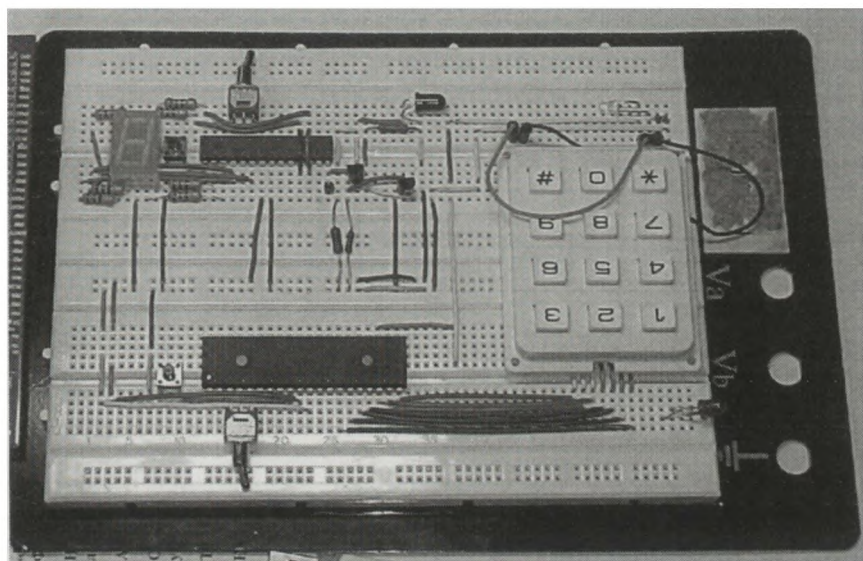


Рис. 3. Схема, собранная на макетной плате

Управляются современные микроконтроллеры с помощью специальных программ, написанных на особых формализованных языках, называемых языками программирования. На них пишутся команды управления микроконтроллером и подключенных к нему устройств. В качестве среды разработки программного кода для микроконтроллеров данного типа выбрана Atmel AVR Studio версии 6.0 – бесплатная среда разработки от производителей микроконтроллера, позволяющая писать программы как на ассемблере, так и на Си-подобном языке. Ассемблер помогает глубже понять устройство и работу контроллера, а

также оптимизировать часто используемый код. С другой стороны, Си как язык высокого уровня значительно ускоряет процесс написания готовой программы. Также данная среда позволяет заливать созданную программу в микроконтроллер и производить отладку как на реальном устройстве, так и на программном эмуляторе (рис. 4).

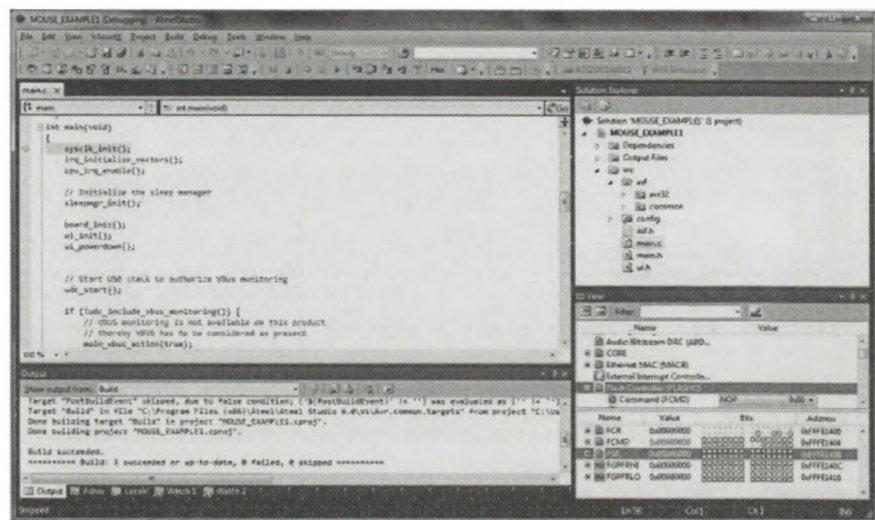


Рис. 4. Atmel AVR studio 6.0

Данные контроллеры хорошо подходят для управления простыми устройствами, но плохо справляются с более сложными задачами, такими, как анализ сигналов. К примеру – поиск предметов с помощью радиосигнала. Принятый отраженный радиосигнал требует сложной обработки для того, чтобы выделить из него полезную информацию, поэтому следующим этапом является изучение более «умных» 32-битных контроллеров STM (рис. 5). Изучение производится на основе готовых демонстрационных плат, которые могут содержать в себе множество дополнительных элементов, включая светодиоды, кнопки, динамики, микрофоны и даже жидкокристаллические дисплеи. Данные микроконтроллеры имеют повышенные объем памяти и высокую тактовую частоту, а также полноценную поддержку арифметики чисел с плавающей запятой на аппаратном уровне, что позволяет им проводить значительно более сложные измерения и расчеты.

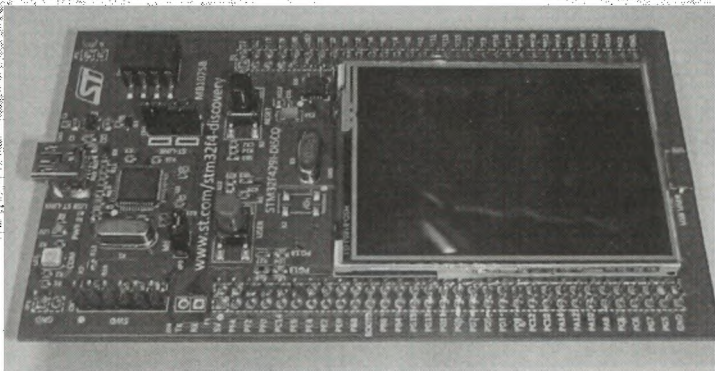


Рис. 5. Демонстрационная плата STM

Робот – это сложная система, состоящая из множества взаимосвязанных элементов, где в роли органов чувств выступают различные датчики, скелета – исполнительные механизмы, индикаторы служат средством коммуникации, а управляет всем этим контроллер. Поэтому наравне с контроллерами в лаборатории «IRobot» особое внимание уделяется и этим элементам (рис. 6).

Рассмотрим, какие «органы чувств» могут иметься у роботов. К примеру, функцию зрения могут выполнять различные светочувствительные датчики, такие, как фотодиоды, фоторезисторы, фототранзисторы [2]. Слух может быть реализован при помощи обыкновенного микрофона. С помощью термодпары можно сделать робота чувствительным к температуре. Ультразвуковой датчик позволит роботу измерять расстояния до окружающих его предметов. За движение робота отвечают различные исполнительные механизмы, такие как шаговые двигатели, сервоприводы и другие.

В роли индикаторов могут служить даже обычные светодиоды. Более сложное устройство — это 7-сегментный индикатор, с помощью которого можно выводить цифры. Следующим по сложности является текстовый экран, имеющий встроенный генератор символов. И наконец – полноцветный жидкокристаллический дисплей, на котором можно сделать даже осциллограф. Кроме световых, индикаторы могут быть, например, акустическими. К таким можно отнести обычный динамик. Большинство из перечисленных элементов имеются в наличии и готовы к использованию в лаборатории «IRobot».

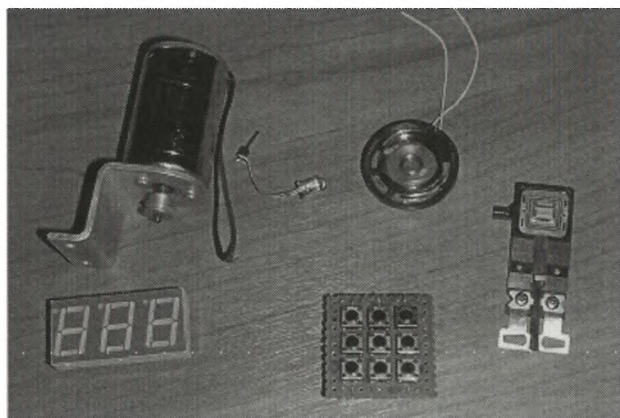


Рис. 6. Датчики, индикаторы, исполнительные механизмы

Лаборатория «IRobot» позволяет школьникам ознакомиться с работой микроконтроллеров, различных датчиков и индикаторов, приобрести навыки их программирования, научиться проектировать и собирать электронные схемы, разрабатывать увлекательные и практически значимые устройства. А главное – наглядно демонстрирует преимущества и перспективы радиотехнических специальностей, что поможет школьникам выбрать в качестве высшего учебного заведения радиофизический факультет ТГУ.

Работа выполнена по программе повышения конкурентоспособности Национального исследовательского Томского государственного университета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хартон В.Я. Микроконтроллеры AVR. Практикум для начинающих. – 2-е изд. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012. – 348 с.
2. Котюк А.Ф. Датчики в современных измерениях. – М.: Радио и связь, 2006. – 95 с.

ЛАЗЕРНЫЕ И ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ, ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ. СОЛНЕЧНО-ЗЕМНАЯ ФИЗИКА И ФИЗИЧЕСКАЯ ЭКОЛОГИЯ

Трассовый газоанализатор УФ-диапазона спектра

Р.М. Абдулов

*Научный консультант – аспирант С.С. Смирнов,
Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

djunit@mail.ru

В настоящее время для измерения малых концентраций загрязняющих газов в атмосфере широко применяется метод дифференциальной оптической абсорбционной спектроскопии (ДОАС). Первые измерения с использованием принципов ДОАС были проведены в конце 1970-х годов. С тех пор этот метод все более широко используется как в научных исследованиях, так и в прикладных работах, связанных с мониторингом газовых загрязнений атмосферы [1].

Основная часть

За основу взята разработка производства ООО «Обнинская Фотоника» (г. Обнинск). Она предназначена для измерения концентраций малых газовых составляющих атмосферы (диоксида азота, диоксида серы, озона, окислов азота, формальдегида, толуола, бензола и др.) на открытой трассе в атмосферном воздухе в реальном времени.

В основу работы трассового газоанализатора положен метод дифференциальной оптической абсорбционной спектроскопии. Принцип действия заключается в измерении спектра поглощения газовыми компонентами атмосферы, при распространении оптического излучения по атмосферной трассе. В отличие от обычного метода абсорбционной спектроскопии, где определяется полный коэффициент поглощения излучения, дифференциальный метод фиксирует только изменения в тонкой структуре спектра, связанной с поглощением атмосферными газами (дифференциальное поглощение).

Принцип метода заключается в разделении принятого спектра на плавную и дифференциальную составляющую. Плавная часть изменяется с длиной волны плавно и обусловлена поглощением и рассеянием излучения атмосферным аэрозолем, а также молекулярным рассеянием света – исключаются из рассмотрения и не влияют на результаты измерений. Дифференциальная часть сравнивается с индивидуальным спектром поглощения искомого газа, что позволяет идентифицировать и определить его значение концентрации [1].

Основными достоинствами прибора являются:

- Точные измерения концентрации загрязняющей примеси – на уровне миллиардных долей (ppm).
- Быстрые измерения в реальном времени – время единичного измерения не более 3 мин.
- Возможность одновременного измерения концентрации 38 газов в широком спектральном диапазоне.
- Не требует отбора проб и их анализ – прибор не вносит искажений в характеристики газового состава.
- Компактность и мобильность. Может использоваться для измерения концентраций газов в дымовых трубах и других труднодоступных объемах.

С помощью данного прибора были проведены натурные измерения. Получены значения концентраций ряда веществ, таких, как: O_3 , NO_x , SO_2 и др. Некоторые газовые компоненты превышают с.с. ПДК.

Для расчета больших массивов данных используется программа, написанная в среде builder C++.

В качестве минимально детектируемой концентрации принималась величина 3σ , где $\sigma = \langle \delta X^2 \rangle^{1/2}$ рассчитывалось согласно уравнению

$$\langle \delta X_i^2 \rangle = \xi^2 \sum_{k=1}^p \frac{V_{ik}^2}{v_k^2}, \quad (1)$$

где $i = 1, \dots, p$.

Погрешность регистрации сигнала σ оценивалась по остаткам, полученным при измерениях на атмосферной трассе. Значения σ составили $2 \cdot 10^{-4}$ и 10^{-3} при выборе спектрального диапазона измерений в области волн, больших или меньших 280 нм соответственно. Увеличение остатков в диапазоне 240–280 нм связано, в первую очередь, с влиянием погрешностей учета поглощения атмосферного кислорода. В области же

210–240 нм остатки возросли из-за уменьшения уровня сигналов вследствие падения светоотдачи ксеноновой лампы в этой области спектра и увеличения атмосферного увеличения [2].

В таблице приведены рассчитанные значения минимально детектируемых концентраций для ряда наиболее распространенных газовых загрязнителей атмосферы.

Минимально детектируемые концентрации

Газ	Область длин волн, нм	МДК, ppb	с.с. ПДК, ppb
Аммиак	210–230	0,8	50
Окись азота	210–230	1,8	45
Озон	250–270	14	14
Двуокись серы	280–320	0,2	20
Формальдегид	280–350	1,0	2
Бензол	236–263	0,9	30
Толуол	250–270	1,5	150

Указаны также оптимальные для измерений области длин волн, а также установленные в России величины предельно допустимых среднесуточных концентраций.

Проведены суточные измерения концентраций загрязняющих веществ в районе п. Южной. Для таких газов, как бензол, толуол, озон и формальдегид полученные значения концентраций в разы превышают с.с. ПДК. Проведено сопоставление результатов измерений с направлением ветра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Platt U. and Stutz J.* Differential optical absorption spectroscopy. – Berlin; Heidelberg: Springer Verlag, 2008. – 593 p.
2. *Хмелевцов С.С., Коршунов В.А., Вдовенков А.М.* Ультрафиолетовый трассовый газоанализатор ДОАС-4Р // Оптика атмосферы и океана. – 2002. – Т. 15. – № 11. – С. 998–1003.

Сенсомоторные показатели человека в условиях возмущённой и спокойной геомагнитной обстановки

Ю.А. Афанасьева

*Научный консультант – канд. биол. наук С.В. Побаченко,
Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

zvezdoplyasova@mail.ru

В настоящее время установлено, что флуктуации фоновых магнитных полей, возникающие в периоды магнитных бурь либо вызванные тем или иным техногенным агентом, могут являться причиной выраженных нарушений функционального состояния организма человека, что, в свою очередь, может приводить к снижению резистентности организма к различным заболеваниям [1, 2, 3].

Основная часть

Установлено, что центральная нервная система (ЦНС) наиболее реактивно реагирует на изменение геомагнитных полей окружающей среды. Исследование индивидуальных особенностей реакции ЦНС на изменение геомагнитной обстановки представляется перспективным проводить с использованием информационной системы «Локальный универсальный мониторинг», которая может быть использована для организации многодневных мониторинговых измерений психофизиологических параметров волонтеров с определенной частотой (например, раз в сутки) [4].

Для исследования динамики показателей психофизиологического состояния человека в зависимости от геомагнитной обстановки использовалась информационная система «Локальный универсальный мониторинг» (LUM).

В исследовании принимала участие группа волонтеров, каждый из волонтеров проходил тестирование с частотой 1 раз в сутки в различные дни. Из всего массива данных было выбрано три ключевые даты, которые соответствуют возмущённой геомагнитной обстановке. Для каждой даты взят один день, предшествующий ухудшению геомагнитной обстановки и один последующий день. Анализ проводился по усреднённым значениям времени простой слухо-моторной и простой зрительно-моторной реакций для трех волонтеров.

На рис. 1 представлены максимальные значения К-индекса за сутки для выбранных дней.

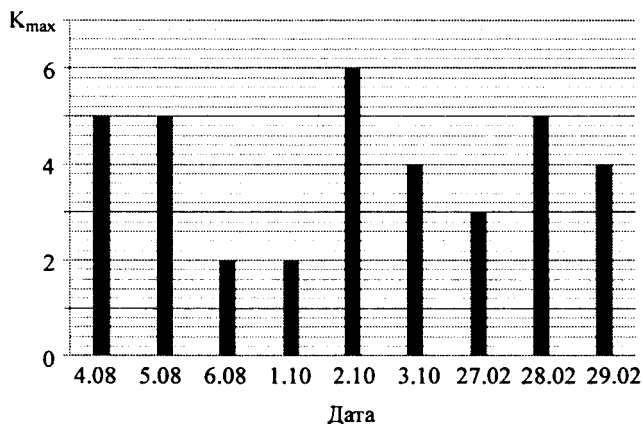


Рис. 1. Максимальные за сутки значения К-индекса в различные дни

Анализ динамики среднего времени простой слухо-моторной реакции показал (рис. 2), что в ключевые даты фиксируется увеличение времени реакции на звуковой сигнал, в последующие даты происходит снижение. Коэффициент корреляции Пирсона между К-индексами и значениями ПСМР составляет 0,55.

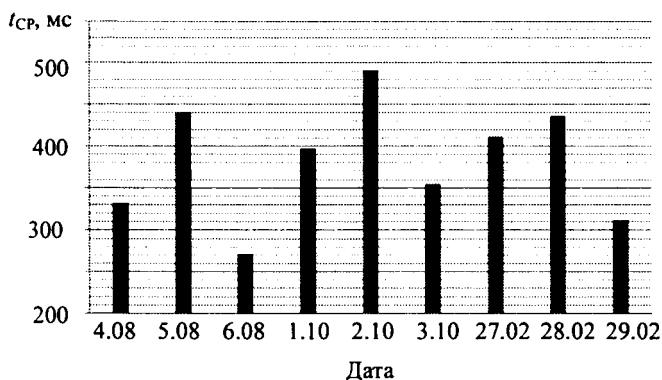


Рис. 2. Значения времени простой слухо-моторной реакции в дни с различной геомагнитной обстановкой

На рис. 3 представлены значения среднего времени простой зрительно-моторной реакции, усреднённые для трех волонтеров по выбранным датам. Можно отметить, что в дни увеличения значений К-индекса происходит увеличение времени реакции на зрительный стимул, последующие дни также фиксируется снижение. Также можно отметить положительную корреляцию 0,48.

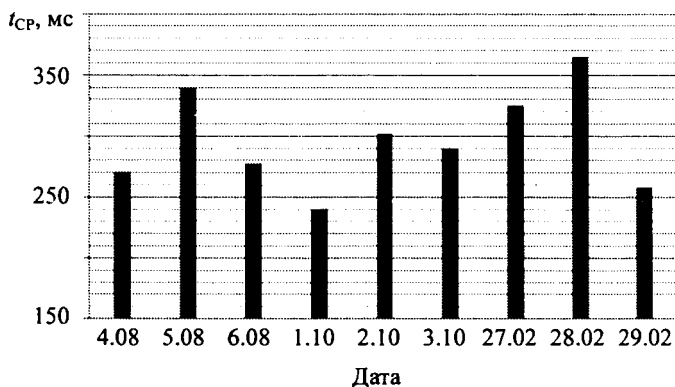


Рис. 3. Значения времени простой зрительно-моторной реакции в дни с различной геомагнитной обстановкой

Таким образом, можно отметить увеличение среднего времени реакции на звуковой и зрительный стимул в дни с возмущенной геомагнитной обстановкой у исследуемой группы волонтеров, в то время как в дни со спокойной геомагнитной обстановкой не происходит значимого изменения исследуемых параметров психофизического состояния.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Владимирский Б.М.* Солнечная активность и общественная жизнь. Космическая историометрия: от первых российских космистов до наших дней. – Либроком, 2013. – 192 с.
2. *Дубров А.П.* Геомагнитное поле и жизнь: краткий очерк по геомагнитобиологии. – М.: Гидрометеониздат, 1974. – 176 с.
3. *Колесник А.Г., Колесник С.А., Побаченко С.В.* Электромагнитная экология. – Томск: ТМЛ-Пресс, 2009. – 336 с.
4. *Григорьев П.Е.* Информационная технология мониторинга состояния человека для определения его зависимости от космофизических факторов: автореф. дис. ... д.б.н. – Киев, Симферополь, 2010. – 62 с.

Уточнение параметров лидарного уравнения при дистанционном зондировании в спектре суперконтинуума

П.А. Бабушкин

*Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук В.К. Ошлаков,
Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия*

pavelbabushkin.pb@gmail.com, ovk@iao.ru

Современные лазерные системы позволяют получать высокую мощность излучения с энергией в импульсе до сотен миллиджоулей и длительностью порядка десятков фемтосекунд.

При зондировании сверхкороткими импульсами с мощностью,кратно превышающей некоторое пороговое значение $P_{\text{пор}}$ (для воздуха значение 3–4 ГВт), реализуются условия для нелинейных эффектов – самофокусировки, филаментации, сверхуширения спектра [1].

Уникальные качества вторичного широкополосного излучения суперконтинуума (СК) определили новые перспективы дистанционного зондирования окружающей среды с использованием лидара «белового» света [2].

Основная часть

Образование филамента (визуально-оптически наблюдаемой яркой «нити» на трассе распространения импульса) сопровождается сверхуширением спектра как в стоксовую, так и антистоксовую области, причем спектр непрерывный. Спектральная энергия, преимущественно в антистоксовой части, распределяется в конусах с вершиной в зоне филаментации и с четким угловым распределением по правилу: чем меньше длина волны, тем больше угол при вершине конуса. В стоксовой части энергия концентрируется в приосевой зоне [3]. Явление получило название «генерация конической эмиссии суперконтинуума».

Описать обратнорассеянное излучение с учетом нелинейных взаимодействий можно с помощью соответствующего лидарного уравнения. При этом предполагается, что на длинах волн СК нет условий для генерации нелинейных эффектов, следовательно, применима логика и методы многочастотного зондирования атмосферы в линейном режиме [4]:

$$P(\lambda_{\text{СК}}, z_{\text{СК}}) = P_0(\lambda_{\text{СК}}) \frac{A_0}{z_{\text{СК}}^2} \xi(\lambda_{\text{СК}}) \beta_{\pi}(\lambda_{\text{СК}}, z_{\text{СК}}) G(\lambda_{\text{СК}}, z_{\text{СК}}) \times \\ \times \frac{c\tau_{\text{и}}}{2} T^2(\lambda_{\text{СК}}, z_{\text{СК}}) T_{\text{NL}}(\lambda, z), \quad (1)$$

где $P_0(\lambda_{\text{СК}})$ – исходная мощность излучения СК; $A_0/z_{\text{СК}}^2$ – телесный угол, в котором осуществляется прием сигналов оптической системой от излучения СК; $\xi(\lambda_{\text{СК}})$ – коэффициент оптического пропускания лидарной системы на длинах волн СК; $\beta_{\pi}(\lambda_{\text{СК}}, z_{\text{СК}})$ – объемный коэффициент обратного рассеяния в спектре СК; $G(\lambda_{\text{СК}}, z_{\text{СК}})$ – геометрический фактор лидара в зависимости от длины волны СК; $c\tau_{\text{и}}/2$ – расстояние, которое проходит передний фронт волны излучения СК от точки образования за время τ ;

$$T^2(\lambda_{\text{СК}}, z) = \exp \left(-2 \int_{z_{\text{фил}}}^z k(z', \lambda_{\text{СК}}) dz' - \int_0^{z_{\text{фил}}} k(z', \lambda_{\text{СК}}) dz' \right)$$

– интегральное пропускание в спектре СК; $k(z', \lambda_{\text{СК}})$ – коэффициент ослабления атмосферы для длин волн СК;

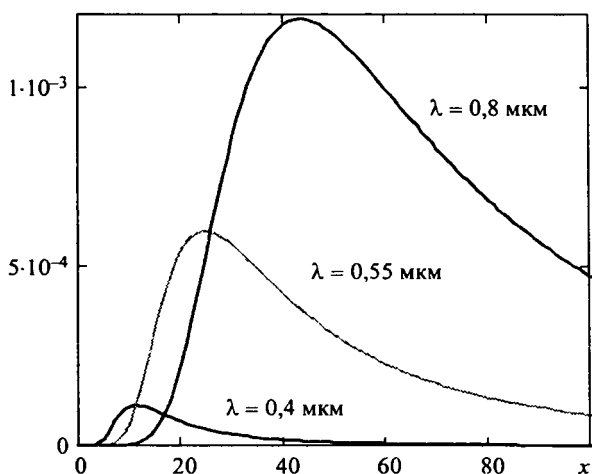


Рис. 1. Положение максимума СОР для некоторых длин волн при дистанционном зондировании в спектре суперконтинуума

$$T_{NL}(\lambda, z) = \exp\left(-\int_0^z k_{NL}(z', \lambda) dz'\right)$$

– интегральное пропускание на основной длине волны с учетом нелинейных взаимодействий [5, 6].

С учетом информации об угловой расходимости излучения суперконтинуума построен график (рис. 1) положения максимума сигнала обратного рассеяния (СОР), база лидара составляла 400 мм.

Интенсивность СОР для разных длин волн обусловлена спектральным распределением интенсивности в поперечном сечении конуса суперконтинуума.

Работа выполнена при поддержке проекта РНФ № 14-27-00022.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексимов Д.В. и др. Фемтосекундная атмосферная оптика / под общ. ред. С.Н. Багаева, Г.Г. Матвиенко. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. – 237 с.*
2. *Креков Г.М., Матвиенко Г.Г. Развитие лазерных технологий в проблеме дистанционного зондирования атмосферы // Оптика атмосферы и океана. – 2010. – Т. 23. – № 10. – С. 865–844.*
3. URL: <http://www.teramobile.org/publis.html>. (дата обращения 18.04.015)
4. *Зуев В.Е., Хаац И.Э. Обратные задачи лазерного зондирования атмосферы. – Новосибирск: Наука, 1982. – 242 с.*
5. *Qi Luo, Jin Yu, S. Abbas Hosseini, et al. Long-rang detection and length estimation of light filaments using extra-attenuation of terawatt femtosecond laser pulses propagating in air // Applied Optics. – 2005. – V. 44. – No. 3 – P. 391–397.*
6. *Faye G., Kasparian J., and Sauerbrey R. Modifications to the lidar equation due to nonlinear propagation in air // Appl. Phys. B. – 2001. – V. 73. – P. 157–163. doi: 10.1007/s003400100621.*

Общая тенденция динамики параметров мозговой активности при действии излучений мобильных телефонов

В.Ю. Бурова

*Научный консультант – канд. биол. наук **С. В. Побаченко**,
Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

Veronica.burova94@mail.ru

Вопрос о характере влияния магнитного поля мобильных телефонов на человеческий организм и его функции остаётся открытым [1, 2]. Ранее при изучении влияния электромагнитных излучений мобильного радиотелефона (МРТ) стандарта GSM на функциональную активность мозга человека был выявлен факт значимого повышения уровня спектральной мощности в параметрах ЭЭГ в диапазоне частот 2–4, 4–8 и 8–13 Гц при активации дозвона [3, 4]. Однако в большинстве случаев были представлены индивидуальные данные. В связи с этим, в рамках настоящей работы была предпринята попытка обобщения закономерностей реакций показателей электрической активности мозга на воздействие излучений МРТ на выборке волонтеров.

Методика

Исследования проводились в лабораторных условиях. Для проведения мониторинга состояния нейродинамической системы организма человека использовался электроэнцефалограф Мицар-ЭЭГ-03/35-201, позволяющий регистрировать параметры спонтанной электрической активности головного мозга человека. Для оценки воздействия излучений МРТ использовались телефоны стандартного серийного ряда.

В исследовании принимали участие 15 волонтеров. Каждый испытуемый находился в расслабленном состоянии в затемненном помещении. Все звуки и прочие способы индикации входящего вызова на телефоне были отключены, поэтому испытуемые не знали о начале и продолжительности звонка. Общая длительность эксперимента составляла 15 мин. В течение этого времени было произведено три звонка минутной продолжительности. Воздействие продолжалось в течение 1 мин, после чего делалась отметка об окончании воздействия и продолжалась запись ЭЭГ без внешнего воздействия, которая состав-

ляла также 3 мин. Временная структура измерений представлена на рис. 1.

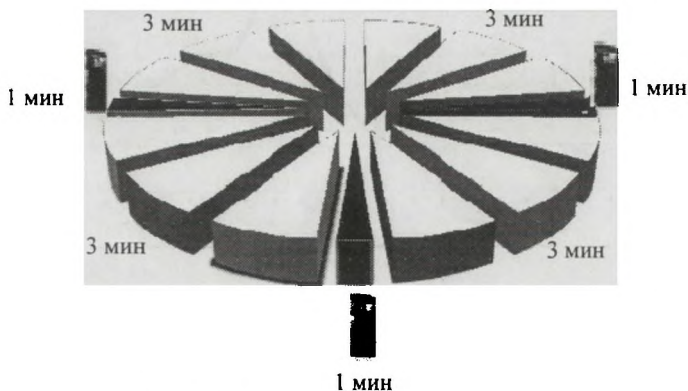


Рис. 1. Структура временной реализации экспериментальной серии

Для анализа закономерностей изменений ЭЭГ при воздействии излучений МРТ для всей выборки волонтеров был использован метод наложения эпох, в качестве нулевой точки выбрано начало дозвона.

Основные результаты и их обсуждения

Минутное воздействие излучений МРТ приводит к изменениям в показателях ЭЭГ мозга человека после окончания вызова. Данная закономерность для разных частотных диапазонов (2–3,8 Гц (Δ), 4–8 Гц (θ), 9–13 Гц (α)) представлена на рис. 2.

Общий анализ полученных результатов позволяет отметить, что для всех тестируемых диапазонов ЭЭГ характерно наличие положительного тренда увеличения амплитудных значений после активации телефонного вызова. По критерию сравнения средних значений амплитуд после звонка статистически достоверно отличаются от фоновых. Кроме того, можно отметить стабилизацию амплитуд в течение 3 мин после активации МРТ. При сохранении общей тенденции в динамике отмечается наличие отличающихся периодов латентности для исследуемых диапазонов ЭЭГ. Наиболее «быстрая» реакция наблюдается для α -периодик. Это объясняется функциональной особенностью данного ритма.

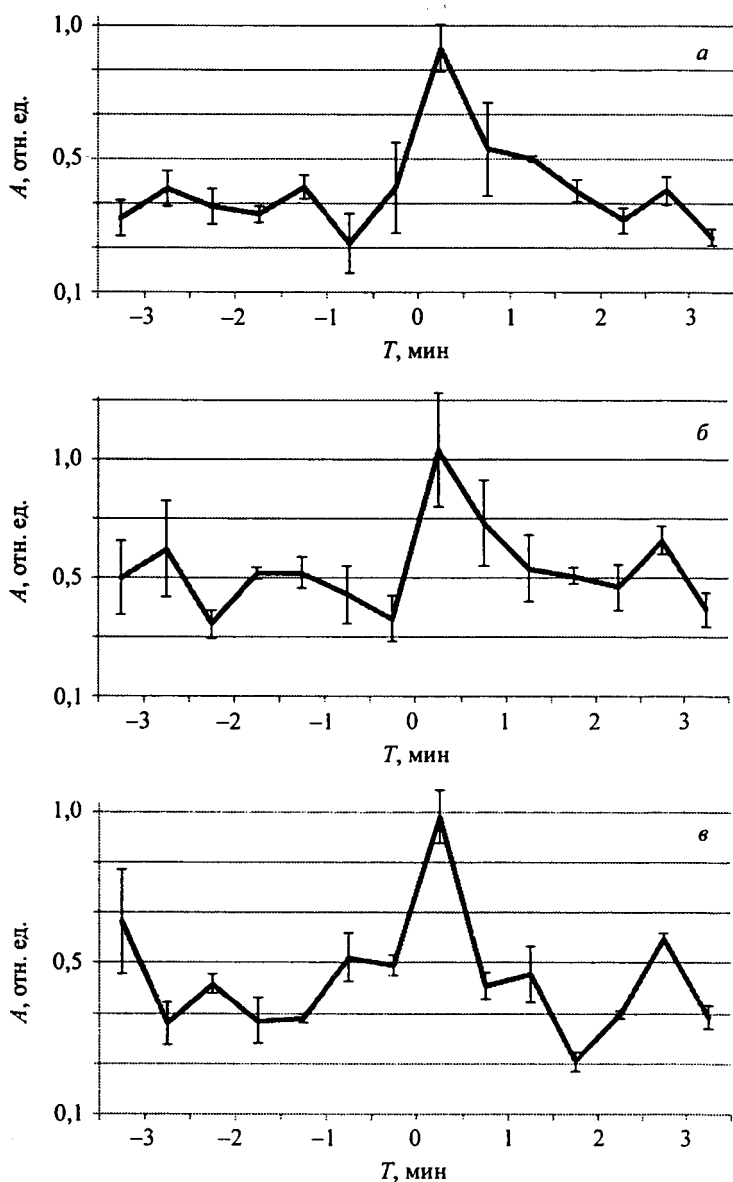


Рис. 2. Распределение нормированных амплитудных значений диапазонов ЭЭГ: Δ (*a*), θ (*б*), α (*в*). Продолжительность эпохи – 1 мин

Заключение

Таким образом, на основе объединенных данных по выборке из 15 волонтеров выявлена общая тенденция в динамике показателей наводимой электрической активности мозга человека при действии излучений МРТ, которая проявляется в статистически значимом увеличении амплитудных показателей ЭЭГ в пределах основных функциональных диапазонов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Мордачев В.И.* Системная экология сотовой радиосвязи. – Минск: Издательский центр БГУ, 2009. – 320 с.
2. *Электромагнитные поля и здоровье.* – URL: <http://www.pole.com.ru/action.htm>
3. *Побаченко С.В., Пономарев А.В.* Влияние активации мобильных телефонов стандарта GSM на биоритмическую структуру электрогенеза мозга человека // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2009. – № 3. – С. 50–55.
4. *Побаченко С.В., Пономарев А.В.* Сравнительная оценка воздействия активации мобильных телефонов основных стандартов сотовой связи на электрогенез мозга человека // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2010. – № 3. – С. 3–9.

Разработка высоковольтного импульсного драйвера для электрооптических затворов

О.Т. Важинский, И.А. Паргачёв

oleg_vazhinsky92@mail.ru, underfin@mail.ru

Основным применением электрооптических затворов (ЭОЗ) является модуляция добротности лазерного резонатора [1]. Амплитудная модуляция добротности позволяет получать оптические импульсы гигантской мощности, которые имеют огромную промышленную и научную значимость. Однако для управления ЭОЗ требуется прикладывать большие управляющие напряжения. Для большинства приложений уровень управляющего напряжения составляет от 1 до 3 кВ. Другим фактором, накладывающим особое требование, предъявляемое к высоковольтным управляющим импульсам, является короткий фронт. Время переключения ЭОЗ, обусловленное физическими явлениями в кристалле, составляет порядка 10^{-12} с [2]. Современные устройства управления, основанные на биполярных и МОП-транзисторах, могут обеспечить фронт импульса до десятков наносекунд [3], на частотах, не превышающих нескольких кГц. Таким образом, улучшение существующих способов управления ЭОЗ является актуальной и нетривиальной задачей.

Интерфейс разработанного прибора позволяет его использовать в автоматизированных лазерных системах, т.е. уровень высокого напряжения и разрешение на запуск задаются с помощью электрических сигналов. Высокое напряжение регулируется в диапазоне от 1200 до 3000 В, рабочая частота ограничена 5 кГц, фронт высоковольтного импульса составляет 20 нс. Блок-схема разработанного драйвера приведена на рис. 1.

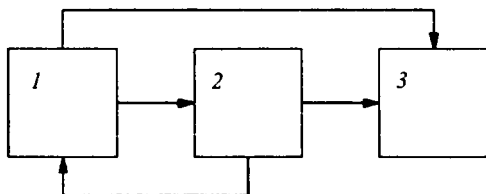


Рис. 1. Блок-схема разработанного устройства: 1 – блок управления, 2 – блок генератора высокого напряжения, 3 – блок транзисторных ключей

Формирование высокого напряжения осуществляется блоком управления 1 и блоком 2, представляющим собой генератор Кокрофта – Уолтона [4]. Блок транзисторных ключей 3 реализован в виде двух цепочек последовательно включенных MOSFET-транзисторов, работающих в асинхронном режиме: при поступлении управляющего импульса с блока управления соответствующее плечо коммутирует нагрузку к высокому потенциалу генератора или на общую шину.

Для исследования параметров высоковольтного импульсного драйвера к его выходу подключаются последовательно соединенные электрооптический затвор и высокоомный резистор, выполняющий роль делителя напряжения. Временные параметры и уровни напряжений регистрируются осциллографом. На рис. 2 представлена осциллограмма переднего фронта высоковольтного импульса.

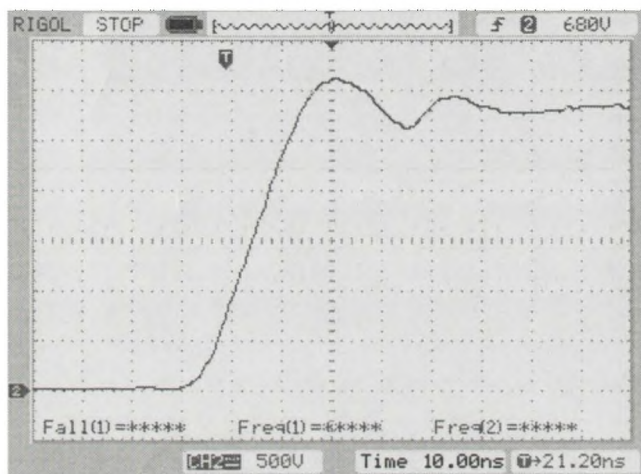


Рис. 2. Осциллограмма переднего фронта высоковольтного импульса

Разработанный высоковольтный импульсный драйвер для электрооптических затворов способен генерировать уровень высокого напряжения до 3 кВ, обладает временными и частотными параметрами, удовлетворяющими требованиям большинства производителей лазерной техники, и используется для управления электрооптическими затворами, основанными на кристалле RKTP.

Научная работа велась на технологической базе компании ООО «Кристалл Т» при поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ярив А.* Квантовая электроника и нелинейная оптика. – М.: Сов. радио, 1973. – С. 286.
2. *Тарасов Л.В.* Физика процессов в генераторах когерентного оптического излучения. – М.: Радио и связь, 1981. – С. 333.
3. *Fast rise time, long pulse width, kilohertz repetition rate Q-switch driver* / Rutten, Thomas Paul; Wild, Neville Reg; Veitch, Peter John // *Review of Scientific Instruments*, 2007.
4. *Tamuri A.R., Bidin N., and Daud Y.M.* High voltage power supply for electro optics applications // *IJRRAS*. – 2010. – V. 3 (2). – P. 143–147.

Активная оптико-электронная система видения «Зонд»

О.Ф. Ванданов

*Научный консультант – докт. физ.-мат. наук **В.В. Белов**,
Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

readoi@mail.ru, belov@iao.ru

Данная работа относится к актуальному научно-техническому направлению развития оптико-электронных систем (ОЭС) наблюдения через рассеивающие и поглощающие среды, в которых реализуется возможность аппаратного подавления фонов рассеяния. Подобные оптико-электронные системы нового поколения в значительной степени могут повысить безопасность современного транспортного движения – от автомобильного до авиационного, будут востребованы в службах спасения и охранных структурах и др. приложениях.

Основная часть

Оптико-электронными называются системы, в которых обработка информации, содержащаяся в потоке излучения, сопровождается преобразованием лучистой энергии в электрическую. Благодаря этому образуется единый оптико-электронный тракт обработки информации [1, 2].

В зависимости от используемого источника облучения предмета оптико-электронные приборы подразделяют на две основные группы: группу активных, в которых используется искусственный источник излучения, и группу пассивных, воспринимающих собственное излучение объектов и фона, либо отраженное ими излучение естественных источников (например, Солнца).

В составе пассивных ОЭС можно условно выделить следующие три блока:

- а) приёмник оптического излучения;
- б) преобразователь оптического излучения в электрическое;
- в) электронный блок, осуществляющий обработку, анализ поступающей информации.

Первые два блока выполняют роль органов зрения, третий – электронного мозга оптико-электронной системы искусственного интеллекта, и в его состав, как правило, входит электронно-вычислительная техника.

Активная ОЭС отличается от рассмотренной выше только тем, что в её состав входит источник оптического излучения. Он служит либо для подсветки наблюдаемого объекта (заменяя при этом естественные светила), либо генерирует излучение, использующееся, например, для изучения окружающей среды, в которой оно распространяется [1]. В свою очередь, активная ОЭС делится на активно-непрерывные (непрерывный лазерный подсвет) и на активно-импульсные системы (импульсный лазерный подсвет в сочетании со стробированием преобразователя изображения) [2].

В работе приводится изучение и описание активной оптико-электронной системы видения «Зонд» со стробируемым приёмником, которая была разработана в Институте оптики и атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН и прошла опытную эксплуатацию в лабораторных и полевых условиях [3]. В таблице представлены основные технические характеристики ОЭС «ЗОНД» [3].

Основные технические характеристики ОЭС «ЗОНД»

Параметр	Значение
Дальность действия, м (при оптической длине трассы до объекта – до 6)	3–200
Угол поля зрения, град	12
Длина волны излучения, мкм	0,807
Мощность излучения, мВт	200
Длительность импульса, нс	120
Частота стробирования, Гц	50–5000
Потребляемая мощность, Вт	40
Рабочее напряжение (постоянный ток), В	12

Данный прибор позволяет повысить контраст в изображении наблюдаемого объекта, а значит, и дальность действия прибора за счёт [2]:

- отсечения задержкой излучения обратного рассеяния, которое в обычных активных приборах накладывается на изображение наблюдаемого объекта и снижает контраст в его изображении даже при нормальной или при незначительно ухудшенной прозрачности атмосферы;
- ослабления, равного скважности работы прибора, рассеянного в атмосфере излучения, определяемого уровнем естественной освещённости.

Это излучение в обычных пассивных приборах при пониженной прозрачности атмосферы резко снижает контраст в изображении наблюдаемого объекта.

Кроме того, оценивалось качество изображения в оптико-электронной системе типа «Зонд». На рис. 1 [4] показана зависимость коэффициентов контраста, характеризующих качество изображения элементов выбранной сцены. Следует отметить, что статистические оценки величин были получены для следующих оптико-геометрических условий наблюдения. Длина трассы до 300 м, оптическая толщина среды до 6 м, т.е. коэффициент ослабления равен $0,02 \text{ м}^{-1}$, угловая расходимость луча подсветки равна полю зрения приёмника (7°), отражения излучения от поверхности и от объекта соответствует закону Ламберта, рассеивающая среда при этом однородна.

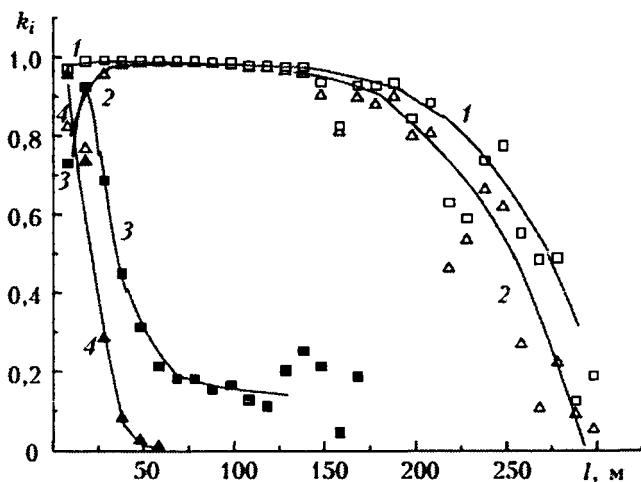


Рис. 1. Зависимость коэффициентов контраста изображения k_i от расстояния l

Сравнивая данные кривые, можно прийти к выводу, что применение метода пространственной селекции в активно-импульсных системах видения приводит к существенному повышению контраста изображения объекта, экранированного от наблюдателя слоем плотной рассеивающей среды, увеличивая на порядок дальность его видимости, при одном и том же уровне контраста изображения [4].

Таким образом, в ходе работы были получены следующие основные результаты работы:

- изучены и описаны принцип работы прибора «Зонд»;

- оценено качество изображения в лазерной системе видения со стробируемым приемником в ИК-диапазоне длин волн;
- изучены возможности обнаружения объектов в сравнении с активными системами видения без селекции помехи обратного рассеяния.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зуев В.Е., Белов В.В., Веретенников В.В. Теория систем в оптике дисперсных сред. – Томск: Спектр, 1997. – 402 с.
2. Гейхман И.Л., Волков В.Г. Основы улучшения видимости в сложных условиях. – ООО «Недра – Бизнесцентр», 1999. – 286 с.
3. Белов В.В., Матвиенко Г.Г., Пак Р.Ю. и др. Активные ТВ-системы с селекцией фонов рассеяния // Датчики системы. – 2012. – № 3. – С. 25–30.
4. Белов В.В. // Оптика атмосферы и океана. – 2002. – С. 951–956.

Лазерный сенсор для обнаружения аэрозольных выбросов

Е.И. Веденин

*Научный консультант – докт. физ.-мат. наук **В.Г. Шеманин**,
Новороссийский политехнический институт, г. Новороссийск, Россия*

svetokdojdei@mail.ru

При производстве цемента с некоторой вероятностью происходят сверхнормативные аэрозольные выбросы. Сверхнормативные выбросы происходят, как правило, из-за отказа системы пылегазоочистки (ПГО) и характеризуются высокой концентрацией аэрозольных частиц, значение которой превышает ПДК. При этом обнаружить сверхнормативный выброс возможно только периодическим отбором проб на выходе, что может привести к потерям сырья и значительному загрязнению окружающей среды. Решение указанных проблем возможно путём обнаружения сверхнормативных выбросов в реальном времени.

Основная часть

Ранее в [1] было показано, что обнаружение сверхнормативных аэрозольных выбросов при производстве цемента в реальном времени возможно путём контроля таких параметров аэрозольных потоков, как концентрация взвешенных частиц на выходе и функция распределения взвешенных частиц по размерам. Там же в [1] было показано, что концентрация аэрозольных частиц может значительно возрастать на выходе за счёт неравномерной подачи сырья на источник выбросов (например, в цементную мельницу) либо во время регенерации при использовании в качестве второй ступени очистки электрофилтра, вследствие чего возрастание концентрации на выходе не может служить однозначным критерием возникновения выброса вследствие отказа системы ПГО, а изменение функции распределения частиц по размерам позволяет точно определять сверхнормативные выбросы в случае отказа последней ступени ПГО.

Для решения задачи контроля параметров аэрозольных потоков в реальном времени предлагается использовать лазерный сенсор на основе метода спектральной прозрачности. Для повышения вероятности обнаружения аэрозольных выбросов и возможности выявления выбросов

на ранних стадиях их формирования лазерный сенсор должен позволять контролировать концентрацию и функцию распределения частиц по размерам одновременно. Такой контроль можно осуществить посредством двухволнового лазерного зондирования на основе метода спектральной прозрачности или методом интегрального рассеяния света. Более простыми в технической реализации являются сенсоры на основе метода спектральной прозрачности [2].

На рис. 1 представлено устройство и принцип действия лазерного сенсора.

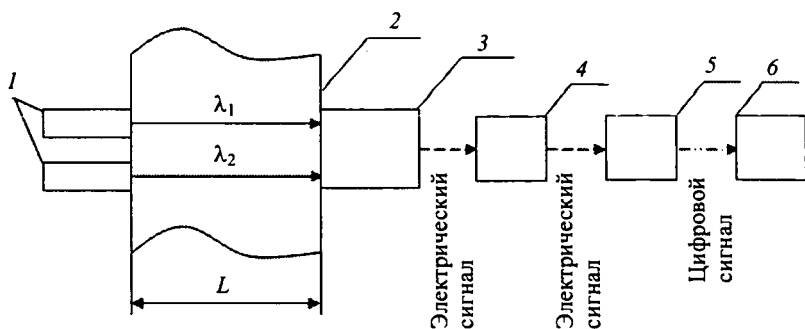


Рис. 1. Лазерный сенсор на основе метода спектральной прозрачности: 1 – лазеры, 2 – газопровод, 3 – фотоприемник, 4 – схема двойного синхронного детектирования, 5 – АЦП, 6 – ПК

Излучение на двух длинах волн λ_1 и λ_2 создается двумя лазерами 1. Проходя сквозь поток аэрозольных частиц в поперечном сечении газопровода 2, ослабленное излучение регистрируется фотоприемником 3. Электрический сигнал фотоприемника 3, проходя через схему двойного синхронного детектирования 4, поступает на АЦП 5. Посредством АЦП 5 электрический сигнал от фотоприемника 3 преобразуется в цифровой сигнал, который поступает на обработку в ПК 6, где и осуществляется расчёт массовой концентрации частиц C , среднего объемно-поверхностного диаметра частиц δ_{32} и восстановление функции распределения частиц по размерам.

Таким образом, предложенный сенсор позволяет решать две важные задачи. Во-первых, предотвращается загрязнение окружающей среды. Во-вторых, устраняются безвозвратные потери сырья в виде мелкодисперсных частиц цемента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Веденин Е.И., Чартий П.В., Шеманин В.Г.* Лазерная система предупреждения аэрозольных выбросов // *Безопасность в техносфере.* – 2014. – № 5(50). – С. 25–31.
2. *Шеманин В.Г., Васильев А.О., Чартий П.В.* Мониторинг выбросов углеводородов при хранении и транспортировке нефти и нефтепродуктов // *Безопасность в техносфере.* – 2011. – № 5. – С. 3–7.

Исследование корреляционных свойств измерений датчика Шэка – Гартмана в зависимости от параметров его оптической части

Н.В. Голенева, В.В. Лавринов

Научный консультант – канд. физ.-мат. наук Л.Н. Лавринова,

Томский государственный университет, г.Томск, Россия,

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

nadia_alt@mail.ru, lvv@iao.ru, lnl@iao.ru

Турбулентная атмосфера представляет собой случайно-неоднородную среду, обладающую большим числом пространственных неоднородностей, которые характеризуются широким диапазоном пространственных масштабов показателя преломления. Флуктуации показателя преломления являются одним из наиболее существенных факторов, оказывающих влияние на работу оптических систем в турбулентной атмосфере. Для уменьшения влияния турбулентности используются адаптивные оптические системы (АОС).

Важной проблемой в работе АОС является задержка в контуре обратной связи, обусловленная разрывом во времени момента регистрации датчиком искажений волнового фронта и момента коррекции их гибким зеркалом. Уменьшение влияния временной задержки может быть реализовано посредством опережающей адаптивной коррекции [1], суть которой – в подаче на зеркало управляющих воздействий, вычисленных относительно волнового фронта, измеряемого в данный момент, т.е. волнового фронта, построенного по прогнозируемым измерениям датчика. Данный способ, снижающий влияние запаздывания системы на точность ее работы, предполагает знание поперечного ветрового переноса турбулентности на входной апертуре системы [2].

Основная часть

Наиболее распространенным измеряющим элементом АОС является датчик волнового фронта Шэка – Гартмана (ДВФ ШГ). В ходе развития адаптивной оптики возникли изменения в строении датчика. Основными элементами последних разработок ДВФ ШГ являются микролинзовый растр и высокоразрешающая видеокамера. На рис.1 представлена оптико-электронная схема такого датчика.

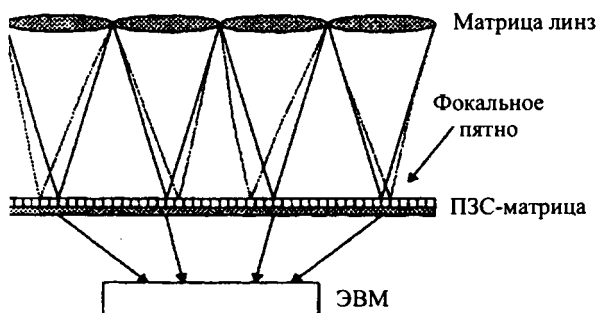


Рис. 1. Оптико-электронная схема ДВФ ШГ

Для оценки зависимости эффективности реконструкции волнового фронта от оптической части ДВФ ШГ проводился следующий эксперимент: лазерный пучок ($I = 10^5$ Вт/м²; $a_0 = 0,1$ м; $\lambda = 0,63$ мкм) распространялся через случайный турбулентный экран, моделируемый спектром фон Кармана, затем приходил на линзовый растр из 64 (или 256) микролинз, далее делился на отдельные пучки, которые фокусировались в плоскости приемного устройства. Расчеты проводились на сетке, содержащей 512×512 пикселей. На рис. 2 представлены профили фазового распределения ВФ, приходящего на входную апертуру системы, и ВФ, реконструированные датчиками.

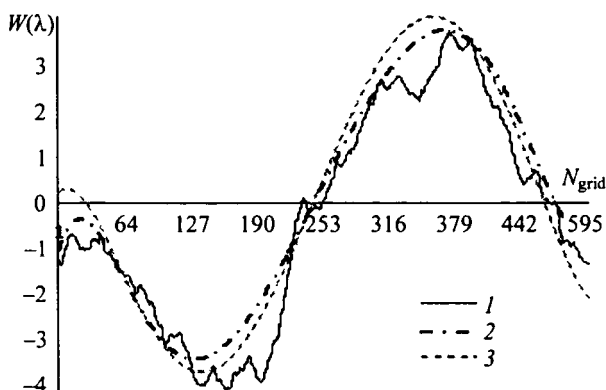


Рис. 2. Профили фазовых распределений $W(x,y)$ в λ ; N_{grid} – размерность сетки 512×512 pxl: кр. 1 – ВФ на входной апертуре системы, $r_0 = 0,05$ м; кр. 2, 3 – реконструированные ВФ датчиками с числом линз 8×8 и 16×16 , соответственно

Из рис. 2 видно, что в центральной части двумерного фазового распределения профили ВФ, реконструированные датчиками с размерами растра 8×8 и 16×16 , достаточно близки. На периферии профили реконструированных фазовых распределений значительно отличаются. Это может быть связано с тем, что при изменении размера субапертуры меняется размер фокального пятна, а также угол прихода ВФ, что приводит к изменению вкладов полиномов Цернике при реконструкции ВФ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антошкин Л.В., Лавринов В.В., Лавринова Л.Н., Лукин В.П., Туев М.В. Особенности опережающей коррекции турбулентных искажений по измерениям датчика Шэка – Гартмана // Оптика атмосферы и океана. – 2010. – Т. 23. – № 11. – С. 1042– 1047.
2. Голенева Н.В., Лавринов В.В., Лавринова Л.Н. Определение величины и направления поперечной составляющей скорости ветра на входной апертуре датчика волнового фронта Шэка-Гартмана по его измерениям // Изв. вузов. Физика. – 2013. – Т. 56. – № 8/3. – С. 217–219.

Лазерное зондирование аэрозольных потоков в воздухе

В.С. Каунов

Научный консультант – канд. физ.-мат. наук **П.В. Чартый**,
Новороссийский политехнический институт, г. Новороссийск, Россия

nvr10@mail.ru, pvc-60@yandex.ru

В настоящее время при производстве сырья в промышленности часто образуются газообразные потоки с твердыми частицами. Такие аэрозольные потоки выбрасываются в атмосферу, что приводит к её загрязнению. При этом необходимо, чтобы концентрация этих веществ не превышала предельно-допустимого значения (ПДК). Для этого требуются новые методы лазерного зондирования аэрозольных потоков в воздухе.

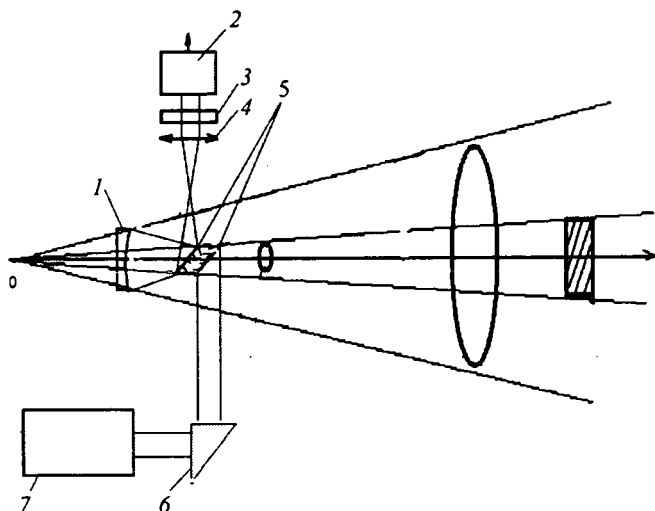


Рис. 1. Схема установки лидара для зондирования аэрозолей:
1 – параболическое зеркало; 2 – фотодетектор; 3 – интерференционный светофильтр, на пропускание с длиной волны 532 нм; 4 – объектив; 5 – зеркало; 6 – призма; 7 – лазер

Лазерные методы зондирования аэрозольных потоков уже нашли применение и являются перспективными для расширения области их применения. В основе большинства лазерных методов зондирования

аэрозольных потоков лежит теория рассеяния Ми (теория рассеивания электромагнитной волны на однородной сфере произвольного размера), которая позволяет оценивать взаимодействие лазерного излучения с частицами. При этом необходимо задавать микрофизические и оптические характеристики частиц, такие, как размер и показатель преломления. Кроме того, для решения обратных задач лазерного зондирования необходимо учитывать концентрацию самих частиц в потоке

Рассмотрим лазерную установку для зондирования аэрозольных смесей в воздушном потоке (рис. 1).

Лазер 7 излучает свет на призму 6, от которой свет рассеивается на зеркало 5, а от зеркала отражается в контролирующее пространство. Часть рассеянного света попадает в параболическое зеркало 1 и собирается на зеркало 5, с помощью которого направляется на фотодетектор.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что метод лазерного зондирования загрязняющих веществ обладает рядом преимуществ: он позволяет получать точную информацию о состоянии компонентов природной среды на больших площадях и удаленном расстоянии [1].

Работа выполнена при поддержке базовой части госзадания Министерства образования и науки РФ (проект № 2284).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Туркина Г.И., Шеманин В.Г. Локальная система атмосферного мониторинга // Научное приборостроение. – 1993. – Т 3. – № 2. – С. 98–102.

О возможности управления положением точки генерации суперконтинуума филаментированных фемтосекундных импульсов на трассе зондирования

С.Ф. Ковалёва¹

Научный консультант – канд. физ.-мат. наук В.К. Ошлаков²

¹*Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники*

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

ovk@iao.ru, sofia.120794@gmail.com

При распространении мощных фемтосекундных лазерных импульсов в воздухе наблюдается филаментация, т.е. пространственно-временная локализация энергии излучения [1–3]. Более 10 % энергии импульса остаются локализованными в приосевой области диаметром 100 мкм на всей длине филамента, достигающей сотни метров [3]. Это явление сопровождается генерацией конической эмиссии суперконтинуума (СК) [2, 4, 5], т.е. часть энергии импульса перераспределяется по спектру и по угловым направлениям (конусам расходимости) с соблюдением правила: чем короче длина волны СК, тем больше угол при вершине конуса. СК рассматривается как перспективный источник для (широкополосного зондирования атмосферы) мониторинга окружающей среды [6]. Условием формирования филамента и СК является превышение мощностью импульса P_0 некоторого порогового значения $P_{\text{пор}}$. Для воздуха $P_{\text{пор}}$ имеет значение 3,2–3,5 ГВт. При выполнении условия $P_0 > P_{\text{пор}}$ наблюдается явление самофокусировки, т.е. концентрация энергии светового пучка. Существует эмпирическая формула J.H. Marburger, которая связывает нелинейный фокус с длиной волны, радиусом входного пучка и отношением P_0 к $P_{\text{пор}}$.

Основная часть

Задача формирования области филаментации на заданном удалении от источника является актуальной в области фемтосекундной атмосферной оптики, включающей в себя как задачи зондирования, так и задачи транспортировки экстремально высоких значений интенсивности световых полей. Среди методов управления положением области филаментации (ОФ) основными являются: изменение мощности лазерного импульса, пространственная и временная фокусировка, вариации на-

чального поперечного профиля интенсивности пучка, в том числе с использованием адаптивного управления [7]. На рис. 1 и 2 приведены результаты измерений ОФ для случаев управления дальностью начала филаментации с использованием начальной пространственной фокусировки (рис. 1) и энергией импульса (рис. 2) [8].

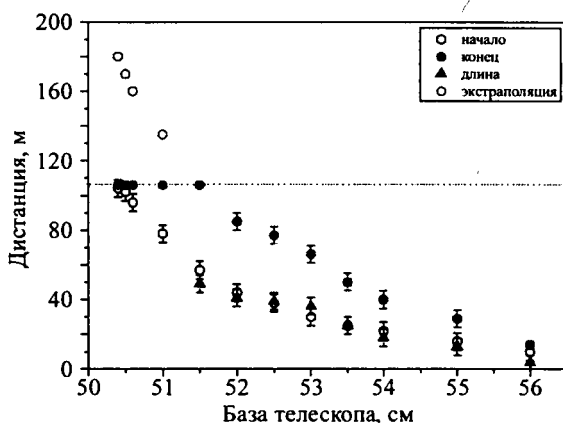


Рис. 1. Координаты начала, конца и длина области филаментации в зависимости от базы (фокусного расстояния телескопа)

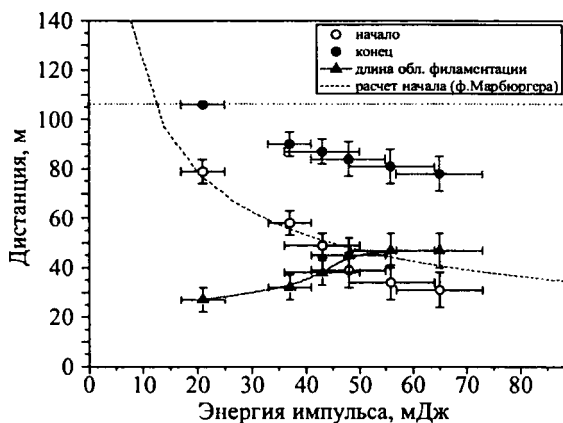


Рис. 2. Координаты начала, конца и длина области филаментации коллимированного пучка в зависимости от энергии лазерного импульса

Видно, что увеличение базы телескопа в диапазоне нескольких сантиметров (увеличение остроты фокусировки) дает возможность перемещать начало филаментации и всю ОФ по всей длине стометровой трассы. Изменение энергии, а следовательно, мощности импульса также позволяют варьировать положение ОФ. На рис. 2 также нанесена зависимость дистанции начала филаментации, рассчитанная по формуле J.H. Marburger [7], для нелинейного фокуса

$$F_n = 0.734 L_R [(\eta^{1/2} - 0.852)^2 - 0.0219]^{-1/2}, \quad (1)$$

где $L_R = \pi r_0^2 / \lambda$ – длина Рэлея, r_0 – радиус пучка; $\eta = P_0 / P_{cr}$ – безразмерная мощность импульса, P_0 – мощность импульса, $P_{cr} = 3.77 \lambda^2 / 8 \pi n_0 n_2$ – критическая мощность самофокусировки (для воздуха $\lambda = 800$ нм $P_{cr} = 3,2$ ГВт), n_0 – показатель преломления среды, n_2 – нелинейный коэффициент преломления.

На рис. 3 приведены рассчитанные по формуле (1) зависимости значений нелинейного фокуса от начального радиуса пучка для различных сред: воздуха, воды и стекла, а на рис. 4 – подобные зависимости от начальной энергии.

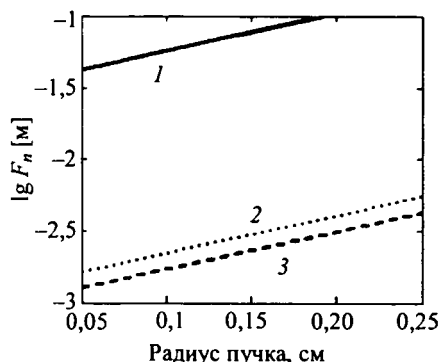


Рис. 3. Зависимость положения нелинейного фокуса от радиуса коллимированного пучка: кр. 1 – воздух, кр. 2 – стекло, кр. 3 – вода

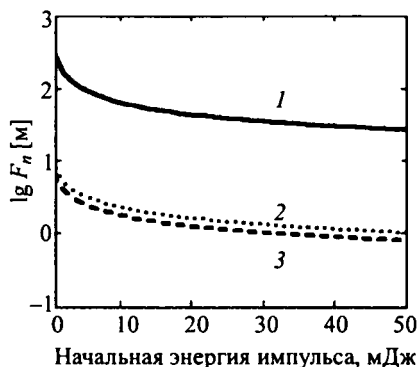


Рис. 4. Зависимость положения нелинейного фокуса коллимированного пучка от начальной энергии импульса: кр. 1 – воздух, кр. 2 – стекло, кр. 3 – вода

Из анализа полученных результатов следует, что в оптически более плотной, чем воздух, среде импульс сфокусируется на меньшем расстоянии (рис. 3 и 4). Если на пути импульса расположить оптически

более плотный прозрачный образец толщиной, меньшей, чем длина нелинейного фокуса, то импульс пространственно сожмется в условиях самофокусировки и выйдет из образца со значением радиуса меньше начального. При дальнейшем распространении в воздухе импульс сфокусируется на расстоянии, соответствующем нелинейному фокусу для измененного радиуса. Например, для начальной мощности коллимированного пучка 200 ГВт ($E = 10$ мДж, $\tau = 50$ фс) и значения $r_0 = 1,25$ см значение нелинейного фокуса в стекле равно $\sim 4,5$ м, а в воздухе ~ 128 м. Следовательно, если дополнительно сфокусировать пучок в стеклянном образце толщиной 0,25 м до значения радиуса 0,012 м, получим положение нелинейного фокуса на расстоянии 114 м.

Задача формирования области филаментации предварительно расширенного заданного радиуса высокоинтенсивного коллимированного пучка на заданном удалении от источника может быть решена с использованием комбинирования нелинейных свойств различных сред распространения, например – воздуха и стекла, отличающихся значением пороговой мощности на три порядка.

Работа выполнена при поддержке проекта РНФ №14-27-00022.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Braun A., Korn G., Liu X., Du D., Squier J., and Mourou G. Self-channelling of high-peak-power femtosecond laser pulse in air // Opt. Lett. – 1995. – V. 20. – P. 73–75.
2. Nibbering E.T.J., Curley P.F., Grillon G., et al. Conical Emission from self-guided femtosecond pulses in air // Opt. Lett. – 1996. – V. 21. – P. 62–64.
3. Brodeur A., Chien C.Y., Ilkov F.A., et al. Moving focus in the propagation of ultrashort laser pulses in air // Opt. Lett. – 1997. – V. 22. – P. 304–306.
4. Kosareva O.G., Kandidov V.P., Brodeur A., Chien C.Y., and Chin S.L. Conical emission from laser-plasma interactions in the filamentation of powerful ultrashort laser pulses in air // Opt. Lett. – 1997. – V. 22. – P. 1332–1334.
5. Kandidov V.P., Kosareva O.G., Golubtsov I.S., et al. Self-transformation of a powerful femtosecond laser pulse into a white-light laser pulse in bulk optical media (or supercontinuum generation) // Appl. Phys. B. – 2003. – V. 77. – P. 61–64.
6. Гейнц Ю.Э., Землянов А.А., Кобанов А.М., Матвиенко Г.Г. Нелинейная фемтосекундная оптика атмосферы / под общ. ред. А.А. Землянова. – Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2010. – 212 с.
7. Marburger J.H. Self-focusing: Theory // Prog. Quant. Electron. – 1975. – V. 4. Part 1. – P. 35–110.
8. Апекусов Д.В., Землянов А.А., Иглакова А.Н., Кабанов А.М., Кучинская О.И., Матвиенко Г.Г., Ошляков В.К. Филаментация тераваттных лазерных импульсов на стометровой атмосферной трассе // Оптика атмосферы и океана. – 2015. – Т. 28. – № 03. – С. 274–277.

Сравнительный анализ времени работы алгоритмов измерения доступной полосы пропускания каналов IP-сети в задаче построения системы видеоконференцсвязи

Ю.С. Корнев, О.Н. Гущина, И.С. Ненахов

*Научный руководитель – канд. техн. наук. А.Н. Тараканов,
Ярославский государственный университет имени П. Г. Демидова,
г. Ярославль, Россия*

kornevys@mail.ru, olyagushchina@gmail.com, zergoodsound@gmail.com

В настоящее время системы многоточечной видеоконференцсвязи (МВКС) широко используются при решении различных задач: общение, ведение переговоров и другие. Основой таких систем является эффективная топология сети, позволяющая передавать большие объемы видеоданных с минимальной нагрузкой на сеть. Для построения топологии необходимо быстро, точно и с минимальным использованием служебного трафика определять характеристики отдельных каналов связи в сети. Одной из таких характеристик является доступная ширина полосы пропускания канала связи от источника к приемнику ВКС трафика.

Доступная полоса пропускания канала зависит от пропускной способности линии связи и имеющейся нагрузки сети трафика в течение определенного периода времени. Доступная полоса пропускания A_i i -го участка сети на пути между источником и приемником трафика, полученная на интервале времени $(t, t+\tau)$, определяется как неиспользованная часть емкости i -го линка:

$$A_i(t, t + \tau) = \frac{1}{\tau} C_i \int_t^{t+\tau} [1 - \lambda_i(t)] dt, \quad (1)$$

где C_i – емкость i -го участка (линка) сети; λ_i – средняя загрузка i -го участка (линка) сети.

С учетом существования N участков сети на пути между источником и приемником трафика доступная полоса пропускания канала связи A_{aw} определяется как

$$A_{aw}(t, t + \tau) = \min_{i=1, \dots, N} \{A_i(t, t + \tau)\}. \quad (2)$$

В ходе исследования разработан новый алгоритм, позволяющий получать информацию о доступной полосе пропускания. Проведен сравнительный анализ работы нового алгоритма и существующих Assolo, pathChirp, IGI-PTR и Abing на собранном стенде участка IP-сети. При тестировании учитывались различные этапы функционирования систем MBКС:

1) первоначальное установление соединения и построение топологии сети;

2) активное общение участников конференции: топология сети не меняется.

Для упрощения математической модели полагаем, что величина полосы пропускания каждого из каналов связи не изменяется во время одной сессии MBКС.

На рис. 1 представлено среднее значение времени получения оценки A_{av} для первого этапа функционирования системы MBКС. На этом этапе новый алгоритм позволяет получать оценку A_{av} на 10 % быстрее, чем IGI-PTR, и на 3 % быстрее, чем Abing, однако проигрывает в скорости Assolo и pathChirp (на 42 и 54 % соответственно). При проведении эксперимента для условий второго этапа время измерения исследуемых алгоритмов отличалось незначительно (на 1–4 %). Данный результат объясняется тем, что после этапа установления соединения все алгоритмы уже сошлись к определенным значениям доступной полосы пропускания, а флуктуации видеотрафика MBКС слабо влияют на разницу времени измерения.

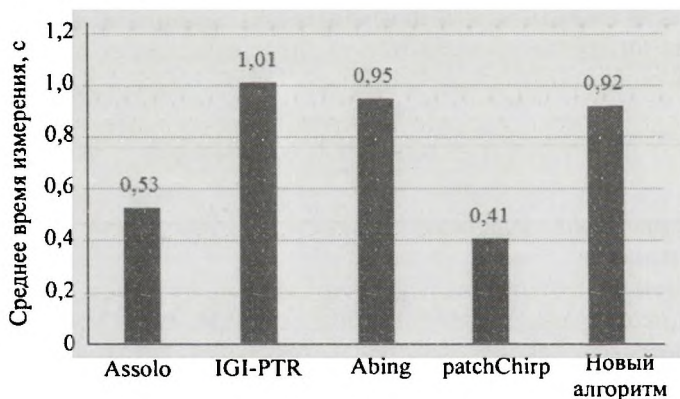


Рис. 1. Среднее время измерения A_{av} для Assolo, pathChirp, IGI-PTR и Abing и нового алгоритма

В ходе дальнейших исследований планируется произвести сравнительный анализ нового алгоритма и существующих Assolo, pathChirp, IGI-PTR, Spruce по точности результатов оценки и объемам генерации служебного трафика.

Пространственные параметры суперконтинуума филаментированных фемтосекундных импульсов

И.А. Медведенко

*Научный консультант – канд. физ.-мат. наук В.К. Ошлаков,
Томский государственный университет систем управления
и радиоэлектроники, г.Томск, Россия*

medvedenkoilona@mail.ru, ovk@iao.ru

В связи с бурным развитием лазерной техники в конце XX – начале XXI века в технологически развитых странах были созданы лазерные системы, генерирующие импульсы сверхкороткой длительности (СКИ): в пространственном масштабе на расстоянии, соответствующем длине волны, укладывается от нескольких единиц до десятков периодов колебаний.

При распространении мощных СКИ в среде распространения проявляются нелинейные эффекты – самоканализация, самофокусировка, многофотонное поглощение, туннельная ионизация и т.п., – связанные с соотношением начальной мощности импульса с некоторым пороговым значением. Например, для воздуха значение пороговой мощности имеет значение 3,2–3,5 ГВт [1–3]. Для воды и стекла – порядка нескольких МВт. Формирование филаментов обусловлено своеобразным компромиссом между керровской самофокусировкой в среде и нестационарной абберационной дефокусировкой излучения в наведенной лазерной плазме. В газах и конденсированных средах формируются протяженные филаменты, в которых концентрируется значительная часть энергии излучения. Филаменты замечательны тем, что значительная часть энергии импульса остается локализованной в узкой приосевой области (для воздуха – 100 мкм) на всей длине филамента. Изучение условий формирования филаментов и связанных с ними явлений, поиски новых методов являются актуальными для развития фемтосекундных лазерных технологий в микрофотонике, лазерном зондировании окружающей среды, в дистанционном управлении электрическим разрядом [4].

Основная часть

Филаментация сопровождается образованием плазменных каналов и сверхуширением частотного спектра импульса – генерацией кониче-

ской эмиссии суперконтинуума (СК). Часть энергии импульса расходуется на генерацию конической эмиссии, картина которой в поперечном сечении имеет вид концентрических цветных колец, радиус которых увеличивается с уменьшением длины волны излучения [5]. Уширение спектра наблюдалось в экспериментах в диапазоне от 300 до 4500 нм. Для СК в видимую область спектра переходит 10–15 % энергии импульса. В настоящее время коническая эмиссия рассматривается как источник импульсного излучения для лазерного зондирования и мониторинга атмосферы. Первые обнадеживающие эксперименты с фемтосекундными лидами тераваттной мощности выполнены в Германии [6, 7]. Проводятся подобные эксперименты и в России [8].

При филаментации источник излучения формируется на удаленном расстоянии от передатчика и для разных длин волн СК имеем различные значения углов расходимости. В настоящей работе приведены результаты исследования пространственных параметров суперконтинуума филаментированных фемтосекундных импульсов. В качестве источника излучения использована фемтосекундная система ИОА СО РАН. В данном эксперименте длина волны лазерного излучения составляла 800 нм, а энергия выходного импульса – 2 мДж, длительность 50 фс, частота генерации 10 Гц, диаметр выходного пучка 2,5 см. В качестве среды распространения использованы воздух и стеклянный образец с известными оптическими свойствами. Схема эксперимента представлена на рис. 1. На пути хода луча было установлено фокусирующее диэлектрическое зеркало повышенной лучевой стойкости с фокусным расстоянием 1 м. Стеклянный образец (цилиндр длиной $L = 0,09$, диаметром 0,05 м) помещался на расстоянии 0,88 м от фокусирующего диэлектрического зеркала, на которое направлялся мощный фемтосекундный импульс. Положение нелинейного фокуса сфокусированного пучка можно оценить с помощью эмпирической формулы Власова – Таланова [9]:

$$F_N = \left(\frac{1}{F} + \frac{1}{F_{NC}} \right)^{-1}, \quad (1)$$

где

$$F_{NC} = \frac{2}{\left(\frac{P}{P_{cr}} - 1 \right)^{0,5}},$$

F – фокусное расстояние; P – мощность импульса; P_{cr} – пороговая мощность оптической среды.

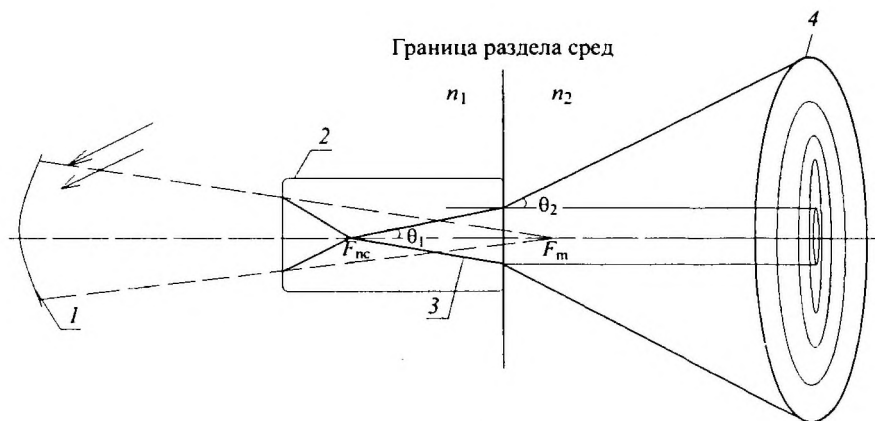


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – фокусирующее диэлектрическое зеркало ($F = 1$ м); 2 – стеклянный образец ($L = 0,09$ м); 3 – филамент и СК; 4 – экран; F_m – фокус зеркала; F_{nc} – нелинейный фокус; n_1 и n_2 – показатели преломления стекла и воздуха; θ_1 и θ_2 – углы расходимости для двух сред, стрелками показано направление лазерного излучения

Визуально точка начала филамента в стеклянном образце наблюдалась на расстоянии 0,04 м от передней грани стеклянного цилиндра, диаметр центральной наиболее интенсивной части СК на выходной грани цилиндра составлял 6 мм. СК, возникший в стеклянном образце,

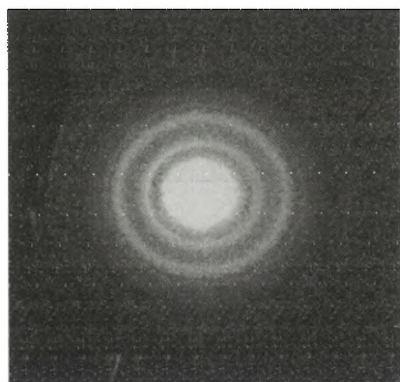


Рис. 2. Снимок колец, наблюдаемых в эксперименте при филаментации в стекле на длине волны 800 нм с длительностью 50 фс, энергией 2 мДж

наблюдался на экране, расположенном за геометрическим фокусом зеркала (рис. 2). Регистрация производилась с помощью цифровой камеры.

Так как энергия в спектре СК суммарно меньше значения, соответствующего пороговой, излучение на этих длинах волн подчиняется правилам линейной геометрической оптики. В частности – закону преломления. При переходе из оптически более плотной в менее плотную среду меняется направление излучения на данной длине волны и на удаленном экране регистрируется цветная картина распределения СК с большей уг-

ловой расходимостью. Из экспериментальных данных известен радиус кольца СК на выходной грани стеклянного образца. В таблице приведены экспериментальные значения диаметров колец для некоторых длин волн.

Диаметры колец некоторых длин волн

1	Синий (400 нм)	5 см
2	Зеленый (550 нм)	3,75 см
3	Желтый (580 нм)	3,15 см
4	Красный (700 нм)	2,5 см

По результатам измерения радиусов цветных колец на фотографиях, с учетом расстояний, пройденных соответствующими лучами от выходной грани образца до экрана, путем несложных вычислений можно восстановить положение точки начала филаментации в стеклянном образце. Расчеты углов преломления и положения точки начала филамента для различных длин волн производились с использованием известной формулы Снеллиуса

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2, \quad (2)$$

где n_1 и n_2 – показатели преломления; θ_1 и θ_2 – углы падения и преломления для стекла и воздуха соответственно.

Например, для зеленого кольца (550 нм) получили значение ~0,044 м от начала стеклянного образца. Эта оценка близка к наблюдаемой (0,04 м), но больше оценки по формуле (1) равной 0,022 м.

Экспериментально показано, что возможно оценить положение нелинейного фокуса в стеклянном образце, используя линейные свойства излучения суперконтинуума, возникшее в результате филаментации исходного лазерного импульса.

Работа выполнена при поддержке проекта РНФ № 14-27-00022.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Braun A., Korn G., Liu X., Du D., Squi J., and Mourou G. // Opt. Lett. – 1995. – V. 20. – P. 73.
2. Nibbering E.T.J., Curley P.F., Grillon G., Prad B.S., Franco M.A., Salin F., and Mysyrowicz A. // Opt. Lett. – 1996. – No. 1. – P. 62.
3. Brodeur A., Chien C.Y., Ilkov F.A., Chin S.L., Kosareva O.G., and Kandidov V.P. // Opt. Lett. – 1997 – V. 22. – P. 304.
4. Kasparian J., Rodrigues M., Mejean G., Yu J., Salmon E., Wille H., Bourayou R., Frey S., Andre Y.-B., Mysyrowicz A., Souerbrey R., Wolf j.-P., and Woste L. // Science. – 2003. – V. 301. – P. 61.

5. Голубцов И.С., Кандидов В.П., Косарева О.Г. Коническая эмиссия мощного фемтосекундного лазерного импульса в атмосфере // Оптика атмосферы и океана. – 2001. – Т. 14. – № 05. – С. 335–348.
6. Woste L., Wedekind C., Wille H., Rairoux P., Stein B., Nikolov S., Werner Chr., Neidermeier St., Ronneberger F., Schillinger H., and Sauerbrey R. // Laser and Optoelectronic. – 1997. – V. 29. – No. 5.
7. Woste L., Wedekind C., Wille H., Rairoux P., Rogriguez M., Stein B., Sauerbrey R., Schillinger H., Ronneberger F., and Neidermeier St. // Ultrafast Phenomena XI. Proc of the 11-th Intern. Conf. Garmisch-Partenkirchen, Germany, July 12–17, 1998. – P. 118.
8. Букин О.А., Бабий М.Ю., Голик С.С., Ильин А.А., Кабанов А.М., Колесников А.В., Кульчин Ю.Н., Лисица В.В., Матвиенко Г.Г., Ошлаков В.К., Шмирко К.А. Лидарное зондирование атмосферы с использованием гигаваттных лазерных импульсов фемтосекундной длительности // Квант. электрон. – 2014. – Т. 44. – № 6. – С. 563–569.
9. Власов С.Н., Таланов В.И. Самофокусировка волн / ИПФ РАН. – Нижний Новгород, 1997. – 200 с.

Численное моделирование и разработка лабораторного стенда оптического анализатора параметров микроструктуры дисперсных сред

Е.В. Ни, И.Д. Брюханов

Научные руководители – докт. физ.-мат. наук **И.В. Самохвалов**;

канд. физ.-мат. наук **В.В. Брюханова**,

Томский государственный университет, г.Томск, Россия

wolf.ni@yandex.ru, plyton2121@mail.ru

В химико-фармацевтическом производстве и в экологическом мониторинге атмосферы требуется оперативная информация о параметрах микроструктуры дисперсных сред. Область применения известных оптических методов ограничена: оптическая толщина τ слоя контролируемой среды должна быть не более 1 ($\tau \leq 1$).

На кафедре ОЭС и ДЗ ТГУ разрабатывается прибор, в котором для получения информации о параметрах микроструктуры дисперсных сред используется как излучение, однократно рассеянное вперёд, так и многократно рассеянное назад [1]. На рис.1 изображён фрагмент его принципиальной схемы: узкий коллимированный пучок оптического излучения от источника выводится на оптическую ось приёмного объектива L_1 и направляется в исследуемую среду. Прямое излучение, ослабленное слоем среды, а также излучение, рассеянное вперёд под малыми углами,

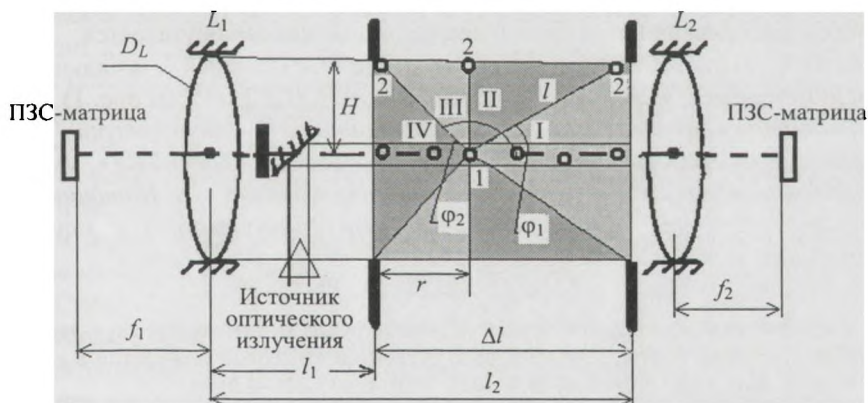


Рис. 1. Схема формирования потока двукратно рассеянного излучения

регистрируется ПЗС-матрицей, установленной в фокальной плоскости приёмного объектива L_2 .

На основе закона Бугера рассчитывается коэффициент ослабления среды и концентрация частиц [2]. Параметры рассеянного вперёд излучения позволяют определить среднеквадратичный размер частиц при условии, что все частицы имеют сферическую форму. По состоянию поляризации рассеянного излучения оценивается форма частиц, учёт которой позволяет повысить точность получаемых результатов.

При значениях оптической толщи $\tau \geq 1$ регистрируемый сигнал обусловлен не только однократным, но и многократным рассеянием. Распределение интенсивности многократно рассеянного назад излучения (вблизи 180°) фиксируется ПЗС-матрицей, установленной в фокальной плоскости приёмного объектива L_1 . Определение параметров этого распределения позволяет оценить параметры функции распределения частиц по размерам. Для выделения компоненты многократного рассеяния однократно рассеянное излучение блокируется пространственным фильтром.

В приближении теории двукратного рассеяния для интенсивности многократно рассеянного назад излучения $I^{(2)}(\Delta l)$ получено выражение

$$I^{(2)}(\Delta l) = \frac{P_0}{4\pi} \int_{l_1}^{l_2} \exp\left[-\int_0^r \alpha(r) dr\right] [I_1 + I_2 + I_3 + I_4] dr,$$

где $I^{(2)}(\Delta l)$ – интенсивность сигнала двукратного рассеяния; P_0 – мощность зондирующего излучения; $\alpha(r)$ – коэффициент ослабления исследуемой среды; I_1, I_2, I_3, I_4 – интегральные параметры, определяющие вклад интенсивности двукратно рассеянного излучения от отдельных частей рассеивающего объёма среды, который ограничивается диаграммой направленности приёмной системы L_1 , ближней l_1 и дальней l_2 границами слоя исследуемой среды (области I, II, III и IV на рис. 1).

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках «Программы повышения конкурентоспособности ТГУ», Фонда Д. Зимина «Династия», Благотворительного фонда В. Потанина и Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ни Е.В., Брюханов И.Д. // Сборник научных трудов III Междунар. науч.-технич. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов «Высокие технологии в современной науке и технике» ВТСНТ-2014. – 2014. – С. 216–220.
2. Зуев В.Е., Кабанов М.В. Современные проблемы атмосферной оптики. Т. 4: Оптика атмосферного аэрозоля. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 253 с.

Статистическое моделирование процесса распространения солнечного излучения в системе атмосфера – море

Е.С. Познахарев

*Научный консультант – канд. физ.-мат. наук **М.В. Тарасенков**
Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

poznahareov_egor@mail.ru

В связи с огромной протяженностью водных акваторий в настоящее время наиболее эффективным методом исследования морей и океанов являются спутниковые данные. Принимаемое спутниковыми системами излучение в системе атмосфера – море формируется сложным образом вследствие наличия атмосферного и подводного поглощения и рассеяния. В большинстве работ предполагается, что принимаемый спутниковыми системами сигнал формируется излучением с кратностью рассеяния не выше первой, кроме того, смежные эффекты в системе атмосфера-море как правило, не учитываются. Оценка влияния этих процессов является актуальной задачей. Одним из наиболее эффективных методов решения уравнения переноса излучения с учетом многократного рассеяния для сложных граничных условий является метод Монте-Карло [1].

Задача оценки влияния многократного рассеяния на процесс формирования спутниковых изображений решалась в следующей постановке задачи. Предполагается, что система атмосфера – море разделена на плоскопараллельные однородные слои. Атмосферный слой (0–100 км) состоит из 32 однородных слоев, оптические параметры которых задаются генератором оптических моделей на основе LOWTRAN-7 [2]. Море разделено на три однородных слоя вплоть до глубины 200 м. Оптические параметры моря задаются генератором оптических моделей на основе работ [3]. Граница атмосфера – море на данном этапе исследований не взволнована. На верхнюю границу атмосферы под зенитным углом падает параллельный поток солнечного излучения. Распространение излучения через границу атмосфера – море моделировалось законом Снеллиуса. Отражение света от водной поверхности на данном этапе исследований не учитывалось. На верхней границе атмосферы располагается спутниковая система, ориентированная в направлении и выполняющая наблюдение водной поверхности. Требуется определить интенсивность принимаемого спутниковой системой излучения в зависимости

от взаимного расположения Солнца и спутниковой системы, состояния атмосферы и моря и оценить влияние многократного рассеяния.

Для решения задачи разработанная ранее программа на основе метода Монте-Карло из [4] была адаптирована для учета распространения излучения в водной среде. Для тестирования результаты расчетов полученной программой сравнивались с результатами программы [4]. Расчеты выполнялись для длин волн 500 и 550 нм. Оптическая модель атмосферы соответствовала метеорологической дальности видимости 10 км, а оптическая модель моря – глубине видимости 20 м.

Полученные результаты расчетов показывают, что на длине волны $\lambda = 500$ нм принимаемое излучение выше, чем на длине волны $\lambda = 550$ нм. Причина этого состоит в следующем: в атмосфере на длине волны $\lambda = 500$ нм солнечная постоянная несколько больше, чем при $\lambda = 550$ нм, больше также рассеяние, но и поглощение больше. Однако отличие в рассеянии играет более существенную роль. В воде на длине волны 500 нм по сравнению с $\lambda = 550$ нм ниже поглощение и выше рассеяние, поэтому принимаемое излучение также выше. Из полученных результатов следует, что при азимуте $\varphi = 180^\circ$ значения интенсивности наибольшие для всех анализируемых величин. Причина этого состоит в том, что этот угол соответствует наибольшему значению индикатрисы рассеяния. Также оценивалась для $\lambda = 500$ и 550 нм: доля излучения, взаимодействовавшего с водой, доля многократного рассеяния в суммарном принимаемом излучении от воды и доля многократного рассеяния в суммарном принимаемом излучении от атмосферы. Расчеты показывают, что в рассматриваемых условиях доля излучения, взаимодействовавшего с водой в суммарном, составляет не более 5,6 %. Доля многократного рассеяния в излучении, взаимодействовавшем только с атмосферой, составляет до 65,5 %, а в излучении взаимодействовавшем с водой, – до 88,7 %. Это доказывает необходимость применения метода Монте-Карло.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Марчук Г.И., Михайлов Г.А., Назаралиев М.А. и др. Метод Монте-Карло в атмосферной оптике. – Новосибирск: Наука, 1976. – 284 с.
2. Kneizys F.X., Shettle E.P., Anderson G.P., et al. User guide to LOWTRAN-7. ARGL-TR-86-0177.ERP 2010 / Hansom AFB. MA 01731. – 137 p.
3. Оптика океана. Т.1. Физическая оптика океана / под ред. А.С. Монина. – М.: Наука, 1983. – 372 с.
4. Белов В.В., Тарасенков М.В., Пискунов К.П. Параметрическая модель солнечной дымки в видимой и УФ-области спектра // Оптика атмосферы и океана. – 2010. – Т. 23. – № 4. – С. 294–297.

Особенности динамики наведенных потенциалов поверхности головы человека в градиентном магнитном поле

М.В. Соколов

*Научный руководитель – канд. биол. наук **С.В. Побаченко**,
Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

MaxS@sibmail.com

В настоящее время есть основания полагать, что пребывания человека в аномальных геофизических зонах существенно изменяет работу организма человека и различных его систем, вызывая их аномалии [1]. В связи с этим, в 2013 г. были проведены экспедиционные исследования динамики показателей функционального состояния мозга человека в зоне с аномальным градиентом магнитного поля. В ходе этого исследования была выявлена реакция параметров электрической активности мозга человека, которая проявляется в увеличении амплитудных характеристик ЭЭГ [2]. Кроме того, удалось отметить ряд закономерностей, связанных с особенностями отклика на аномальные характеристики магнитного поля левого и правого полушарий головного мозга.

Исследования проводились в экспедиционном режиме в Кош-Агачском административном районе Республики Алтай (пос. Бельтир) с участием двух волонтеров с 1 по 3 августа 2013 г. Каждый из волонтеров во время мониторинга находился в магнитоаномальной зоне в течении 15–20 мин.

Магнитоаномальная зона представляет собой участок диаметром 5–7 м с сильноградиентной неоднородностью магнитного поля (порядка десятков тысяч нТл/м).

Для определения изменения характеристик электрической активности головного мозга использовался комплекс «Энцефалан-ЭЭГР-19/26». Для анализа были использованы временные ряды амплитудных значений ЭЭГ. С помощью дискретного фурье-преобразования производился расчет значений спектральной плотности амплитуд для диапазонов частот 0,3–4,0 и 8,0–13,0 Гц по всем ЭЭГ-отведениям.

На рис. 1 представлено распределение амплитудных значений по всем исследуемым каналам на временном интервале, соответствующем периоду входа волонтеров непосредственно в зону с аномальным градиентом магнитного поля в Δ -диапазоне.

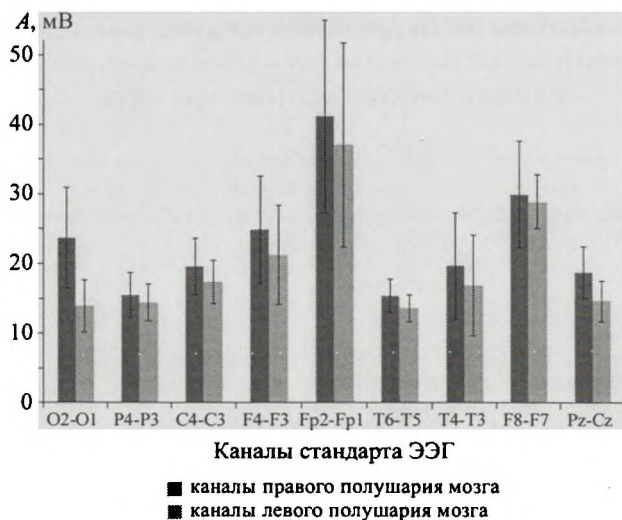


Рис. 1. Распределение значений спектральной плотности амплитуды по 19 отведениям в диапазоне частот 0,3–4,0 Гц для волонтера МВ

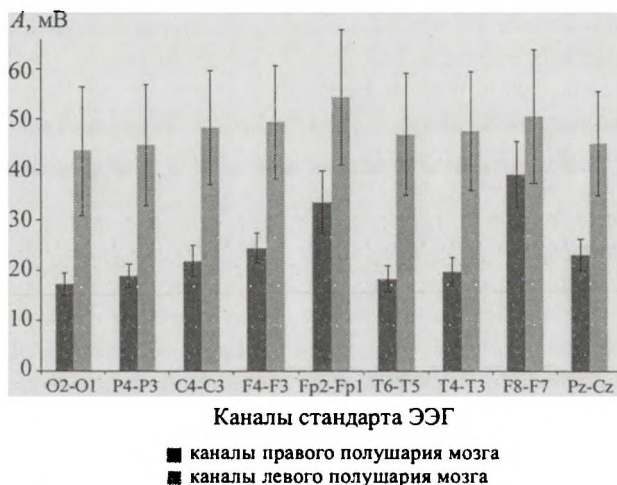


Рис. 2. Распределение значений спектральной плотности амплитуды по 19 отведениям в диапазоне частот 0,3–4,0 Гц для волонтера АВ

Данное распределение позволяет отметить слабо выраженную межполушарную асимметрию у волонтера МВ, в то время как у волонтера АВ происходит усиление доминирования левого полушария над правым (рис. 2). Также можно отметить, что у волонтера МВ наибольшее увеличение амплитудных значений происходит в лобных и височных долях, что соответствует каналам – Fp2-Fp1, F8-F7 (рис. 1). У волонтера АВ наблюдается аналогичный эффект, но слабо выраженный.

В α -диапазоне у волонтера МВ фиксируется слабо выраженная межполушарная асимметрия, можно отметить преобладание правого полушария над левым, наибольшее увеличение амплитуды происходит, в отличие от дельта-диапазона, в затылочных долях наряду с лобными и височными долями, что соответствует каналам – 02-01, P4-P3, Fp2-Fp1, F8-F7.

Межполушарный анализ для волонтера АВ в α -диапазоне позволил отметить преобладание правого полушария над левым, асимметрия полушарий выражена значительно сильнее, чем у волонтера МВ, максимальное увеличение амплитуды также наблюдается в затылочных, лобных и височных долях.

Таким образом, анализ межполушарных соотношений распределения активности ЭЭГ позволяет отметить, что при нахождении в зоне с аномальным МП наблюдается более выраженная дифференцировка амплитуд с доминированием одного из полушарий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Mach Q.H. and Persinger M.A.* Behavioral changes with brief exposures to weak magnetic fields patterned to stimulate long-term potentiation // *Brain Research.* – 2009. – V. 1261. – P. 45–53.
2. *Соколов М.В., Побаченко С.В.* Магнитные аномалии геологических разломов и реакции мозга человека на них // Материалы XI Междунар. Школы молодых ученых «Физика окружающей среды» им. А.Г. Колесника. – Томск: ТМЛ-Пресс, 2014. – С. 150–154.

Закономерности динамики электрической активности мозга в градиентном магнитном поле

М.В. Соколов

*Научный руководитель – канд. биол. наук С.В. Побаченко,
Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

MaxS@sibmail.com

В 2013 г. были организованы и проведены экспедиционные исследования динамики показателей функционального состояния мозга человека в зоне с аномальным градиентом магнитного поля. В ходе этого исследования была выявлена реакция параметров электрической активности мозга человека, которая проявляется в увеличении амплитудных характеристик ЭЭГ. При этом период начала активации (латентность) определяется индивидуальными характеристиками функционального состояния [1]. В 2014 г. с целью подтверждения полученных результатов было проведено аналогичное исследование с участием большей выборки волонтеров.

Исследования проводились в экспедиционном режиме в Кош-Агачском административном районе Республики Алтай (пос. Бельтир) с 28 по 29 июля 2014 г. В исследовании участвовало четыре волонтера, два из которых находился в возрастной категории до 25 лет, остальные в категории свыше 50 лет. Использовался комплекс на базе электроэнцефалографов «Энцефолан-ЭЭГР-19/26».

У каждого из волонтеров во время исследований производилась фоновая запись ЭЭГ в течение 5 мин за пределами аномальной зоны, затем волонтер заходил в зону с аномальным градиентом магнитного поля и находился там 15 мин, после чего снова проводилась фоновая запись. Для анализа были использованы временные ряды амплитудных значений ЭЭГ. С помощью дискретного фурье-преобразования производился расчет значений спектральной плотности амплитуд для диапазонов частот 0,3–4,0 и 8,0–13,0 Гц по всем ЭЭГ-отведениям.

Анализ полученных данных в диапазоне частот 0,3–4,0 Гц (рис. 1) для первого волонтера (МВ) позволяет заметить, что амплитудные значения спектральной мощности до захода в аномальную зону не изменялись, затем после того как волонтер вошёл в пределы зоны с аномальным градиентом магнитного поля, с задержкой порядка 5 мин фиксиру-

ется увеличение амплитудных значений (в среднем в 3,5 раза). Следует отметить, что данный волонтер относится к возрастной категории до 25 лет.

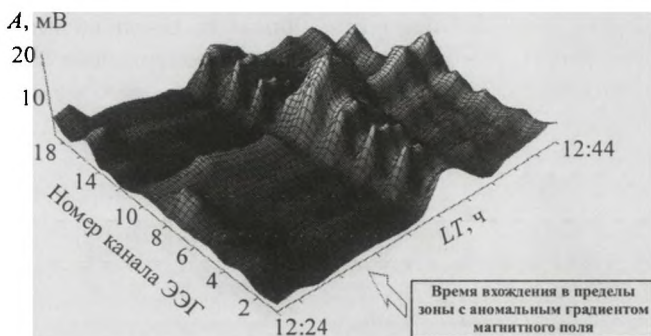


Рис. 1. Распределение значений спектральной мощности по 19 отведениям ЭЭГ в диапазоне частот 0,3–4,0 Гц для волонтера MB

У второго волонтера (AB) наблюдается схожая реакция активации в дельта-диапазоне (рис. 2). Но в отличие от волонтера MB у волонтера AB этот эффект проходит с большим увеличением амплитудных значений (в среднем в 4,8 раза). Кроме того, эффект увеличения амплитудных значений фиксируется сразу после входа волонтера в аномальную зону.

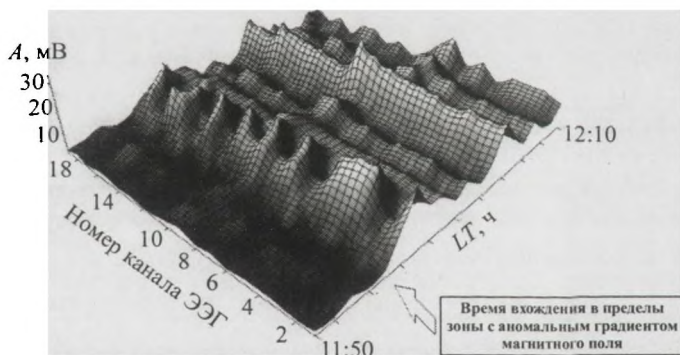


Рис. 2. Распределение значений спектральной мощности по 19 отведениям ЭЭГ в диапазоне частот 0,3–4,0 Гц для волонтера AB

Следует также отметить, что данный волонтер относится к возрастной категории свыше 50 лет.

На рис. 3 представлено распределение амплитудных значений для волонтера ЮП. Данное распределение позволяет отметить увеличение значений спектральной мощности сразу после того, как волонтер вошел в аномальную зону. Следует отметить, что волонтер также относится к возрастной категории свыше 50 лет.

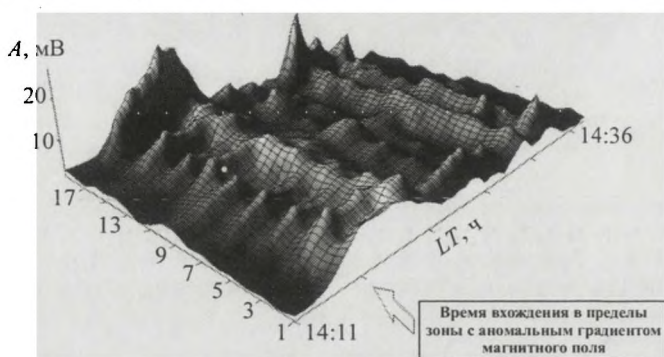


Рис. 3. Распределение значений спектральной мощности по 19 отведениям ЭЭГ в диапазоне частот 0,3–4,0 Гц для волонтера ЮП

Также следует отметить, что аналогичные эффекты для всех трех волонтеров фиксируются и в диапазоне α -активности ЭЭГ.

Таким образом, установлено различие, связанное с периодом реагирования по возрастному признаку. Так, у волонтера МВ фиксируется задержка в появлении реакции активации порядка 5 мин при нахождении в аномальной зоне (рис. 1), в то время как у волонтера АВ и ЮП данный эффект наступил сразу же после входа в зону (рис. 2 и 3). Данный эффект наблюдается как в дельта-, так и в диапазоне α -активности ЭЭГ. Полученные результаты полностью согласуются с результатами исследования, проведенного в 2013 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Побаченко С.В., Соколов М.В., Шитов А.В. Влияние градиента магнитного поля в аномальной зоне активного геологического разлома на показатели ЭЭГ человека // Труды XI Междунар. науч. конф. «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии». – Владимир, 2014. – Кн. 2. – С. 227–230.

Диэлектрические свойства древесины в диапазоне 0,1–0,3 ТГц

А.А. Тарасов

*Научный консультант – канд. физ.-мат. наук **Т.Д. Кочеткова**,
Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

alexrain_999@mail.ru

Указанный частотный диапазон выбран в связи с неослабевающим интересом к этой области шкалы электромагнитного излучения. Терагерцовый диапазон частот (0,1–10 ТГц) обладает рядом специфических особенностей, делающих его весьма привлекательным для широкого круга фундаментальных и прикладных исследований в области физики, химии, биологии и медицины. Терагерцовые волны перспективны для диагностики и спектроскопии различных сред, включая развитие методов электронного парамагнитного резонанса и ядерного магнитного резонанса высокого разрешения [1]. В системах безопасности используется ТГц-излучение для сканирования багажа и людей. В отличие от рентгеновского, оно не наносит вреда организму. С его помощью можно разглядеть спрятанные под одеждой человека металлические, керамические, пластиковые и др. предметы на расстояниях до десятков метров, например, с помощью системы Tadar [2]. Длина волны сканирующего излучения – 3 мм.

В производстве ТГц-излучение может найти применение для контроля качества выпускаемой продукции, мониторинга оборудования. Например, можно проводить осмотр продукции в пластиковой, бумажной таре, прозрачной в ТГц-спектре, но непрозрачной в видимом. В деревообрабатывающей отрасли терагерцовые волны не получили широкого распространения на данном этапе [3]. Однако высокая разрешающая способность терагерцовых сканеров служит залогом актуальности работ по изучению древесины в указанном диапазоне и перспективности их использования в реставрации антикварной мебели, старых зданий, обнаружению внутренней гнили, смоляных кармашков, сучков, внутренних напряжений.

Настоящая работа посвящена изучению проявления анизотропии древесины в диапазоне 0,1–0,3 ТГц. Мерой количественной оценки

служит диэлектрическая проницаемость как электрофизический параметр, характеризующий степень взаимодействия электромагнитного излучения с веществом. Древесина является неоднородной структурой, образованной волокнами, размеры характерных клеток которых существенно отличаются для разных пород. Этот факт накладывает дополнительные требования для выбора диапазона частот для решения вопроса дифференциации образцов по видам древесины или породам. Ориентация волокон относительно вектора напряжённости электрического поля также оказывает влияние на значение диэлектрической проницаемости [4]. Кроме того, диэлектрическая проницаемость древесины зависит от влажности. В силу вышесказанного, диэлектрическая проницаемость является интегральной характеристикой материала с множеством параметров, а её измерение у древесины оказывается нетривиальной задачей.

Измерения проводились методом открытого пространства с использованием спектрометра терагерцового диапазона СТД-21. Измеряемыми величинами являются модуль и фаза коэффициента прохождения излучения через плоскопараллельный образец. По формулам Френеля из них вычислялась комплексная диэлектрическая проницаемость.

Для исследования были выбраны образцы ценных пород древесины: ореха, платана, ясеня. Измерения проводились при комнатной температуре (22 ± 2)°C однократно ввиду нестабильности естественной атмосферной влажности образцов. Влажность образцов фиксировалась после измерений сухо-весовым методом и была равна 4,62–5,88 % по массе. Инструментальная погрешность определения коэффициента прохождения составляет 1–2 %, а фазы – 3–5 %.

Результаты измерений представлены на рис. 1 – 3. Рис. 1 и 2 иллюстрируют различие диэлектрической проницаемости для продольного и поперечного разрезов для ореха и платана. При этом имеет значение ориентация волокон относительно поля. В случае поперечного разреза они располагаются вдоль поля, а в случае продольного – поперёк. Следует отметить отличие диэлектрической проницаемости продольного среза от поперечного: для вертикальной ориентации образца – 2,7 %, а для горизонтальной – 17 %. Интересно, что поворот на 90° образца поперечного среза приводит к уменьшению ϵ' и ϵ'' в среднем на 5,7 %, а для образца из продольного среза – к увеличению ϵ' и ϵ'' 7,8 %.

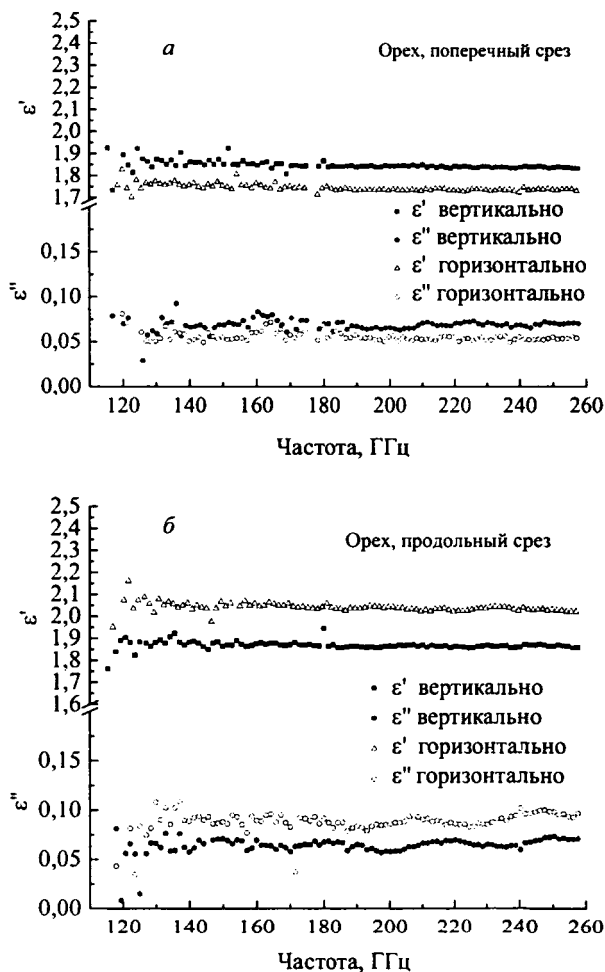


Рис. 1. Диэлектрическая проницаемость ореха: *а* – горизонтальная ориентация волокон; *б* – вертикальная ориентация волокон

Древесина платана проявляет себя в подобном эксперименте особенно (рис. 2). Диэлектрическая проницаемость для продольного и поперечного срезов оказалась практически одинаковой. Это объясняется более однородным расположением волокон.

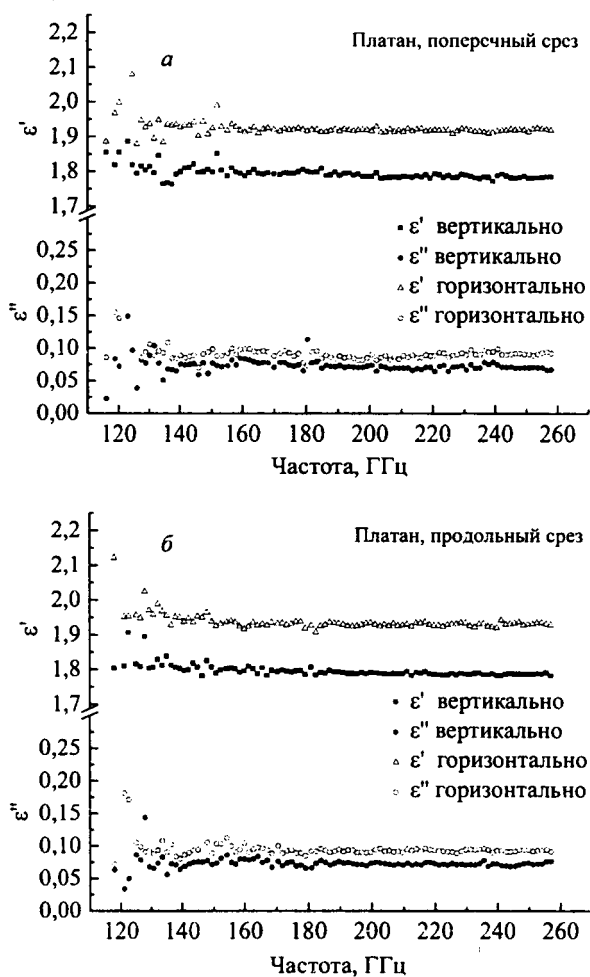


Рис. 2. Диэлектрическая проницаемость платана: а – горизонтальная ориентация волокон; б – вертикальная ориентация волокон

Интересно проявляет себя ясень (рис. 3). Все три возможных среза существенно отличаются по действительной части диэлектрической проницаемости при горизонтальной ориентации волокон, при вертикальной ориентации – по мнимой части диэлектрической проницаемости.

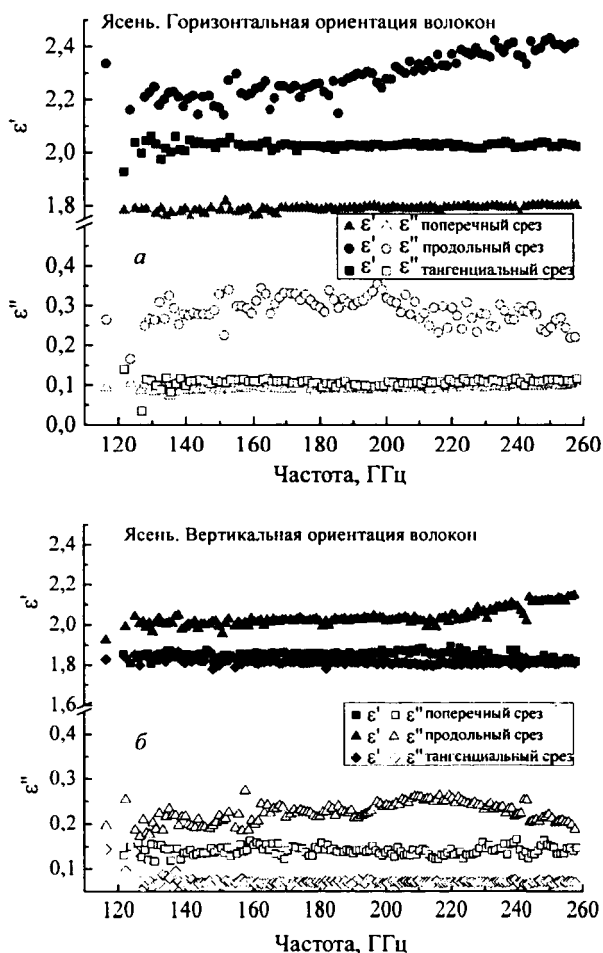


Рис. 3. Диэлектрическая проницаемость ясеня: *a* – горизонтальная ориентация волокон; *б* – вертикальная ориентация волокон

Таким образом, показана возможность различать по измерениям комплексной диэлектрической проницаемости образцы из продольного, поперечного и тангенциального срезов. При этом простым поворотом образца можно получить информацию и сделать вывод о степени однородности структуры древесины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Институт прикладной физики (ИПФ РАН): Генерация терагерцового излучения методами вакуумной электроники. – URL: http://www.iapras.ru/science/%D0%B51_bm/gen.html. (Дата обращения 12.03.2015).
2. European Space Agency News. – URL: <http://www.webcitation.org/67L08f9SI>. (Дата обращения 12.03.2015).
3. *Sonderegger W., Keunecke D., Baradit E., and Niemz P.* Selected physical and mechanical properties of the Chilean wood species roble, lingue, manio and alerce // *Wood Mater. Sci. & Eng.* – 2010. – No. 1. – P. 53–59.
4. *Torgovnikov G.I.* Dielectric Properties of Wood and Wood-based Materials. – Berlin: Springer Verlag, 1993.
5. *Koubaa A., Perré P., Hutcheon R., Lessard J.* Complex Dielectric properties of the sapwoods of aspen, white birch, yellow birch and sugar maple // *Drying Technol.* – 2008. – No. 26. – P. 568–578.

Электромагнитный отклик мягких частей растительности на СВЧ

А.С. Щеглова

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук **Т.Д. Кочеткова**,
Томский государственный университет, г. Томск, Россия

shcheglovaas@mail.ru, tdk_tomsk@mail2000.ru

Цель данной работы – провести измерения электромагнитного отклика при одинаковой и разной влажности образцов мягких частей растительности от частоты. Актуальность этого направления экспериментального исследования основана на непрекращающихся поисках более точных решений в интерпретации данных мониторинга состояния лесного покрова и других видов растительности средствами дистанционного зондирования.

Основная часть

Для измерений в диапазоне частот 100 МГц–18 ГГц был применён волноводный метод измерения в коаксиальной линии. Использовались коаксиальные ячейки одинакового диаметра ($d_{\text{внут}} = 3,06$ мм, $d_{\text{внеш}} = 7$ мм), но разной длины ($l_1 = 17$ мм, $l_2 = 37$ мм, $l_3 = 57$ мм) для образцов разной влажности. Схема установки и ячейки приведена на рис. 1.

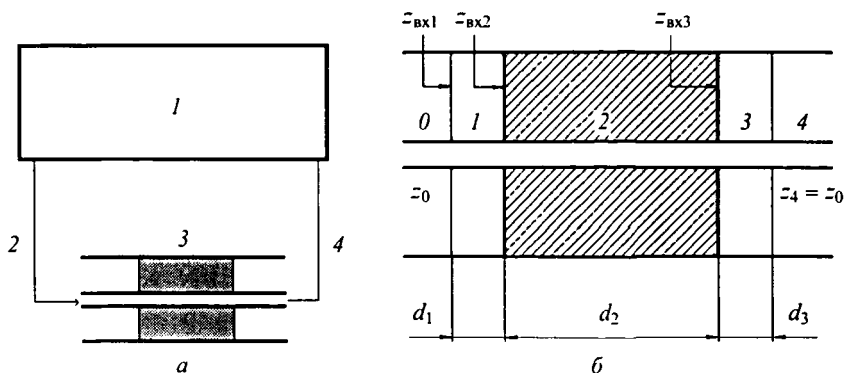


Рис. 1. Схема измерения образцов в коаксиальной ячейке (а): 1 – векторный анализатор цепей E8363B фирмы «Agilent Technologies»; 2 – коаксиальный кабель; 3 – коаксиальная ячейка. Схема ячейки (б): 0, 4 – воздушная среда; 1, 3 – шайбы из фторопласта; 2 – исследуемое вещество

Измерения при температуре $(22 \pm 2)^\circ\text{C}$. Подготовка образцов проводилась путем их измельчения. Влажность в образце измерялась весовым способом, полная масса образца измерялась до и после сушки.

Компоненты матрицы рассеивания коаксиальной измерительной ячейки как четырехполюсника – комплексные коэффициенты отражения (параметры S_{11} , S_{22}) и прохождения (параметры S_{12} , S_{21}) – измерялись с помощью векторного анализатора цепей PNA E8363B. Образец в коаксиальной ячейке размещался между двумя шайбами из фторопласта. Проводились два измерения коэффициентов отражения и прохождения: одно калибровочное при отсутствии образца в тракте, второе – с образцом. Для соблюдения постоянства длины ячеек для присоединения кабеля применяются тарированные ключи.

На рис. 2 представлены результаты пятикратных измерений пустой ячейки № 1 и аналогичной ей ячейки № 4. Причины возникновения погрешностей: неодинаковая длина ячейки и нарушения соосности кабеля при соединении коаксиального перехода и ячейки, колебания температуры и влажности воздуха. Оценка случайной погрешности показывает среднее значение относительной погрешности 2,9 %.

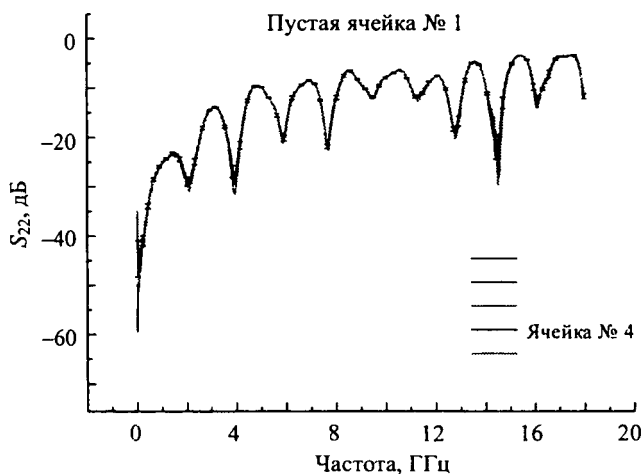


Рис. 2. Оценка погрешности измерений коэффициента отражения для пустой ячейки

Частотная зависимость S_{22} и S_{11} носит квазипериодический характер, обусловленный резонансными явлениями по длине ячейки.

На рис. 3 представлены результаты измерений лесной растительности – мха, лишайника и плауна при близких и различных значениях влажности. Видно, что разные виды растительности имеют различный отклик, поэтому можно высказать предположение о существовании возможности дифференцировать подстилающую лесную растительность, по крайней мере по плотности стеблей и их разветвлённости. Отличия во влажности образцов также изменяют значения параметров матрицы рассеяния.

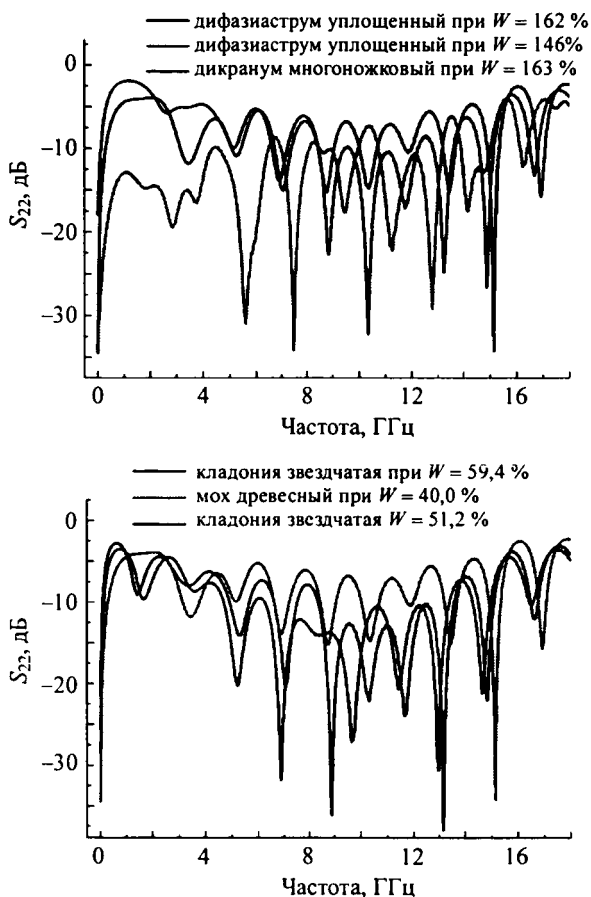


Рис. 3. Электромагнитный отклик некоторых видов лесной растительности при различной влажности

Используемая измерительная ячейка с помещенным в нее исследуемым образцом представляет собой слоистую структуру (рис. 1, б). Для дальнейшего расчёта комплексной диэлектрической проницаемости по результатам измерений применим метод, описанный в [1] и хорошо зарекомендовавший себя в измерениях электрофизических характеристик жидкостей [3] и сыпучих веществ, а также почв [2, 4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бреховских Л.М.* Волны в слоистых средах. – М.: Наука, 1973. – 343 с.
2. *Репин А.В., Бобров П.П., Миронов В.Л., Терентьев С.В.* Зависимость диэлектрической проницаемости водно песчаных смесей от размеров твердых частиц, частоты и температуры // Изв. вузов. Физика. – 2008. – № 9/2. – С. 120–123.
3. *Милкин С.С., Стародубов А.В., Вениг С.Б.* Об автоматизации экспериментальных исследований взаимодействия электромагнитных волн с гетерогенными жидкими средами на сверхвысоких частотах // ЖТФ. – 2014. – Т. 84. – Вып. 1. – С. 121–126.
4. *Поздняков А.И., Гюлалиев Ч.Г.* Электрофизические свойства некоторых почв. – Баку: Адильоглы, 2004. – 240 с.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Научное издание

**ТРУДЫ
XII ВСЕРОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
СТУДЕНЧЕСКИХ НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ИНКУБАТОРОВ**

Томск, 12–13 июня 2015 г.

Редактор *Н.И. Шидловская*

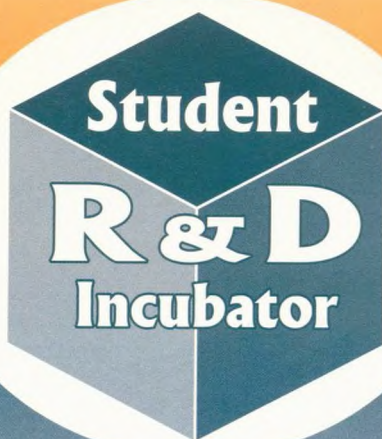
Дизайн, верстка *Д.В. Фортеса*

ООО «Издательство научно-технической литературы»
634050, Томск, пл. Новособорная, 1, тел. (3822) 533-335

Изд. лиц. ИД № 04000 от 12.02.2001. Подписано к печати 25.06.2015.
Формат 60 × 84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура «Гаймс».
Усл. п. л. 10,46. Уч.-изд. л. 11,72. Тираж 120 экз. Заказ № 16.

Отпечатано в типографии «М-Принт», г. Томск,
пер. Добролюбова, 10, ст. 3, тел. (3822) 258-279

TOMCK



2015

ISBN 978-5-89503-541-2



9 785895 035597