



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ АКАДЕМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

194021, С.-Петербург, ул. Хлопина, 8, корп. 3, лит. А

Телефон (факс): (812) 448-69-80

www.spbau.ru

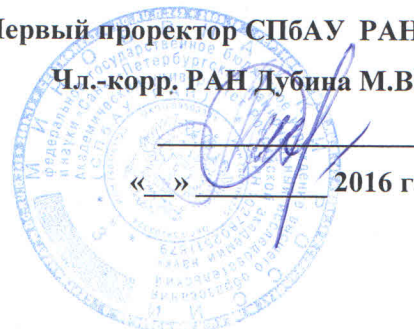
ОКПО 59503334, ОГРН 1027802511879

ИНН/КПП 7804161723/780401001

УТВЕРЖДАЮ:

Первый проректор СПбАУ РАН

Чл.-корр. РАН Дубина М.В.



« » 2016 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного бюджетного учреждения высшего образования и науки
«Санкт-Петербургский национальный исследовательский Академический университет
Российской академии наук»

Диссертация «Эволюция новой фазы в многокомпонентных и гетерогенных материалах» выполнена в федеральном государственном учреждении высшего образования и науки «Санкт-Петербургский национальный исследовательский Академический университет Российской академии наук» (СПбАУ РАН).

В период подготовки диссертации, с 1 сентября 2013 г. и по настоящее время Редьков Алексей Викторович обучается в очной аспирантуре СПбАУ РАН по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния. С июня 2013 г. работает в должности м.н.с. в лаборатории физики и технологии наногетероструктур СПбГПУ, в настоящее время также работает в должности м.н.с. лаборатории структурных и фазовых превращений ИПМАШ РАН. В 2013 г. он окончил магистратуру СПбГПУ по направлению «Физика». Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано в 2016 г. СПбАУ РАН. Научный руководитель А.В. Редькова – доктор физико-математических наук, профессор, Липовский Андрей Александрович работает в должности заведующего кафедрой физики и технологии наногетероструктур СПбАУ.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

1. Оценка выполненной соискателем работы

Одной из наиболее существенных проблем, стоящих перед современной физикой конденсированного состояния, является изучение особенностей физических свойств наноструктур и наноматериалов. Основной сложностью при изготовлении таких материалов являются как малый характерный размер их структурных элементов, так и сильная зависимость свойств от случайных флуктуаций этого размера, возникших при их изготовлении. Существенная часть наноструктур создается с использованием тонкоплёночной технологии, часто включающей химические реакции – MOCVD, HVPE, MBE и др., поэтому важным является определение условий, при которых рост плёнки будет устойчивым, и возникающие на ней в процессе роста флуктуации и шероховатости будут «затягиваться» сами собой. Также, сейчас активно изучаются нанокompозитные материалы на основе диэлектриков. Одним из перспективных методов создания таких нанокompозитов является ионный обмен с последующим отжигом в восстановительной атмосфере. Однако на данный момент не существует возможности предсказать пространственное распределение

зародышей и, соответственно, формирующейся в процессе отжига фазы, которым и определяются свойства композита.

Диссертационная работа посвящена исследованию образованию и росту новой фазы в многокомпонентных системах. В работе рассматривается эволюция формы сферической и планарной многокомпонентных систем, а также изучается зарождение наночастиц в матрице стекла, и приведены рекомендации по конкретным условиям роста. В диссертации представлено описание теоретических и экспериментальных методов, использованных в работе, приведены полученные экспериментальные результаты, а также интерпретация полученных данных. Построены теоретические модели образования и роста новой фазы и проведено сравнение с экспериментом. Выполненная соискателем работа представляет собой завершённое физическое исследование в области Физики конденсированного состояния, и полученные результаты соответствуют требованиям к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

2. Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации

Диссертация написана по материалам исследований, выполненных А.В. Редьковым в СПбАУ РАН и лаборатории структурных и фазовых превращений в период с 2011 по 2016 гг. Основные задачи поставлены научным руководителем Липовским А.А. Все аналитические и численные результаты получены лично автором, также лично автором проводились и экспериментальные исследования на микрорамановском микроскопе, оптическом профилометре и другом диагностическом оборудовании. Интерпретация теоретических исследований и их сравнение с экспериментальными результатами выполнены лично автором. Основные полученные результаты отражены в одиннадцати статьях, опубликованных в составе коллектива авторов в рецензируемых международных и российских журналах, входящих в перечень ВАК и список Web of Science. Личный вклад соискателя в экспериментальную и теоретическую части опубликованных работ составляет в среднем не менее 70%.

3. Степень достоверности результатов проведённого исследования

Достоверность полученных результатов достигается использованием современного оборудования и методик, воспроизводимостью полученных результатов, совпадением результатов, полученных для образцов с известными литературными данными, использованием апробированных методик расчета и современных математических пакетов.

По материалам работы опубликовано сделано 14 докладов на Всероссийских и Международных конференциях: Наука будущего - наука молодых (Севастополь, 2015); Saint-Petersburg Open 2015 (г. Санкт-Петербург); Days on Diffraction (Санкт-Петербург, 2015); XIX международный симпозиум «Нанофизика и нанoeлектроника» (г. Нижний Новгород, 2015); XIX International Research Workshop "Nucleation Theory and Applications" (г. Дубна, 2015); "Физика.СПб" (Санкт-Петербург, 2014); Saint-Petersburg OPEN 2014 (Санкт-Петербург, 2014); XVIII International Research workshop on «Nucleation Theory and Applications» (г. Дубна, 2014); Международная зимняя школа по физике полупроводников 2014 (г. Санкт-Петербург, 2014); XV Всероссийская молодежная конференция по физике полупроводников и наноструктур, полупроводниковой и опто- и нанoeлектронике (г. Санкт-Петербург, 2014); Nanomeeting 2013 (г. Минск); Международная зимняя школа по физике полупроводников 2013 (г. Санкт-Петербург); Nanomaterials: Applications & Properties 2012 (Алушта)

На основании этого можно заключить, что результаты работы являются вполне достоверными.

4. Новизна результатов проведенного исследования

1. Теория морфологической устойчивости расширена на многокомпонентные системы. Впервые для таких систем предложен критерий устойчивости сферической и планарной систем.
2. Предложены и верифицированы в эксперименте физическая и математическая модели процессов, описывающие образование и рост наночастиц в стекле и на его поверхности при отжиге в водородной атмосфере, учитывающие диффузию компонент, химические реакции, а также нуклеацию и рост новой фазы.
3. На основе численных расчетов в соответствии с предложенной моделью описаны распределения всех компонент, участвующих в процессе формирования наночастиц. Моделирование впервые позволило теоретически показать, что возможны два режима формирования наночастиц в объеме стекла: равномерный и самоорганизация наночастиц в виде квазипериодических слоев. Модель позволила объяснить данные, ранее полученные в экспериментах.

5. Практическая значимость результатов проведенного исследования

Практическая значимость работы определяется тем, в работе впервые предложены конкретные рекомендации по режимам роста востребованных современной промышленностью плёнок GaN. Эти рекомендации позволяют выбирать режимы роста, обеспечивающие минимальную дефектность полупроводниковых пленок и, соответственно, обеспечивать высокое качество и эффективность изготавливаемых на их основе приборных структур и приборов. Также результаты обосновывают полученные ранее экспериментальные данные и позволяют выбрать режимы обработки стекла, при которых формируется требуемое распределение наночастиц. Это дает возможность формировать стеклометаллические нанокомпозиты с заранее заданными оптическими свойствами, отдельные островки металла или их массивы, а также структуры на их основе. Полученные результаты могут быть применены в промышленности при создании компонентов оптоэлектронных приборов, в частности, дифракционных решеток, фильтров, подложек для поверхностно-усиленной рамановской спектроскопии и др.

6. Ценность научных работ соискателя

Ценность научных работ соискателя заключается в новаторских идеях и оригинальных экспериментальных методах и результатах, представленных в опубликованных работах. Подтверждением этому является публикация этих работ в ведущих международных журналах по физике конденсированного состояния *Nanoscale Research Letters*, *Journal Of Physical Chemistry*, *Chemical Physics Letters*, и *Journal of Non-Crystalline Solids*, а также в ведущих отечественных журналах по физике – *Письма в ЖЭТФ*, *ЖЭТФ* и *ФТТ*.

7. Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем

Основные материалы диссертации полностью изложены в следующих работах:

1. A.V. Redkov, S.Chervinskii, A.Baklanov, I. Reduto, V.Zhurikhina, A. Lipovskii "Plasmonic molecules via glass annealing in hydrogen", *Nanoscale Res. Lett.* 9, 606 (2014).
2. A.V. Redkov, V.G. Melehin, A.A. Lipovskii, "How Does Thermal Poling Produce Interstitial Molecular Oxygen in Silicate Glasses?", *J. Phys. Chem. C*, (2015), 119, pp 17298–17307
3. A.V. Redkov, S. Chervinskii, A. Baklanov, I. Reduto, V. Zhurikhina and A. Lipovskii "Erratum to: Plasmonic molecules via glass annealing in hydrogen", *Nanoscale Res. Lett.* 10, 201 (2015)
4. A.V. Redkov, V. G. Melehin, V.V Statcenko, V. V. Lipovskii, "Nanoprofiling of alkali-silicate glasses by thermal poling". *Journal of Non-Crystalline Solids* 409, 166–169 (2015).

5. A.V. Redkov, V.V. Zhurikhina, A.A. Lipovskii, «Formation and self-arrangement of silver nanoparticles in glass via annealing in hydrogen: The model», Journal of Non-Crystalline Solids 376, 152–157 (2013)
6. A.V. Redkov, V.V. Zhurikhina, A.A. Lipovskii, «Self-arrangement of periodic layers of silver nanoparticles in silicate glass», Journal of Physics: Conference Series, 541, 012005 (2014)
7. С.А. Кукушкин, А.В. Осипов, А.В. Редьков, "Критерий морфологической устойчивости сферического фронта кристаллизации в многокомпонентной системе с химическими реакциями", Физика твердого тела, 56, 2440 (2014)
8. А.В. Редьков, «Формирование композитных материалов на основе стекол, содержащих восстановитель». Физика твердого тела, 54 1758-1763 (2012)
9. П.Н.Брунков, А.А. Липовский, В.Г.Мелехин, А.В.Редьков, В.В.Стаценко, "Формирование серебряных фрактальных структур в ионообменных стеклах при полинге", ЖТФ 85, 112(2015).
10. A.V. Redkov, A.V.Osipov, S.A.Kukushkin, "Surface defects formation on strained thin films growing via chemical reaction: a model", Journal of Physics: Conference Series, 643(2015) 012005
11. А.В. Редьков, С.А. Кукушкин, А.В. Осипов, "Устойчивость поверхности упругонапряженной многокомпонентной пленки в системе с химическими реакциями", Физика твердого тела, 57, (2015), 2451
12. С. Червинский, А. Редьков, И. Редуто, В. Сергеев, А. Липовский, Патент РФ №2562619 «Способ получения структурированных сплошных и островковых плёнок на поверхности стекла». Дата приоритета от 20.02.2014

8. Специальность, которой соответствует диссертация

Содержание работы соответствует специальности 01.04.07-физика конденсированного состояния.

Диссертационная работа “Эволюция новой фазы в многокомпонентных и гетерогенных материалах” Редькова Алексея Викторовича **рекомендуется** к защите на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07-физика конденсированного состояния.

Заключение принято на заседании научного семинара Центра нанотехнологий 14 апреля 2016 г., протокол №2 от 14.04.2016. Присутствовало на заседании 17 из 20 человек по списку. Результаты голосования: «за» – 17, «против» – 0, «воздержался» – 0.

Заместитель Председателя
семинара Центра нанотехнологий
Академического университета
чл.-корр. РАН



Жуков А.Е.

Секретарь
семинара Центра нанотехнологий
Академического университета
к.ф.-м.н.



Мухин И.С.