

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Редькова Алексея Викторовича
«Эволюция новой фазы в многокомпонентных и гетерогенных материалах»,
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.07 – «физика конденсированного состояния»

Диссертационная работа Редькова Алексея Викторовича посвящена достаточно востребованной и актуальной теме – исследованию полупроводниковых и стекломаталлических композитных материалов. Практическая потребность в этих материалах достаточно велика, как для полупроводниковой, в частности, светодиодной технологии, так и для использования в оптике.

В диссертации рассматриваются вопросы, связанные с формированием композитов и исследуются механизмы зарождения новой фазы, а также эволюция формы уже сформировавшихся зародышей. В частности, рассмотрена проблема морфологической устойчивости многокомпонентных сферических зародышей и тонких плёнок. Приведены новые интересные и важные научные результаты: найдены критерии, при выполнении которых поверхность растущей фазы сохраняет свою форму. Достоинством работы является то, что полученные в ней результаты применены к реальным системам, а именно к тонким плёнкам GaN, что позволило предложить автору ряд конкретных рекомендаций по условиям выращивания плёнок, позволяющих существенно уменьшить их дефектность, что несомненно важно для полупроводниковой промышленности. Также в работе рассмотрено образование новой фазы вещества на примере формирования зародышей серебряных наночастиц, образующихся в стекле при отжиге в водородной атмосфере. Автором предложены модели, описывающие этот процесс, и проведено численное моделирование. Интересным и неочевидным результатом, следующим из представленной модели, оказалось то, что в таких стекломаталлических композитах может проявляться самоорганизация, и в частности, образование квазипериодических слоёв металлических наночастиц. Это явление ранее несколько раз наблюдалось экспериментально, но не было объяснено теоретически. В диссертации также предложены новые методики формирования распределения ансамблей наночастиц на поверхности стекла и нанопрофилирования поверхности стёкол по заданному шаблону. Эффективность этих методов определяется их относительно простой практической реализацией и способности обеспечить высокой степени пространственного разрешения, сопоставимого с современной оптической литографией. Считаю, что дальнейшее развитие и практическое внедрение этих методов и других результатов работы будут иметь существенное значение для данной области знаний и технологий.

Результаты проведенного автором исследования являются новыми и имеют как прикладное, так и фундаментальное значение. Они вносят определенный вклад в понимание процессов образования и роста новой фазы в многокомпонентных системах. Практическая значимость представленных в диссертации результатов обусловлена перспективами применения

рассмотренных в диссертации подходов в промышленности. Основные результаты достаточно полно отражены в печатных работах и докладах как на российских, так и международных конференциях. Материалы автореферата изложены в соответствии с общепринятыми требованиями. Следует отметить удачный подбор иллюстраций, позволяющих получить хорошее представление результатах работы.

Отмечая сильные стороны рассматриваемой работы, хотелось бы остановиться на пожеланиях и вопросах, обращенных к автору диссертации.

1. Из содержания автореферата не следует, чем определяется пространственное разрешение процесса формирования наноструктур на поверхности стекла при использовании поляризации стекол.
2. Хотелось бы получить объяснение причины образования в стеклах кислорода, проиллюстрированное рис. 10 автореферата.

Принципиальных замечаний по автореферату не имеется, а отмеченное выше не влияет на высокую оценку диссертационной работы А.В. Редькова.

По актуальности, объему выполненных исследований, научной новизне и значимости результатов диссертации, эта работа полностью соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. №842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор – Редьков Алексей Викторович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния».

Образцов Александр Николаевич
д.ф.-м.н, профессор физического факультета
МГУ имени М.В. Ломоносова,
тел. (495) 939-4126, e-mail obraz@polly.phys.msu.ru
119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы,
д. 1, стр. 2, физический факультет

«19» октября 2016 г.

А.Н. Образцов

Подпись А.Н. Образцова заверяю:
Ученый секретарь Ученого Совета
физического факультета МГУ
д.ф.-м.н., профессор



В.А. Караваев

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Редькова Алексея Викторовича «Эволюция новой фазы в многокомпонентных и гетерогенных материалах», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Диссертация А.В. Редькова посвящена вопросам зарождения и эволюции новой фазы в многокомпонентных средах. Исследования тесно связаны с применяемыми в настоящее время в технике композитными материалами и тонкопленочными структурами на основе полупроводников и диэлектриков. Поскольку такие материалы востребованы, изучение методов их получения и обработки с целью придания им нужных свойств представляются значимой и актуальной задачей. В центре внимания диссертанта – исследование устойчивости зародышей различной формы к малым возмущениям на поверхности, а также зарождение наночастиц при распаде твердого раствора. В частности, автором рассмотрена устойчивость тонких полупроводниковых плёнок, растущих в результате химических реакций с использованием методов HVPE, MBE и найдены критерии для условий, при выполнении которых плёнка нитрида галлия будет сохранять форму по мере роста. Такие критерии могут быть применены при синтезе полупроводниковых гетероструктур на основе нитрида галлия, которые в настоящее время активно применяются в оптоэлектронике. Вторая часть диссертации посвящена исследованию формирования новой фазы (металлических наночастиц) в металл-диэлектрических композитах на основе стёкол и показано, как различные условия обработки композита влияют на итоговое распределение наночастиц в приповерхностной области стекла. Разработанные автором теоретические модели позволили объяснить известные из литературы экспериментальные данные, включая образование слоистых структур из наночастиц при самоорганизации. Это интересное явление может быть использовано для изготовления оптических элементов, например, брэгговских решеток.

Диссертантом выполнено серьезное и трудоемкое исследование, включающее как теоретическую часть и численное моделирование, так и проведение ряда экспериментов. Полученные результаты достоверны, что определяется совокупностью, используемой современной экспериментальной базы и математических пакетов, а также тем, что предложенные модели достаточно хорошо описывают наблюдаемые экспериментальные результаты. Научная новизна работы и её значимость не вызывают сомнений. Результаты четко изложены в автореферате и представлены в 11 публикациях в журналах из списка

ВАК РФ. Также автором получен патент РФ. Отмечая сильные стороны работы, хотелось бы озвучить и вопрос, возникший при прочтении автореферата:

- 1) На рисунке 4 приведено сравнение расчетного распределения наночастиц с экспериментальными данными, вблизи поверхности стекла имеет место хорошее совпадение, однако при увеличении расстояния от поверхности появляется расхождение, и не объяснено, чем оно вызвано.

Сделанное замечание ни в коей мере не уменьшает общего положительного впечатления от работы, которая в целом заслуживает высокой оценки. Судя по автореферату, исследование посвящено важной и актуальной проблеме, выполнено на высоком научном уровне и содержит оригинальные результаты, опубликованные как в отечественных, так и зарубежных журналах.

Таким образом, работа Редькова Алексея Викторовича «Эволюция новой фазы в многокомпонентных и гетерогенных материалах» полностью соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013г. №842 предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а её автор, Редьков Алексей Викторович, заслуживает присуждения искомой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Профессор, д.х.н., заведующий кафедрой "Физико-химия и технологии микросистемной техники"

Александров Сергей Евгеньевич



Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,

ул. Политехническая. 29, Санкт-Петербург, 195251

Тел.: (812) 5526171,

E-mail: salexandrov@spbstu.ru

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации А.В. Редькова «**Эволюция новой фазы в многокомпонентных и гетерогенных материалах**», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07.

Композитные материалы на основе полупроводников и диэлектриков, а также методы их формирования, рассматриваемые в диссертации А.В. Редькова, являются объектами интенсивного научного исследования. Интерес к таким материалам связан с перспективами их применения в силовой и светодиодной электронике, нелинейной оптике, фотонике, плазмонике, а также в высокочувствительных датчиках и сенсорах. Необычные свойства таких материалов зачастую обусловлены тем, что характерный размер их структурных элементов очень мал и составляет десятки и сотни нанометров. При этом свойства таких композитов крайне чувствительны как к размеру их структурных элементов, так и к его флуктуациям. Во многих случаях процесс формирования нанокompозитов связан с самоорганизацией. В связи с этим исследование механизмов появления и эволюции зародышей новой фазы в таких материалах являются важными и актуальными. В работе А.В. Редькова рассмотрен рост тонких плёнок в многокомпонентных средах и даны рекомендации по условиям роста с тем, чтобы флуктуации толщины плёнки (шероховатость поверхности) в разных областях были минимальны. Также исследуются вопросы зарождения наночастиц в другом типе материалов – стекломаталлических нанокompозитах и определяется зависимость распределения наночастиц в объеме стекла от условий изготовления композита. Помимо этого, автором изучены процессы формирования металлических наночастиц (островковых плёнок) на поверхности стёкол и предложен метод структурирования островковых плёнок по заданному шаблону посредством термического полинга, этот метод А.В. Редьковым запатентован. При разработке подхода к структурированию островковых пленок автором диссертации обнаружено, что под влиянием электрического поля в приповерхностной области стекла протекает ряд сопутствующих структурированию процессов, а именно, заглубливание поверхности, находящейся в контакте с электродом, относительно незатронутой полингом области, и выделение молекулярного кислорода. На основании этого им предложена методика нанопрофилирования поверхности стекла с характерным разрешением в плоскости поверхности подложки до сотен нанометров. Достоинством предложенных методик является то, что они не требуют использования сложных технических средств, в частности, литографии. Следует отметить, что результаты, представленные в диссертации А.В. Редькова являются оригинальными и представляют интерес для специалистов смежных специальностей. Достоверность результатов обоснована проведением экспериментов и вычислений с использованием современного аналитического оборудования и пакетов вычислительных программ. Работа выполнена на высоком научном уровне. Вместе с тем, к автореферату имеется следующее замечание:

- Из автореферата не ясно, описывает ли предложенная модель формирования стеклокомпозитов только формирование серебряных наночастиц, или она может быть применена и для описания композитов, содержащих другие металлы, или чисто диэлектрических композитов - стеклокерамик?

В диссертационный совет Д.002.269.01 на базе федерального государственного бюджетного учреждения высшего образования и науки “Санкт-Петербургский национальный исследовательский Академический университет Российской академии наук”

О Т З Ы В

На автореферат диссертации Редькова Алексея Викторовича “Эволюция новой фазы в многокомпонентных и гетерогенных материалах” представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям : 01.04.07 - физика конденсированного состояния

К материалам в наносостоянии проявляется огромный интерес в связи с реальной возможностью практической реализации их уникальных свойств в разнообразных областях науки и техники. По крайней мере два обстоятельства, сопровождающие значительный всплеск исследований в области наноматериалов можно отметить. Во-первых, уже на первых порах появилась возможность реализации высокого уровня физико-химических и механических свойств материалов в наносостоянии. Во-вторых, эта проблематика выявила ряд пробелов не только в понимании природы особенностей этого состояния, но и его технологической реализации. С изменением размеров частиц связан еще ряд термодинамических свойств наночастиц. Концентрация вакансий в наночастицах повышается с уменьшением их размера, одновременно снижаются температуры полиморфных превращений и параметры решеток, возрастает сжимаемость и растворимость. Исследования термодинамики малых частиц позволяют утверждать, что размер частиц является активной переменной, определяющей вместе с другими термодинамическими переменными состояние системы и ее реакционную способность. Размер частиц можно рассматривать как своеобразный эквивалент температуры и в этом случае значение потенциала Гиббса будет отличаться от стандартных значений массивной фазы. В технологии микроэлектроники процессы формирования новой фазы на поверхности подложки занимают весьма существенное, если не главное, место. Эти процессы относятся к ростовым и подразделяются на две большие группы: процессы затвердевания стеклообразных (аморфных) веществ и процессы кристаллизации. Однако, до сих пор отсутствуют модели, позволяющие характеризовать процессы роста новой фазы и эволюцию ее формы как в многокомпонентных полупроводниковых гетеросистемах, так и в нанокompозитах. Тема диссертации, сформулированная Редьковым А.В., как раз и направлена на расширение теории фазовых переходов на многокомпонентные нано- гетеро-системы и поэтому является актуальной.

В диссертации получен целый ряд интересных и оригинальных результатов, важных как с научной, так и с практической точек зрения. Прежде всего отмечу, что в диссертационной работе сформулирован важный вывод, что в многокомпонентных системах кинетика формирования пленки определяется компонентой системы, лимитирующей химическую реакцию (положение 1).

Напрашивается небольшое замечание. В автореферате, в одном из научных положений (положение 2) утверждается, что “для сферической частицы сродству химической реакции можно сопоставить критический радиус, при превышении которого ее форма становится неустойчивой.”. Однако, не понятно как автор учитывает при этом наличие упругих полей островка, имеющего форму сфероидального сегмента,

нанесенного на плоскую поверхность кристалла, параметр решетки которого отличается от параметра решетки материала островка, причем возможны различные механизмы возникновения пластической деформации, которые способны привести к снижению запасенной энергии в напряженных наноструктурах и к изменению критического радиуса зародыша.

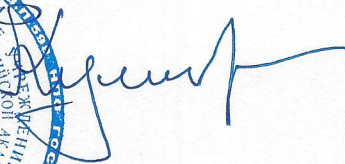
В целом, в диссертационной работе успешно решена задача, имеющая важное научное и практическое значение. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в научных журналах, рекомендованных ВАК по физическим наукам. Достоверность полученных результатов и выводов не вызывает сомнений. Судя по автореферату, диссертация является актуальной, содержит элементы научной новизны и удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям. Работа выполнена на высоком научном уровне и Редьков А.В. заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности : 01.04.07 - физика конденсированного состояния

Старший научный сотрудник
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН,
к.ф.-м.н. Бессолов Василий Николаевич
01.04.10 – физика полупроводников
Тел. (812) 292-73-44, e-mail: bes@triat.ioffe.rssi.ru



Подпись и фамилию сотрудника ФТИ им. А.Ф. Иоффе Бессолова В.Н..
Удостоверяю:

Ученый Секретарь ФТИ им. А.Ф. Иоффе



Шергин А.П.

194021, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 26, e-mail: post@mail.ioffe.ru