

Министерство образования и науки
Российской Федерации
Псковский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе

_____ А.В. Истомин

«___» _____ 2015 г.

ОТЧЕТ О РАБОТЕ

по реализации проекта

мероприятие 2.1.1. «Решение комплексных проблем по изучению физических свойств нанокomпозиционных материалов на основе регулярных пористых матриц на базе НОЦ наноматериалов и нанотехнологий», выполнявшегося в рамках Программы стратегического развития Псковского государственного университета в 2015 году

Отчетный период 01.01.2015 – 30.06.2015

Руководитель проекта:

Соловьев В.Г., д. ф. - м. н., профессор

_____ / *Соловьев В.Г./*

«10» июля 2015 г.

Псков

2015

1. Список исполнителей проекта:

№ п/п	Ф.И.О.	Месяц, год рождения	Должность	Ученая степень	Ученое звание
1.	Соловьев В.Г.	апрель, 1955	зав. кафедрой	д. ф. - м. н.	профессор
2.	Чарная Е.В.	октябрь, 1947	профессор	д. ф. - м. н.	профессор
3.	Гращенко С.И.	июнь, 1961	доцент	к. ф. - м. н.	доцент
4.	Панькова С.В.	октябрь, 1964	доцент	к. ф. - м. н.	доцент
5.	Алексеева Н.О.	октябрь, 1980	лаборант		

2. Цели, задачи и содержание НИР:

Цель проекта – систематическое экспериментальное и теоретическое исследование физических свойств нанокompозитов на основе пористых матриц (опалов, цеолитов, асбестов, пористого оксида алюминия). Актуальность, научная и практическая значимость работы обусловлены тем, что установление физических закономерностей, определяющих оптические и электрические свойства регулярных матричных композитов с наночастицами различных веществ, в перспективе позволит создавать нанокompозиты с новыми физическими свойствами, которые могут найти применение в нанoeлектронике и фотонике.

Задачи:

1. Исследование структуры, электрических и оптических свойств нанопористых диэлектрических матрицы цеолитов, опалов, оксида алюминия и новых нанокompозиционных материалов на их основе.
2. Исследование оптических свойств нанокompозиционных материалов с использованием нового научного оборудования – автоматизированной экспериментальной установки для исследования оптических спектров отражения и пропускания фотонных и плазмонно-фотонных кристаллов, а также инфракрасного Фурье-спектрометра ФСМ 1201.
3. Опубликование научных результатов проведенных исследований, выступление на научных семинарах и конференциях.

3. Результаты НИР (описание выполненных работ):

Новый нанокompозиционный материал Ag / опал впервые получен путем введения серебра в матрицу опала методом электротермодиффузии в твердой фазе с серебряного анода в течение 2,5 часов при напряженности электрического поля 1,7 кВ/см и постоянной температуре 664 К. Исследованы оптические и электрические свойства полученного нанокompозита на основе опала. Предложено объяснение положения оптических резонансов брэгговской дифракцией, а асимметричной формы резонансной кривой – резонансом Фано.

Получены также образцы диэлектрической матрицы пористого оксида алюминия ($\text{por Al}_2\text{O}_3$) двухстадийным анодированием в растворе щавелевой кислоты (0.3 М) при напряжении 40 В. Диспергирование йода в этой матрице посредством ее прогрева в течение 7 часов при температуре 448 К и парциальном давлении паров йода ~ 1.4 атм позволило получить нанокompозит $\text{I} / \text{por Al}_2\text{O}_3$. Оптические свойства образцов исследованы с помощью спектроэллипсометра «Эллипс–1891». Измерены проводимость и емкость образцов на переменном токе (1 кГц) с помощью RLC-измерителя Е7-13. Electroдами служили алюминиевая подложка, на которой была синтезирована плёнка $\text{por Al}_2\text{O}_3$, и золотая фольга.

Проведены теоретические исследования спектра поверхностных возбуждений сферических металлических наночастиц с тонким поверхностным слоем из атомов с инверсией заселенности в качестве активной среды.

Рассмотрено использование разрывного метода Галеркина для расчета распределения температуры в системе твердое тело – газ. Анализ проведен с учетом скачка температур на границе раздела газ – твердое тело и теплопроводностей веществ газа и твердого тела. Получен соответствующий вариант слабой формы уравнения Пуассона.

Укрепились международные научные связи с коллегами из высших учебных заведений Белоруссии, Латвии и Дании.

4. Научная, научно-техническая и практическая ценность результатов, технико-экономические и другие характеристики:

Резонанс Фано носит универсальный характер и появляется в различных физических системах. Неудивительно, что его наблюдение в фотонных и плазмонных наноструктурах вызывает в последние десятилетия большой интерес многих исследователей. Универсальный подход, развитый Фано, оказался весьма плодотворным. Он был успешно использован для объяснения экспериментальных данных не только в фотонике и плазмонике, но и в других областях физики. Как известно, резонанс Фано возникает в результате интерференции двух колебательных процессов, природа которых может быть различной. Объяснение полученных нами экспериментальных результатов основано на предположении о том, что в данном случае в этой роли выступает брэгговский дифракционный резонанс в фотонном кристалле на фоне широкополосного рассеянного электромагнитного излучения. Это рассеяние может, в частности, происходить на неоднородностях в виде тонких металлических нитей (дендритов), которые нередко проникают в твердый диэлектрик с серебряного анода при длительном высокотемпературном электролизе. Наличие трехмерной системы взаимосвязанных пор в опаловой матрице способствует образованию дендритной фрактальной структуры и приводит к заметному повышению эффективности рассеяния света образцом нанокompозита Ag / опал, полученного методом электротермомодиффузии.

Пористый оксид алюминия (р-р Al_2O_3) представляет большой интерес в качестве матрицы для создания новых нанокompозиционных материалов посредством внедрения в его поры различных веществ. Результаты проведенных нами экспериментальных исследований позволяют сделать вывод о том, что фазовый переход от цепочечной структуры к отдельным молекулам I_2 происходит при температуре $70^\circ C$ в системе наночастиц йода, полученных в канальных матрицах различных типов (как в цеолитоподобных алюмофосфатах, так и в пористом оксиде алюминия).

Наши теоретические расчеты указывают на возможность генерации излучения наночастицами с тонким поверхностным слоем из атомов с инверсией заселенности. Наблюдается сужение полосы излучения в спектре частицы с поверхностным слоем на много порядков относительно ширины полосы излучения атомов в поверхностном слое и характерной ширины полосы поглощения частицей без поверхностного слоя. Поэтому наночастицы с тонким атомным поверхностным слоем можно использовать в качестве активной лазерной среды. Разработан также подход, позволяющий с помощью разрывного метода Галеркина находить при малых числах Кнудсена распределения температур в области, содержащей газ и твердые тела, с учетом скачков температуры на границах раздела газ – твердое тело.

5. Достижение целевых показателей:

Целевые показатели ПСР	Единица измерения	План на 2015 г.	Факт на 30.06.2015 г.
Количество защит диссертаций штатными НПП*	ед.	1	0
в том числе:			
- кандидата наук	ед.	1	0
- доктора наук	ед.	0	0
Количество публикаций, подготовленных штатными НПП	ед.	12	6
в том числе:			
- монографии, учебники и учебные пособия	ед.	0	0
- статьи в российских научных журналах из списка ВАК	ед.	1	1
- статьи в научной периодике, индексируемой РИНЦ (Российский индекс научного цитирования)	ед.	3	2
- тезисы докладов конференций	ед.	2	2
- публикации в мировых научных журналах, индексируемых в базе данных Web of Science, Scopus	ед.	3	3
- другие статьи	ед.	2	2
Количество заявок на получение охранных документов (па-	ед.	0	0

тентов, свидетельств о госрегистрации) на результаты интеллектуальной деятельности (РИД), полученных в рамках реализации проекта			
Количество зарегистрированных программ для ЭВМ, баз данных, топологий интегральных микросхем	ед.		
Количество полученных патентов	ед.	0	0
Количество поддерживаемых патентов	ед.	0	0
Количество лицензионных договоров на право использования объектов интеллектуальной собственности другими организациями	ед.	0	0

6. Использование результатов (продукции) на производстве или в социально-экономической сфере:

Проект предполагает проведение фундаментальных научных исследований и не предусматривает непосредственного использования результатов (продукции) на производстве или в социально-экономической сфере. Тем не менее, участниками проекта установлены научные связи с ООО «ПолиКомпозит» – современным предприятием г. Пскова, специализирующимся на выпуске изделий из новых композитных материалов с улучшенными свойствами. На базе исследовательской лаборатории этого предприятия, оснащенной современным оборудованием, проведен ряд научных экспериментов.

7. Использование результатов работы в учебном процессе:

Полученные результаты использованы в практике экспериментального преподавания ряда дисциплин по выбору. Участниками проекта представлены доклады на Международной конференции «Физика в системе современного образования (ФССО-15)» (г. Санкт-Петербург) и Всероссийской научно-практической конференции «Учебный физический эксперимент: Актуальные проблемы. Современные решения» (г. Глазов, Удмуртия).

8. Список публикаций по теме проекта:

1. Vanin A.I., Solovyev V.G. Laser effect on spherical nanoparticles with thin surface layer // Environment. Technology. Resources: Proceedings of the 10th International Scientific and Practical Conference. Rezekne, Latvia, 2015. Vol. 1. P. 228–229.
2. Veisman V. L., Romanov S. G., Solovyev V. G., Yanikov M. V. Optical properties of nanostructured silver, embedded by electro-thermo-diffusion in opal photonic crystal // Environment. Technology. Resources: Proceedings of the 10th International Scientific and Practical Conference. Rezekne, Latvia, 2015. Vol. 1. P. 230–231.
3. Яников М. В., Вейсман В. Л., Романов С. Г., Соловьев В. Г. Экспериментальное изучение резонанса Фано в университетском курсе физики // Проблемы учебного физического эксперимента: Сборник научных трудов. Вып. 25. М.: ИСМО РАО, 2015. С. 96–98.
4. Гращенков С.И. Использование разрывного метода Галеркина для расчета распределения температуры в системе твердое тело – газ при малых числах Кнудсена // Журнал технической физики. 2015. Т. 85. Вып. 8. С. 1–5.
5. Alexeeva N., Сема G., Podorozhkin D., Solovyev V., Trifonov S., Veisman V. Physical properties of self- assembled porous alumina structures filled with iodine // Journal of Self-Assembly and Molecular Electronics. 2015. Vol. 2. P. 27–40.
6. Остроумова Ю.С., Соловьев В.Г., Ханин С.Д., Яников М.В. Формирование опыта применения фундаментальных знаний для освоения содержания перспективных направлений научно-технического развития // Тезисы докладов Международной конференции «Физика в системе современного образования (ФССО-15)». СПб: РГПУ им. А. И. Герцена, 2015. Т. 1. С. 153-156.