

Аннотация проекта, выполненного в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг.

Государственный контракт № 02.740.11.5073 от 20 июля 2009 г.

Тема: «Исследование фотогальванического эффекта в неполярных пьезоэлектриках для регистрации ультракоротких световых импульсов»

Исполнитель: Учреждение Российской академии наук Институт автоматики и процессов управления Дальневосточного отделения РАН

Ключевые слова: фотогальванический эффект, ультракороткие световые импульсы, нецентросимметричные кристаллы, неполярные пьезоэлектрики

1. Цель проекта

1. В рамках НИР проводится поиск и исследование новых нелинейных фотоэлектрических эффектов, которые могли бы использоваться для измерения параметров сверхкоротких импульсов. Среди таких явлений особое внимание уделяется фотогальваническим (ФГ) эффектам, возникающим вследствие асимметрии по импульсу электронных процессов в нецентросимметричных пьезоэлектрических кристаллах. Поскольку времена релаксации импульса нетермализованных электронов намного короче, чем фотовозбужденных носителей в обычных фотопроводящих материалах, то фотогальванический ток может быть потенциально использован для измерения ультракоротких импульсов. Вместе с тем, в настоящее время практически отсутствуют данные об экспериментальных исследованиях фотогальванических токов при освещении нецентросимметричных кристаллов сверхкороткими световыми импульсами. В свою очередь, проведение таких исследований может дать импульс и физическую основу для разработки нового класса сверхбыстродействующих оптоэлектронных приборов.

2. Целью выполнения НИР является экспериментальное обнаружение и исследование фотогальванического эффекта (ФГЭ), индуцированного ультракороткими световыми импульсами в нецентросимметричных кристаллах, разработка физических принципов создания детектора ультракоротких импульсов, а также обеспечение развития устойчивого и эффективного взаимодействия с российскими учеными, работающими за рубежом, закрепление их в российской науке и образовании, использование их опыта, навыков и знаний для развития отечественной системы науки, образования и высоких технологий. Полученные результаты могут быть использованы для создания детекторов ультракоротких импульсов, сверхвысокоскоростных систем связи, а также сверхбыстродействующих систем обработки оптической информации. Кроме того, полученные результаты могут стать основой создания методик исследования новых перспективных нелинейно-оптических материалов, предназначенных для использования в оптоэлектронных системах.

2. Основные результаты проекта

В ходе работ в рамках данной НИР выполнены аналитический обзор имеющихся методик измерения ультракоротких световых импульсов и патентный поиск. Поскольку времена релаксации импульса нетермализованных электронов намного короче, чем фотовозбужденных носителей в обычных фотопроводящих материалах, то фотогальванический ток может быть потенциально использован для измерения ультракоротких импульсов. Вместе с тем, аналитический обзор и патентный поиск свидетельствуют о том, что в настоящее время практически

отсутствуют данные об экспериментальных исследованиях фотогальванических токов при освещении нецентросимметричных кристаллов сверхкороткими световыми импульсами. В свою очередь, проведение таких исследований может дать импульс и физическую основу для разработки нового класса сверхбыстродействующих оптоэлектронных приборов. Это говорит о несомненной новизне выбранного направления и позволит в дальнейшем обеспечить приоритет в данной области на мировом уровне.

Проведен теоретический анализ величины фотогальванического отклика в кристаллах класса силленитов с учетом их оптической активности и оптического поглощения. На основе полученных результатов определена оптимальная геометрия автокоррелятора на основе ФГЭ. Показано, что в продольной геометрии наблюдения ФГЭ оптимальной является толщина кристалла, обратная коэффициенту оптического поглощения материала. В поперечной геометрии максимальный фотогальванический ток должен наблюдаться в случае, когда диаметр Гауссова луча превышает межэлектродное расстояние на 40%, при этом размер луча вдоль электродов не должен превышать 0,9 от высоты образца.

Разработана экспериментальная методика, позволившая впервые обнаружить фотогальванический эффект при облучении кристаллов $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ и $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ импульсным излучением наносекундной длительности. Исследованы поляризационная и спектральная зависимости величины фотогальванического отклика в указанных кристаллах. Установлено, что регистрируемый в кристалле сигнал электрического тока представляют собой суперпозицию поляризационно-независимой и поляризационно-зависимой компонент.

Найдено оптимальное соотношение параметров светового пучка и параметров кристалла. Показано, что оптимальным является такое соотношение, при котором диаметр светового пятна на кристалле совпадает с межэлектродным расстоянием или превышает его в $1 \div 1,7$ раза, при этом ФГ ток составляет не менее 90% от максимального значения.

Экспериментально исследованы формы сигналов электрического тока, регистрируемого в ФГ кристаллах при их освещении нано- и фемтосекундными лазерными импульсами. Установлено, что кристалл $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ позволяет добиться наилучшего отношения сигнал-шум. Проведено исследование поляризационных зависимостей кристалла $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ при его освещении фемтосекундными импульсами с длиной волны 800 нм.

Разработана и исследована схема автокорреляции интенсивности на основе фотогальванического эффекта. Реализован макет автокоррелятора, построенного с использованием фотогальванического эффекта. Работа макета апробирована в задаче регистрации и исследования импульсов фемтосекундного лазера. С помощью детектора, реализованного на основе ФГЭ и кристалла $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$, впервые была измерена длительность фемтосекундного импульса на длине волны 400 нм. Экспериментальное значение длительности импульса составило 95 фс.

3. Назначение и область применения результатов проекта

Полученные результаты могут использоваться в лазерной физике при исследованиях ультракоротких световых импульсов. Кроме того, полученные результаты могут быть использованы для создания детекторов ультракоротких импульсов, сверхвысокоскоростных систем связи, а также сверхбыстродействующих систем обработки оптической информации, что открывает потенциальную возможность увеличения скорости приема-передачи оптической ин-

формации. Помимо этого, полученные результаты могут стать основой создания методик исследования новых перспективных нелинейно-оптических материалов, предназначенных для использования в оптоэлектронных системах.

Для практического внедрения полученных результатов необходимо проводить дальнейшие НИОКР, конечной целью которых должно явиться создание пилотного макета автокоррелятора ультракоротких импульсов на основе фотогальванического эффекта.

Полученные результаты в рамках данного проекта развивают перспективные направления лазерной физики, в частности взаимодействие лазерного излучения с веществом. Дальнейшие исследования фотогальванических токов при освещении нецентросимметричных кристаллов сверхкороткими световыми импульсами может дать импульс и физическую основу для разработки нового класса сверхбыстродействующих оптоэлектронных приборов. Это в свою очередь позволит создать новые рабочие места, изменить структуру высокотехнологичного производства, дополнив ее системой контроля лазерного излучения.

Коммерциализация настоящим проектом не предусмотрена. На основе будущих результатов возможна организация производства инновационной продукции для высокотехнологичных предприятий, а также возможно заключение договоров уступки прав на результаты интеллектуальной деятельности (РИД).

На основе полученных результатов при условии дальнейших НИОКР могут быть созданы детекторы ультракоротких световых импульсов (УКИ) на основе ФГЭ. Имеющиеся в продаже на данный момент детекторы УКИ производятся в США и странах ЕС, средняя стоимость одного экземпляра составляет 20000 долларов США. Рынки сбыта данной продукции – это университеты и научные учреждения, в которых проводятся исследования УКИ, а также высокотехнологичная промышленность, где применяется лазерная обработка материалов. Кроме того, детекторы УКИ могут быть востребованы в отраслях связи для построения сверхвысокоскоростных систем.

4. Достижения молодых исследователей – участников Проекта

В проекте принимал участие молодой исследователь Дышлюк Антон Владимирович, к.ф.-м. н., н.с. Института автоматики и процессов управления ДВО РАН. При его непосредственном участии удалось провести исследования фотогальванических токов при освещении нецентросимметричных кристаллов световыми импульсами фемтосекундной длительности, при этом получить качественно новые результаты в мировой практике, что позволит использовать полученные результаты для создания инновационной продукции и продолжить исследования в направлении взаимодействия сверхкоротких лазерных импульсов с нецентросимметричными кристаллами.

В проекте принимал участие молодой исследователь Ланцов Алексей Дмитриевич, к.ф.-м. н., м.н.с. Института автоматики и процессов управления ДВО РАН. При его непосредственном участии удалось разработать учебно-методические материалы по курсу «Взаимодействие лазерного излучения с веществом» и программу внедрения результатов проекта в образовательный процесс, при этом качество материалов соответствует мировым стандартам, что позволит выпускать высококвалифицированных специалистов и привлекать их к научной деятельности в приоритетных областях науки и техники.

В проекте принимал участие молодой исследователь Безрук Михаил Николаевич, аспирант Института автоматике и процессов управления ДВО РАН. При его непосредственном участии удалось разработать схему автокорреляции интенсивности на основе фотогальванического эффекта, при этом полученные результаты соответствуют мировому уровню в области лазерной физики, что позволит использовать эти результаты для создания детекторов ультракоротких импульсов и продолжить экспериментальные исследования импульсов фемтосекундного лазера.

В проекте принимал участие молодой исследователь Буруруев Алексей Михайлович, аспирант Института автоматике и процессов управления ДВО РАН. При его непосредственном участии удалось провести исследования фотогальванических токов при освещении нецентросимметричных кристаллов световыми импульсами наносекундной и фемтосекундной длительности, при этом впервые удалось обнаружить фотогальванический эффект при облучении кристаллов $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ и $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ импульсным излучением наносекундной длительности. Полученные результаты создают физическую основу для создания разработки нового класса сверхбыстродействующих оптоэлектронных приборов.

В проекте принимал участие молодой исследователь Сергеев Александр Александрович, инженер-программист Института автоматике и процессов управления ДВО РАН. При его непосредственном участии получены следующие результаты: найдено оптимальное соотношение параметров светового пучка и параметров кристалла, что позволит использовать полученные результаты при создании образца автокоррелятора интенсивности на основе ФГЭ и продолжить исследования в направлении взаимодействия сверхкоротких лазерных импульсов с нецентросимметричными кристаллами.

В проекте принимали участие следующие студенты: Андреев Михаил Александрович и Стеков Евгений Владимирович, студенты Дальневосточного государственного технического университета (ДВПИ имени В.В.Куйбышева), Ефимов Тимофей Александрович, студент Дальневосточного государственного университета, Лагуткин Роман Владимирович, студент Владивостокского государственного университета экономики и сервиса. При их непосредственном активном участии получены основные результаты проекта. Кроме того, студенты принимали участие в научных семинарах, слушали лекции, выполняли практические задания, в том числе участвовали в экспериментах с нецентросимметричными кристаллами. Участие студентов позволяет готовить квалифицированных специалистов и внедрять полученные результаты в образовательный процесс.

5. Опыт закрепления молодых исследователей – участников Проекта в области науки, образования и высоких технологий

В рамках проекта были зачислены в аспирантуру два молодых исследователя – участника Проекта: Безрук Михаил Николаевич и Буруруев Алексей Михайлович. Кроме того, 4 студента – участника Проекта были трудоустроены лаборантами в лабораторию прецизионных методов оптических измерений Института автоматике и процессов управления ДВО РАН на период исполнения Проекта. В ходе закрепления молодых исследователей возникли следующие проблемы: во-первых, невысокая стипендия аспирантов снижает привлекательность

поступление в аспирантуру выпускников вузов; во-вторых, нехватка мест в общежитии делает затруднительным трудоустройство иногородних молодых сотрудников.

6. Перспективы развития исследований

1) Участие коллектива исполнителей настоящего проекта, выполняемого в рамках ФЦП, способствовало формированию и укреплению устойчивых исследовательских партнерств с научными группами Университета Восточной Финляндии (Финляндия), Физико-технического института им. А.Ф.Иоффе (Россия) и Института промышленной науки Токийского университета (Япония).

2) Краткая информация о проектах научного коллектива по аналогичной тематике.

Коллектив исполнителей проекта участвует в следующих проектах, близких по тематике: «Адаптивные волоконно-оптические интерферометры для мониторинга сверхмалых деформаций в условиях неконтролируемых изменений окружающей среды» (РФФИ); «Векторное многоволновое взаимодействие на ортогональных динамических голограммах в нелинейных оптических кристаллах» (АВЦП, Минобрнауки)

3) Считаем, что наибольшей отдаче для развития в России технологий в области исследования, а также для выхода российской продукции на региональные и глобальные рынки может способствовать сотрудничество с

- Факультетом физики Университета Регенсбурга, Германия (Центр террагерцовых исследований);

- Институтом им. В. Шотки Технического университета Мюнхена, Германия (Группа экспериментального исследования физики полупроводников).

7. Вклад приглашенного руководителя в проект

Научный коллектив, работая в рамках проекта, тесно взаимодействовал с приглашенным руководителем как в период его очного, так и заочного участия в проекте. Благодаря работе приглашенного руководителя начато новое направление исследований в Институте автоматизации и процессов управления ДВО РАН, в рамках которого ведутся работы, в том числе, над дипломными проектами и кандидатской диссертацией. В ходе семинаров и ежедневных контактов происходило общение молодых исследователей с приглашенным руководителем, при этом молодые студенты и аспиранты овладевали знаниями и необходимыми навыками для самостоятельной работы. Руководитель осуществлял общее руководство проектом, обеспечивал теоретическую базу исследований, принимал непосредственное участие в проведении экспериментов. В ходе выполнения работ по проекту руководителем было проведено два семинара, на которых в числе прочего обсуждались достигнутые результаты, планировались предстоящие исследования. Приглашенным руководителем подготовлено два комплекта материалов лекций, которые способствовали модернизации образовательных программ. На период выполнения проекта научный коллектив получил доступ к дополнительным ранее недоступным информационным ресурсам, были освоены новые методики работы и проведения исследований с нелинейно-оптическими кристаллами (поляризационная методика обнаружения фотогольванического эффекта, подготовка образцов кристаллов, методики расчетов нелинейных параметров ФГ кристаллов и прочее).

Информация о проведенных семинарах представлена в таблице:

№	Название семинара	Дата и место прове-	Количество участников семинара					Краткое описание связи со-
			сту-	Аспи-	КН	ДН	Дру-	

		дения	ден- тов	ран- тов и соис- катель			гое (ука- зать)	держания семи- нара с сутью проекта
1	Фотогальванический эффект в нецентросимметричных кристаллах кубической симметрии	Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН (г. Владивосток), ауд.129. 16 ноября 2009 г.	11	8	7	5	4 (инженеры)	На семинаре рассмотрены и проанализированы условия наблюдения фотогальванического эффекта (ФГЭ), рассмотрены перспективы применения ФГЭ для детектирования ультракоротких световых импульсов фемтосекундной длительности, изложены основные пути практической реализации автокоррелятора на основе ФГЭ.
2	Оптическая ориентация дипольных центров кубических кристаллов	Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН (г. Владивосток), ауд.129. 13 июля 2010 г.	12	10	7	6	2 (инженеры)	Семинар посвящен физическим основам эффекта оптической ориентации дипольных центров (ООДЦ), возникающего в неполярных пьезоэлектриках при их освещении однородным световым пучком.

8. Охраноспособные результаты интеллектуальной деятельности (РИД), полученные в рамках исследования, разработки

Охранные документы не получены. Заявки не подавались.

9. Список публикаций в рамках проекта

№	Ф.И.О.	Наимено-	Наименование публи-	Реквизиты	Статус	Краткое опи-
---	--------	----------	---------------------	-----------	--------	--------------

	участника проекта	вание публикации на русском языке	кации на языке оригинала (для иностранных публикаций)	издания, опубликованной работу	журнала (список ВАК, другой)	сание связи содержания публикации с результатами проекта
1	Кульчин Ю.Н., Камшин А.А., Ромашко Р.В.	Быстрый фотогальванический отклик в кристалле $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$	Fast photogalvanic response of a $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ crystal	Optics Express. – 2010. – Vol.18. – N.26. – P.27142-27154.	SCI	В публикации представлены результаты, полученные на 3 этапе проекта
2	Кульчин Ю.Н., Камшин А.А., Ромашко Р.В., Бурдуев А.М.	Наблюдение быстрого фотогальванического тока в кристалле $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$	Observation of Fast Photogalvanic Current in a $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ Crystal	Pacific Science Review. – 2010. – V.12. – No.1. – P.59-60.		В публикации представлены результаты, полученные на 2-3 этапах проекта
3	Кульчин Ю.Н., Камшин А.А., Ромашко Р.В., Бурдуев А.М.	Спектральная зависимость фотогальванического тока в кристаллах силленитов	Spectral dependency of photogalvanic current in a sillenite crystals	Optics Express, 2010 (to be published)		В публикации представлены результаты, полученные на 2 этапе проекта

10. Диссертации, представленные к защите в рамках проекта

№	Ф.И.О. участника проекта	Наименование диссертации	Вид диссертации (кандидатская; докторская)	Наименование и шифр научной специальности	Номер диссертационного совета	Дата защиты диссертации (фактическая или плановая дата)	Краткое описание связи содержания диссертации с результатами проекта
1	Ромашко Роман Владимирович	Физические основы построения сверхвысокочувствительных адаптивных измерительных систем на основе динами-	докторская	01.04.21 – лазерная физика	Д 005.007.02	24.05.2010	Представленные в работе исследования закладывают фундамент для создания сверхвысокочувствительных адаптивных измерительных систем, предназначенных для детектирования

		ческих голограмм					сверхмалых физических величин в условиях неконтролируемого влияния факторов окружающей среды.
2	Буруруев Алексей Михайлович	Регистрация ультракоротких световых импульсов с помощью фотогальванического эффекта в неполярных пьезоэлектриках	кандидатская	01.04.21 – лазерная физика	Д 005.007.0 2	середина 2011	Результаты проекта легли в основу данной кандидатской работы

11. Выступления на конференциях

№	Ф.И.О. участника проекта	Наименование доклада на русском языке	Наименование доклада на языке оригинала (для международных конференций)	Название конференции, дата и место проведения	Краткое описание связи содержания доклада с результатами проекта
1	Кульчин Ю.Н., Камшилин А.А., Ромашко Р.В., Буруруев А.М.	Наблюдение быстрого фотогальванического тока в кристалле $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$	Observation of Fast Photogalvanic Current in a $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ Crystal	10th Asia-Pacific Conference on fundamental problems of opto and microelectronics, Ёнгин, Южная Корея, 11-15 июля 2010 г.	В докладе представлены результаты, полученные на 2-3 этапах проекта
2	Буруруев А.М.	Быстрый фотогальванический отклик в кристалле $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$	Fast photogalvanic response of a $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ crystal	Десятая Ежегодная Азиатско-Тихоокеанская школа молодых ученых "Фундаментальные проблемы опто-микроэлектроники", Владивосток, Россия, 27 июля 2010 г.	В докладе представлены результаты, полученные на 3 этапе проекта

12. Внедрение результатов проекта в образовательный процесс

№	Наименование образовательной программы	Тип программы ¹	Уровень ²	Статус программы ³	Программа разработана в соответствии со стандартом ⁴	Уровень целевой группы ⁵	Потенциальные заказчики ⁶ (география слушателей)	Планируемое количество слушателей (в год)
1	210100 «Электроника и наноэлектроника»	Основная образовательная программа	бакалавриат	доработка имеющейся аналогичной программы	стандарты третьего поколения	студенты 1,2,3,4 курсов	СНГ	100

Руководитель работ по проекту

_____ А. А. Камшилин

_____ 2010 г.

М.П.

¹ Варианты ответов: основная образовательная программа; программа дополнительного образования.

² Варианты ответов: программа повышения квалификации; программа переподготовки; специалитет; бакалавриат; магистратура; аспирантура; другое (наименование).

³ Варианты ответов: доработка имеющейся аналогичной программы; новая программа для вуза; уникальная программа для российской высшей школы.

⁴ Варианты ответов: стандарты третьего поколения; собственные стандарты вуза

⁵ Варианты ответов: студенты 1 (2,3,4,5,6) курса; аспиранты 1 (2,3) года подготовки; сотрудники профильных предприятий; другое (наименование).

⁶ Здесь указывается география потенциального спроса на программу (кем может быть востребована программа). Варианты ответов: РФ; СНГ; Европа; США; другое (наименование).