

Министерство образования и науки Российской Федерации  
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

---

72  
Д 548



11150754

# ДНИ НАУКИ НГТУ-2018

МАТЕРИАЛЫ  
НАУЧНОЙ СТУДЕНЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(Итоги научной работы студентов за 2017–2018 гг.)

НОВОСИБИРСК  
2018

ББК 72.5я431 + 74.480.46я431  
Д 548

Д 548 Дни науки НГТУ-2018 : Материалы научной студенческой конференции / под ред. к.т.н. Е.А. Хайленко – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2018. – 353 с.

ISBN 978-5-7782-3629-5

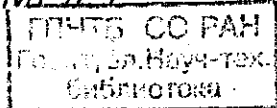
В сборнике публикуются тезисы лучших докладов на студенческой научной конференции «Дни науки НГТУ-2018». Представлены результаты научных исследований студентов университета в следующих направлениях: техническом, экономическом, гуманитарном и юридическом.

Тексты тезисов представлены авторами в виде файлов, сверстаны и при необходимости сокращены. Как правило, сохранена авторская редакция.

Сборник публикуется с 1996 г.

Замечания, предложения и отзывы направлять в Отдел научно-исследовательских работ студентов по адресу: 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, корп.1, ком. 340, тел. 346-29-18, e-mail: onirs@corp.nstu.ru

КМ-П-18-087974



ББК 72.5я431 + 74.480.46я431

ISBN 978-5-7782-3629-5

© Новосибирский государственный  
технический университет, 2018

Передача высокочастотного сигнала сопровождается его затуханием. Произведена оценка затухания для частот 50 кГц и 100 кГц. Для рассматриваемой сети сигнал 50 кГц оказался более предпочтительным, так как он обеспечивает большее напряжение на шинах подстанции (примерно 30 мВ) при наиболее удаленном положении передатчика. Этого достаточно для приема информации.

Разработанный метод может быть использован воздушных сетях среднего напряжения для быстрого определения поврежденного участка. Применение этого метода на практике позволит повысить надежность распределительных сетей среднего напряжения за счет снижения числа потребителей, испытывающих перебои питания при однофазном замыкании на землю. Также предлагаемый метод повысит электробезопасность сетей среднего напряжения и снизит число аварий, сопровождающихся полным отключением электросети.

#### Литература:

1. Стратегия развития электросетевого комплекса Российской Федерации. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 3 апреля 2013 г. N 511-р г. Москва. [Электронный ресурс] – <https://rg.ru/2013/04/08/elektroseti-site-dok.html>

2. Техника высоких напряжений: учебник для студентов электротехнических и электроэнергетических специальностей вузов / под ред. Д. В. Разевига – М: Энергия, 1976. – 488 с. с ил.

### РАЗРАБОТКА ПИРОМЕТРА ДЛЯ СТАНЦИИ РАССЕЯНИЯ СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ «ПЛАЗМА»

Л.А. Вайгель

Научный руководитель: к.ф.-м.н., А.С. Аракчеев  
Институт Ядерной Физики им. Будкера СО РАН,  
Новосибирский Государственный Технический Университет,  
lyubovwaigel@gmail.com

*Пирометр разрабатывался для измерения зависимости температуры поверхности вольфрама от времени воздействия лазерного излучения. Экспериментально наблюдалась динамика деформаций вольфрама по изменению формы и положения дифракционного пика. Измеренная зависимость*

*температуры поверхности от времени позволила оценить удельное смещение дифракционного пика при нагреве.*

The pyrometer was developed to measure the dependence of the tungsten surface temperature on the time of exposure to laser radiation. Dynamics of tungsten deformations on change in shape and position of diffraction peak was observed experimentally. The dependence of the surface temperature on the heating time allowed to estimate the specific displacement of the diffraction peak at heating.

На станции рассеяния синхротронного излучения «Плазма» проводятся эксперименты по измерению динамических зависимостей деформаций и механических напряжений во время и сразу после импульсного нагрева поверхности вольфрама лазерным излучением. Для нормировки измерений деформации необходимо знать температуру поверхности материала. Точный расчет температуры невозможен из-за плохо изученного пространственного распределения лазерного излучения, неопределенных теплофизических свойств и коэффициента поглощения вольфрама. Для измерения зависимости температуры поверхности материала от времени нагрева лазерным излучением разрабатывался пирометр.

Требования, сформулированные к пирометру:

- Временное разрешение: 10 мкс;
- Пространственное разрешение: 1 мм;
- Диапазон измеряемых температур: 500–1000°C

Задача оптической системы пирометра (Рисунок 1): собирать излучение с нагреваемой области на поверхности образца и направлять это излучение на фотодиод пирометра.

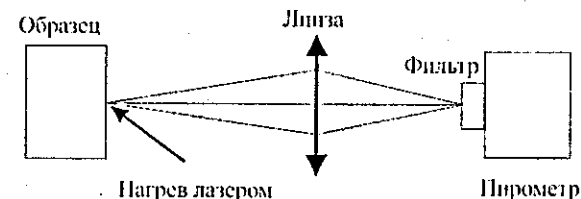


Рисунок 1 - Оптическая система пирометра

Ожидалось, что из-за слабого теплового излучения температуру ниже 800К измерять не получится. Хотелось понять, можно ли повысить интенсивность приходящего на фотодиод излучения с помощью изменений оптической системы.

Зависимость интенсивности излучения от расстояния между образцом и линзой (Рисунок 2) выражается формулой (1).

$$I(a_1) \propto I_2^2 \cdot \left(1 + \frac{a_1}{f}\right)^2 \cdot \left(\frac{20}{a_1}\right)^2 \quad 1)$$

где  $I_2$  – размер изображения,  $a_1$  – расстояние от образца до линзы,  $f$  – фокусное расстояние.

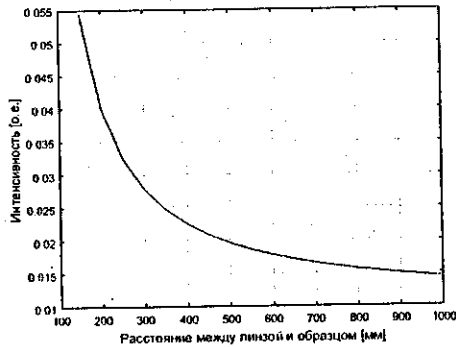


Рисунок 2 - Зависимость интенсивности излучения от расстояния между линзой и образцом

При уменьшении расстояния между образцом и линзой в 2 раза интенсивность увеличивается примерно на 20%. Это означает, что существенно повысить интенсивность излучения, меняя только положение линзы, не удастся.

Во время экспериментов фотодиод пирометра закрывается германиевым фильтром для предотвращения засветки лазерным излучением; исследуемый вольфрамовый образец находится в вакуумной камере для того, чтобы избежать окисления поверхности материала.

В результате эксперимента была получена осциллограмма, отражающая зависимость напряжения на фотодиоде пирометра от времени нагрева лазерным излучением (Рисунок 3).

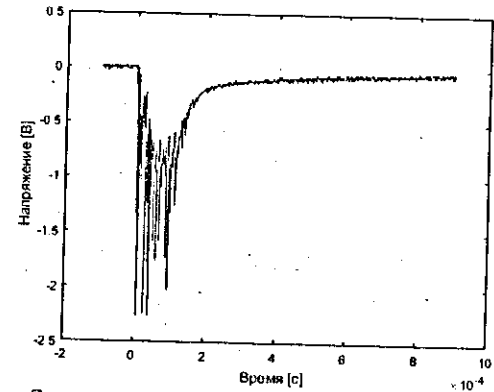


Рисунок 3 – Зависимость напряжения на фотодиоде пирометра от времени нагрева

Для того чтобы перевести полученное напряжение в температуру, использовалась калибровочная кривая (Рисунок 4).

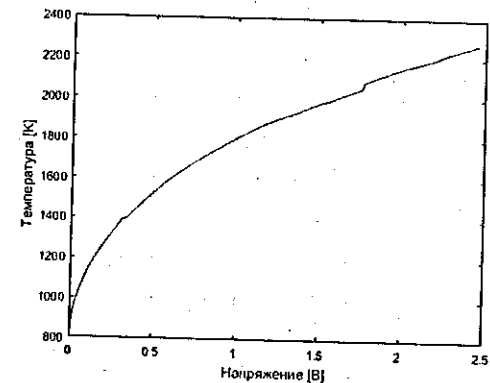


Рисунок 4 – Калибровочная кривая перевода напряжения в температуру

Экспериментально получена зависимость температуры вольфрамового образца от времени нагрева лазерным излучением (Рисунок 5).

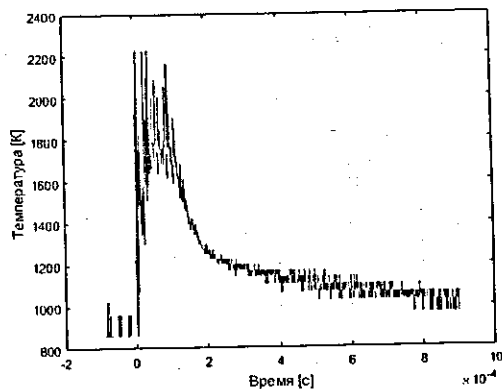


Рисунок 5 - Зависимость температуры от времени нагрева

Температурные пики наблюдаются из-за неравномерности нагрева лазерным излучением по времени.

Пирометр был использован в эксперименте с синхротронным излучением, целью которого являлось наблюдение динамики деформаций материала по изменению формы и положения дифракционного пика.

При импульсном нагреве образца лазерным излучением наблюдалось смещение дифракционного пика. Измеренная зависимость температуры нагрева от времени воздействия лазерного излучения позволила оценить удельное смещение дифракционного пика:  $0,5^{\circ}/1000^{\circ}\text{C}$ .

#### Литература:

1. Ландсберг Г.С. Оптика. Учебное пособие: Для вузов//М.:ФИЗМАТЛИТ, 2003 – 848 с.

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЯВЛЕНИЙ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СИГНАЛОВ ЭМИ СОПУТСТВУЮЩИХ РАЗРУШЕНИЮ ГОРНЫХ ПОРОД

Г.А. Воробьева

Научный руководитель: ст. преп. А.А. Бизяев  
Новосибирский Государственный Технический Университет,  
bizyaev@corp.nstu.ru

*В работе представлены результаты экспериментальных исследований по выявлению напряженных участков массива горных пород, выполненных на рудниках Кузбасса, на основе зарегистрированных сигналов электромагнитного излучения сопутствующих нарушению сплошности горных пород. Сигнал регистрировался регистрационно-диагностическим комплексом РЭМИ-3 в натуральных условиях подземной горной выработки. Выявлены участки с повышенным напряженно-деформированным состоянием, выявлены места нарушения сплошности горной выработки.*

The paper presents the results of experimental research on the detection of stressed sections of the rock mass performed in the Kuzbass mines, based on recorded signals of electromagnetic emission accompanying the destruction of rocks. The signal was registered by the registration and diagnostic complex REMI-3 in the natural conditions of underground mining. Areas with an increased stress-strain state have been identified; places of destruction of the continuity of mining have been discovered.

Один из перспективных методов определения напряженно-деформированного состояния массива горных пород основывается на интерпретации сигналов электромагнитного излучения сопутствующего разрушению горных пород [1]. Данный метод является бесконтактным, не требует предварительных разрушающих действий, что обеспечивает быструю скорость принятия решения о приближении динамического проявления горного давления с разной энергией освобождения механического напряжения.

В ходе исследования был проведен анализ массивов горных пород. В результате чего были выбраны наиболее опасные участки рудника Таштагольский и Шерегешский. Предполагалось, что наибольшее НДС будет в местах, где наблюдается неоднородность структуры массива горных пород. В Таштагольском руднике преобладает твердая порода – залежи руды и железа. Твердая порода способна накапливать механические напряжения, с последующим выбросом в виде электромагнитной энергии. В Шерегешевском руднике преобладает более хрупкая порода. Она не обладает способностью к накоплению механических напряжений.

Данные об электромагнитной обстановке записывались в энергонезависимую память регистратора электромагнитного излучения РЭМИ-3

$$F^{\alpha}(b) = \sum_{i=1}^I \omega_i^2 (\bar{\varepsilon}_i - \varepsilon_i(b))^2 + \sum_{m=1}^M \alpha_m (b_m - \bar{b}_m)^2 + \quad (2)$$

В качестве вычислительного модуля экспериментального датчика воздуха используется контроллер Arduino Nano на плате atmega328. Данный модуль легко программируем и допускает использование плат-расширений. Датчик позволяет измерять выходное напряжение в периоде 30 секунд и по характеристическим кривым преобразовывать его в концентрацию твердых частиц менее 2.5 микрон в воздушной смеси.

На рис. 5 представлен пример экспериментального детектора воздуха.

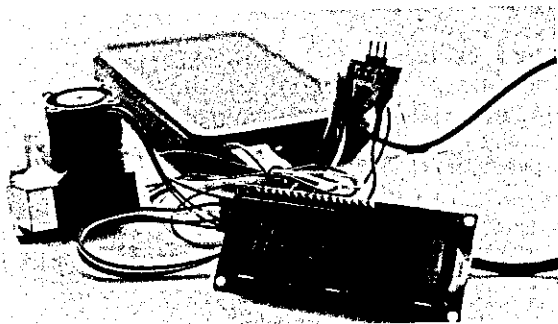


Рисунок 5 – Мобильный экотрический детектор

Предлагаемая технология реализована средствами языков программирования C++, C# и JavaScript. В результате анализа тестовых расчетов поля примесей на модели НГТУ был сделан вывод об адекватности математической модели и ее численной реализации.

#### Литература:

1. Берлянд М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. – Л.: Гидрометиздат, 1985. – 448 с.
2. Соловейчик Ю.Г., Рояк М.Э., Персова М.Г. Метод конечных элементов для решения скалярных и векторных задач // Учебное пособие. – Новосибирск: НГТУ, 2007. – 896 с.
3. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды / Г.И.Марчук. - М.: Наука, 1982. - 319 с.
4. Самарская Е.А., Сузан Д.В., Тишкин В.Ф. Построение математической модели распространения загрязнений в атмосфере // Матем. моделирование. 1997. Т. 9, № 11. с. 59–71.
5. Муратова Г.В., Глушанин М.В. Исследование процессов переноса, диффузии и трансформации радиоактивных примесей, поступающих в атмосферу при авариях на объектах энергетики // Вычислительные технологии Т. 14, 2.

6. Intel® Math Kernel Library (Intel® MKL) Sparse Solvers. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://software.intel.com/enus/mkl-developer-reference-c-intel-mkl-pardiso-parallel-direct-sparsesolver-interface>

## СТЕНД ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК УСКОРЯЮЩИХ СТРУКТУР

К.А. Гришина

Научный руководитель: д.ф.-м.н., проф. Е.Б. Левичев  
Новосибирский государственный технический университет,  
perez2013244@gmail.com

*Данная работа посвящена измерениям электродинамических характеристик ускоряющих структур типа диафрагмированный волновод. В работе описан измерительный стенд, методика измерения и полученные параметры.*

This article is devoted to measurements of the electrodynamic characteristics of the disk loaded accelerating structure. The work describes the measuring stand, the measurement procedure and the parameters obtained.

В Институте ядерной физики им. Будкера (ИЯФ) более тридцати лет назад был организован Сибирский центр синхротронного излучения (СИ). Долгое время он был единственным российским центром, где велась постоянная работа на пучках СИ. В настоящее время в Новосибирске планируется строительство нового источника синхротронного излучения, разработчиком которого является ИЯФ.

Комплекс включает в себя синхротрон, кольцо накопителя-охладителя и инжектор. Инжектор представляет собой линейный ускоритель, который состоит из источника электронов, адиабатического группирователя, шести ускоряющих структур на основе диафрагмированного волновода и источников СВЧ мощности.

Целью работы является создание стенда для измерения электромагнитных свойств ускоряющих структур линейного ускорителя инжектора новосибирского источника СИ и получение основных параметров макета тестовой ускоряющей структуры.

Исследования ускоряющей структуры основаны на методе малых возмущений: возмущающее тело, перемещаясь вдоль продольной оси структуры, приводит к изменению запасенной энергии электромагнитного поля, что сказывается на рабочей частоте резонансных ячеек структуры. Данную зависимость можно представить выражением (1)

$$\frac{f - f_0}{f_0} = \frac{\Delta W_m - \Delta W_e}{W} \quad (1)$$

Или выражением (2) для случая, когда на оси структуры присутствует только электрическая компонента электромагнитного поля

$$\frac{\delta f(z)}{f_0} = \alpha \frac{E^2(z)}{W_e} \quad (2)$$

В выражениях (1) - (2) используются обозначения:  $f_0$  – резонансная частота невозмущенного резонатора,  $f$  – резонансная частота возмущенного резонатора,  $W$  – полная запасенная энергия в невозмущенном резонаторе,  $\Delta W_e$  – изменение за счет возмущающего тела запасенной электрической энергии,  $\Delta W_m$  – изменение за счет возмущающего тела запасенной магнитной энергии,  $\alpha$  – коэффициент, зависящий от формы и материала возмущающего тела,  $W_e$  – полная запасенная энергия в резонансном макете.

Исследования проводились для ускоряющей секции длиной 1.5 м, с периодом 35 мм, которая должна работать частоте 2856 МГц с видом колебания  $\varphi = 2\pi/3$  ( $\varphi = 120^\circ$ ).

Стенд включает в себя: шаговый двигатель для протягивания возмущающего тела, контроллер для управления шаговым двигателем, анализатор S-параметров, кабельная трасса. Управление процессом и получение данных с анализатора S-параметра происходит с помощью системы автоматизации на основе кода, написанного на языке программирования Python.

В результате проведенных измерений определен вид колебания  $\varphi = 120^\circ \pm 15^\circ$ , то есть ошибки изготовления ускоряющей структуры приводят к ошибкам набега фаз  $\pm 15^\circ$ . Определена фактическая рабочая частота  $f = 2856.38$  МГц, которая близка к заявленной при изготовлении. На основе измеренных данных рассчитаны групповая скорость  $v_{гр} = 0.018$  м/с и фазовая скорость  $v_\varphi = 2.994 \cdot 10^8$  м/с. Кроме этого, получен коэффициент связи  $|k_c| = 0.023$ , постоянная времени  $\tau_0 = 1.46$  мкс, коэффициент затухания по полю  $\alpha = 0.126$  1/м и время заполнения ускоряющей структуры  $\tau = 0.276$  мкс.

На рисунке 1 показано измеренное распределение электрического поля для трех ячеек ускоряющей структуры. Видно, что оно отличается от теоретического распределения, изображенного на рисунке 2. Это

связано с имеющимися ошибками фазового сдвига, которые приводят к изменению амплитуды в некоторых ячейках.

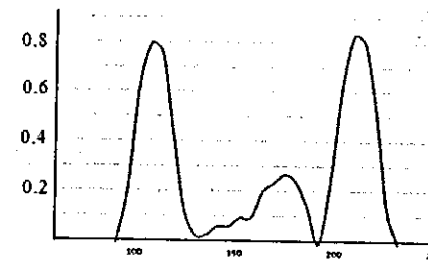


Рисунок 1 – Экспериментальное распределение продольной компоненты электрического поля для трех ячеек

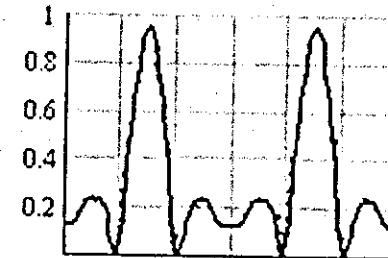


Рисунок 2 – Теоретическое распределение продольной компоненты электрического поля для трех ячеек

В дальнейшем планируется провести измерения с возмущающими телами другой формы, увеличить точность метода, определить шунтовое сопротивление резонаторов и усовершенствовать систему управления процессом.

#### Литература:

1. Каминский В.И., Сенюков В.А., Собенин Н.П. высшие типы воли в элементах ускоряющих структур: УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ// М.: МИФИ, 2002 – 104 С.
2. Левичев А.Е., Павлов В.М. Линейные СВЧ ускорители: электродинамика ускоряющих структур. УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ//Н.: ИЯФ\_НГТУ, 2014 – 158 С.
3. Шехтман И.А. Теория электромагнитного поля. Учебное пособие// Н.: ИЯФ\_НГТУ, 1998 – 151 с.

заказчике — наименование организации, контактные данные юридического лица, платежные реквизиты.

При извлечении целевой информации учитывается лингвистическая информация о тексте, получаемая в результате морфологического, синтаксического и, реже, семантического анализа. Почти всегда используются лингвистические ресурсы — тезаурусы, словари, а также знания о предметной области.

После первичной обработки текста, происходит извлечение фактов. При помощи специальных алгоритмов мы хотим получить из неструктурированного отрывка текст, в котором все нужные нам объекты и факты будут размечены и категорированы.

Условно можно выделить три основных подхода, применяющихся в извлечении фактов:

- По онтологиям;
- Опираясь на правила (Rule-based);
- Опираясь на машинное обучение (ML);

В реалиях поставленной задачи предлагается использовать второй подход для извлечения информации, как базис для дальнейшего улучшения. Суть алгоритма решения задачи состоит в том, чтобы адаптировать уже имеющиеся алгоритмы, предназначенные для обработки сплошного текста, под таблицы с данными. Аналитик делает «предположение» о структуре таблиц путем задания шаблонов. Эти шаблоны будут использоваться в дальнейшем для семантического анализа столбцов таблиц и извлечения полезной информации из них.

В результате реализации предложенной модификации классического алгоритма семантического анализа текста предполагается улучшение быстродействия поиска необходимой информации в массиве документов со слабой структуризацией, за счет того факта, что большая часть полезной информации расположена в таблицах. Помимо этого, планируется улучшить качество поиска полезной информации в связанных таблицах, расположенных в нескольких документах. Реализацию планируется использовать на этапе первичной обработки документов на закупки в сфере медицины и фармацевтики.

#### Литература

1. Гладкий А.В. Формальные грамматики и языки. — Москва: Издательство «Наука», Главная редакция физико-математической литературы, 1973. — 368 стр.

2. Смирнов И.В. Введение в анализ естественных языков. — Москва: Российский Университет дружбы народов, Институт системного анализа РАН, 2014. — 85 стр.

## СИСТЕМА «НАКАЧКА-ЗОНДИРОВАНИЕ» ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВ В ТЕРАГЕРЦОВОМ ДИАПАЗОНЕ.

В.Д. Кукотенко.

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Ю.Ю. Чопорова  
Новосибирский государственный технический университет,  
kukotenkovaleria@gmail.com

*Механизм работы фотопроводящих детекторов - генерация свободных носителей заряда при поглощении фотонов, энергия которых больше энергии ионизации. Релаксация этих носителей до их основного состояния ограничивает скорость реакции, а также чувствительность детектора. Полное понимание механизма релаксации может помочь улучшить работу детекторных устройств. В случае германиевых детекторов энергия ионизации находится в диапазоне ТГц. В этой работе была исследована релаксация возбужденных носителей в n-Ge: As с самого низкого возбужденного состояния  $2p_0$  в установке одноцветной системы накачка-зондирование на новосибирском лазере свободных электронов.*

The detection mechanism of photoconductive detectors is the generation of free charge carriers upon absorption of photons whose energy is larger than the ionization energy. The relaxation of these carriers down to their ground state ultimately limits the speed of response as well as the sensitivity. A thorough understanding of the relaxation mechanism can help to improve the performance of detector devices. In case of extrinsic germanium detectors the ionization energy is in the THz range. In this paper we investigate the relaxation of excited carriers in n-Ge:As pumped into the lowest excited state  $2p_0$  in a single color pump probe setup at the Novosibirsk free electron laser.

Полупроводники известны во всем мире своим широким спектром применения. Быстродействие детекторов на их основе определяется временами релаксации. Детекторы на основе германия с различными примесями распространены, например, в астрономических исследованиях. Добавление примеси (As, Ga, Sb) ведёт к замещению одного из атомов германия в кристаллической решетке на атом примеси, причем ее электроны образуют водородоподобную модель. Исследование такой модели интересно как в рамках фундаментальной науки, так и для применений.



Времена релаксации возбужденных состояний в германии при низких температурах лежат в терагерцовой области спектра. Для их измерения была применена система «накачка-зондирования», с использованием новосибирского лазера на свободных электронах (ЛСЭ) как источника излучения. Новосибирский ЛСЭ генерирует монохроматическое излучение с перестраиваемой длиной волны в диапазоне 5-240 мкм. На рисунке 1 показана оптическая схема системы «накачка-зондирование». Более мощная часть излучения (импульс накачки) после прохождения светоделителя, облучала образец, приводя к возбуждению конкретного энергетического перехода. Образец, германий допированный мышьяком, помещён в проточный гелиевый криостат. Температура образца изменяется с помощью контролера в диапазоне 5-200 К. На время прохождения импульса длительностью 100 пс образец становился прозрачным, т.к. носители примеси переходят в возбужденное состояние, а, то есть в зону проводимости. Далее его прозрачность уменьшалась пропорционально релаксации носителей заряда. Вторая часть излучения, мощность которой на порядок меньше от импульса накачки, «измеряла» прозрачность образца как функцию времени. В качестве детектора был использован оптоакустический детектор ячейка Голяя. Для увеличения соотношения сигнал/шум была применена синхронная схема детектирования с частотой 15 Гц, которая обусловлена максимальной чувствительностью ячейки Голяя.

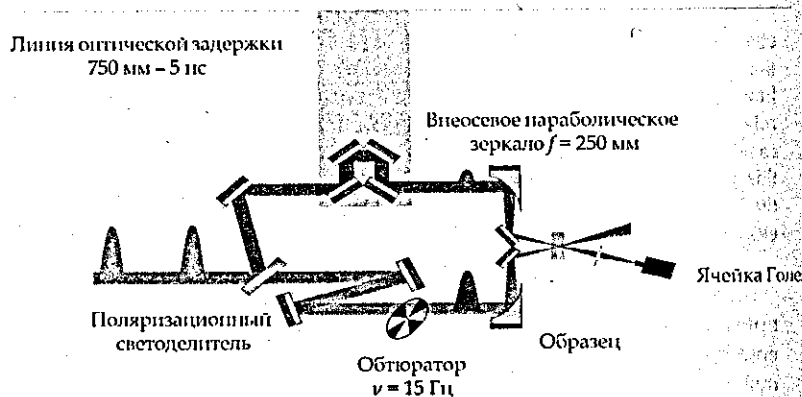


Рис. 1. Оптическая схема системы «накачка-зондирование» на Новосибирском ЛСЭ.

Зависимость мощности сигнала в канале зондирования от времени задержки описывается экспоненциальной функцией. Показатель экспо-

ненты соответствует времени релаксации соответствующего энергетического перехода (рис. 2).

Время релаксации Ge:As  $1s - 2p0$   $t = 1035 \pm 12$  пс ( $T = 4.1$  К, мощность излучения накачки 90 мВт, мощность излучения зондирования 2.5 мВт,  $\lambda = 131.2$  мкм)

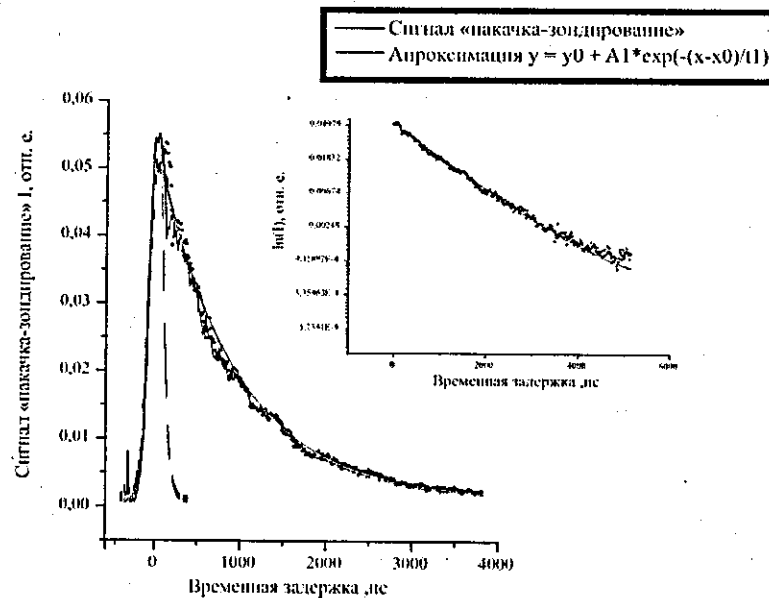


Рис. 2. Зависимость мощности сигнала в канале зондирования от времени задержки (черные точки), экспоненциальная аппроксимация (зеленая сплошная), профиль длительности импульса (зеленая пунктирная линия). Во вставке экспоненциальная часть графика с аппроксимацией в логарифмическом масштабе.

#### Литература

4. Rohit P. Prasankumar Optical techniques for Solid-state materials characterization. CRC Press Taylor & Francis Group, 2012. - 702p.
5. М.Е. Левинштейн Г.С. Симин Барьеры от кристалла до интегральной схемы. «Наука» Главная редакция физико-математической литературы, 1987. - 319 с.
6. С. Зи Физика полупроводниковых приборов. Перевод с англ. под ред. Р.А. Сурица: Мир, 1984. - 455с.

Данное обеспечение протестировано на оборудовании «Таблетпресс GZP16». В результате построен спектральный и деградационный анализ и определено время повторной чистки оборудования.

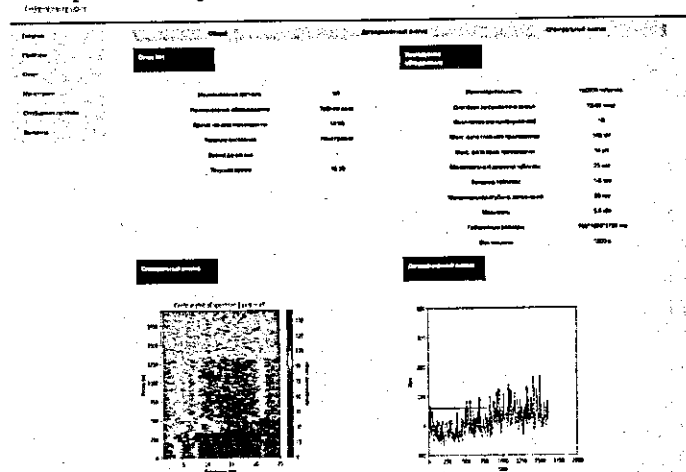


Рисунок 1 – Демонстрационная страница ПО

#### Литература

1. Wang X. Physical degradation models / X. Wang, F. Ruggeri, R. Kenett, F.W. Faltin (Eds.) // Encyclopedia of Statistics in Quality and Reliability, John Wiley & Sons Ltd, Chichester – UK (2007) – P. 1356-1361
2. Чимитова Е.В. Построение деградационной гамма-модели с учетом влияния объясняющих переменных / Е.В. Чимитова, Е.С. Четвертакова // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика – 2014. – № 4 (29). – С. 51-60.
3. Чепайкин И.А. Обзор мирового рынка приборов и услуг неразрушающего контроля // Научно-технический журнал «ТЕОРИЯ. ПРАКТИКА. ИННОВАЦИИ». МАШИНОСТРОЕНИЕ – 2016. URL: <http://www.tpinauka.ru/2016/06/Чепайкин.pdf> (Дата обращения 15.05.2018)

## ГЕНЕРАЦИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ТЕРАГЕРЦОВЫХ БЕССЕЛЕВЫХ ПУЧКОВ С ОРБИТАЛЬНЫМ УГЛОВЫМ МОМЕНТОМ

Н.Д. Осинцева<sup>1,2</sup>

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук, с.н.с. Ю.Ю. Чопорова  
Новосибирский Государственный Технический Университет,  
Институт Ядерной Физики Им. Г.И. Будкера СО РАН,  
natalyaosintseva@gmail.com

*ТГц бесселевы пучки с орбитальным угловым моментом были сформированы с помощью бинарного кремниевого аксикона, используя монохроматическое излучение Новосибирского лазера на свободных электронах. В настоящей работе промоделировано и экспериментально изучено бездифракционное распространение бесселевых пучков в сводном пространстве, а также при прохождении через амплитудно-фазовые препятствия.*

THz Bessel beams with orbital angular momentum were generated by silicon binary axicon using monochromatic radiation of the Novosibirsk free electron laser. In this paper, the nondiffractive propagation of Bessel beams in the free space, as well as during passage through amplitude-phase obstacles has been simulated and experimentally studied.

Генерация пучков с орбитальным угловым моментом (ОУМ) [1], или закрученных пучков, является в современной оптике одним из наиболее интенсивно развивающихся направлений. Особый интерес имеется в формировании таких пучков в терагерцовом (ТГц) диапазоне, который до недавнего времени был мало исследован. Актуальность таких исследований заключается в потенциальной возможности применения этих пучков в различных приложениях, таких как зондирование протяженных объектов, передача информации на большие расстояния, манипулирование объектами и т. п. Задачей данной работы являлось экспериментальное исследование и численное моделирование характеристик закрученных пучков на установке «Новосибирский лазер на свободных электронах» (НЛСЭ). Бесселевы пучки с ОУМ с топологическими зарядами  $\ell = \pm 1$  и  $\ell = \pm 2$  были впервые получены в терагерцовом диапазоне [2]. Бесселев пучок формируется схождением конических волн при прохождении плоской гауссовой волны через аксикон (Рисунок 1 г), который представляет собой дифракционную решётку и рассчитан на длину волны 141 мкм [3]. В зоне перекрытия пучок «существует», не меняя размер колец в поперечном сечении (диаметры первого кольца составляют 1.8 и 3.8 мм, для топологических зарядов  $\ell = \pm 1$  и  $\ell = \pm 2$  соответственно). В нашем случае длина такого «бездифракционного» распространения составляла 160 мм. Увеличение длины распространения было продемонстрировано экспериментально с использованием телескопической системы, состоящей из двух линз с фокусными расстояни-

ями 75 и 250 мм. Зона формирования была увеличена более чем в 10 раз и составила более 1.5 м.

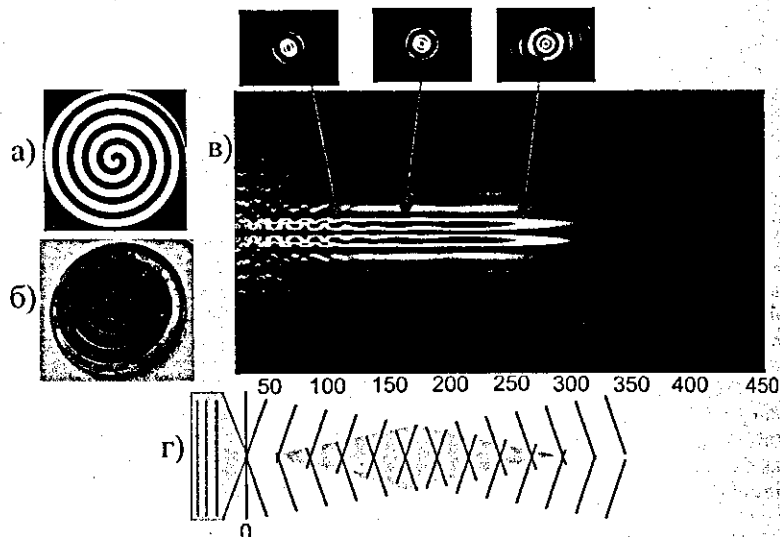


Рисунок 1 - Фазовая функция аксикона (а), внешний вид (б), расчётное распределение интенсивности пучка с ОУМ с топологическим зарядом 1 в поперечном и продольном сечении в диапазоне расстояний 100÷250 мм от аксикона (в), формирование бесселева пучка (г).

Ещё одним уникальным свойством бесселевых пучков является свойство самовосстановления, которое означает что при прохождении закрученного пучка через препятствие, волновой фронт повреждается, но, несмотря на это, на некотором расстоянии начинает восстанавливать своё исходное состояние. Пучок способен восстанавливаться, пока размер препятствия не превышает размер формирующего аксикона (в нашем случае диаметр составлял 30 мм). Экспериментально было показано, что пучок самовосстанавливается в случаях, когда размеры объекта превышают размеры первого кольца пучка (в качестве амплитудных преград использовались алюминиевые фольги размерами от 3х до 10 мм).

Бесселевы пучки с ОУМ были сгенерированы в ТГц диапазоне с помощью фазового кремниевого аксикона. Из полученных результатов можно сделать вывод о возможности использования данного метода формирования пучков в других диапазонах частот.

#### Литература:

1. Allen L. et al. Orbital angular momentum of light and the transformation of Laguerre-Gaussian laser modes //Phys. Rev., Vol. 45, Issue 11, June 1992, Page 8185.
2. Knyazev B. A., Choporova Yu. Yu., Mitkov M. S., Pavelyev V. S. and B. O. Volodkin. Generation of terahertz surface plasmon polaritons using non-diffractive Bessel beams with orbital angular momentum// Phys. Rev. Letters, Vol. 115, Art. 163901, October 2015, Page 4.
3. Agafonov, A.N.; Choporova, Y.; Kaveev, A.K.; Knyazev, B.A.; Kropotov, G.I.; Pavelyev, V.S.; Tukmakov, K.N.; Volodkin, B.O. Control of transverse mode spectrum of Novosibirsk free electron laser radiation// Appl. Opt., Vol. 54, Issue 12, April 2015, Pages 36352-3663.

### РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА ЛОКАЛИЗАЦИИ ОБЪЕКТОВ ГЕОЛОГО-ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СРЕДЫ

Пинизгина Д.Л.

Научный руководитель: к.т.н., доцент А.А. Якименко  
Новосибирский государственный технический университет,  
daria.pi789@gmail.com

*В данной работе представлен подход к локализации подземных объектов с использованием адаптации алгоритма локализации сейсмических событий. Представлены результаты тестирования алгоритма локализации точечных объектов двумерной однородной геолого-физической модели среды на синтетических данных. Показано, что алгоритм точнее определяет положение объекта на глубине, чем по оси группы сейсмоприемников.*

This paper presents an approach to the localization of underground objects using the seismic event localization algorithm. The results of testing the localization algorithm for point objects of a two-dimensional homogeneous geophysical model of the environment are presented on model seismogram. It is shown that algorithm more accurately determines the position of the object at a depth than at the axis of a group of seismic receivers.