Номоев, Андрей Валерьевич. Механизмы образования, строение и физические свойства наноразмерных структур, полученных облучением электронными пучками : диссертация ... доктора физико-математических наук : 01.04.07 / Номоев Андрей Валерьевич; [Место защиты: ГОУВПО "Бурятский государственный университет"].- Улан-Удэ, 2012.- 356 с.: ил. РГБ ОД, 71 13-1/8

ФГБОУ ВПО «БУРЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

*На правах рукописи*

C:\Users\Pavel\AppData\Local\AppData\Local\Temp\FineReader11.00\media\image1.png

/‘і

**Номоев Андрей Валерьевич**

**МЕХАНИЗМЫ ОБРАЗОВАНИЯ, ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ И ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОРАЗМЕРНЫХ СТРУКТУР, ПОЛУЧЕННЫХ ОБЛУЧЕНИЕМ ЭЛЕКТРОННЫМИ ПУЧКАМИ**

Специальность 01.04.07 - Физика конденсированного состояния

ДИССЕРТАЦИЯ на соискание ученой степени доктора физико-математических наук

Научный консультант - д-р физ.-мат. наук, профессор **Бардаханов С.П.**

Улан-Удэ-2012

ОГЛАВЛЕНИЕ

[Введение 6](#bookmark1)

Глава 1. Современное состояние исследований получения, строения и свойств гомогенных и композитных ультрадисперсных (нано-) порошков 18

1. Методы получения ультрадисперсных (нано-) частиц 20
2. [Гомогенные нанопорошки 21](#bookmark2)
3. Теплопроводящие свойства наноструктур 23
4. Оптические свойства растворов нанопорошков 24

Люминесценция кремния 26

1. Использование фрактального анализа для изучения свойств нанопорошков 27
2. [Функция распределения частиц по размерам 29](#bookmark5)
3. Модели формирования гомогенных наночастиц, полученных методом испарения-конденсации 31
4. Композитные наночастицы. Строение, свойства и механизмы образования.... 32
5. Образование нано- (гетерогенных) композитных частиц 35
6. Получение частиц ядро-оболочка 38

Особенности диаграммы состояния системы медь-кремний (Cu-Si) 41

1. Композитные наночастицы Ag-Si 42

Особенности диаграммы состояния системы серебро-кремний (Ag-Si) 43

1. [Янус-подобные наночастицы 44](#bookmark9)

Фазовая диаграмма Ta-Si 45

1. Полые наночастицы 46

Антиотражающие покрытия 48

1. Оптические свойства металлсодержащих композитных наночастиц 49
2. Корундовая керамика 51
3. Свойства кристаллов галогенидов таллия 52

Выводы по главе 1 54

Глава 2. Методика экспериментов и объекты исследования 56

1. Электронно-лучевой метод получения нанопорошков 56
2. Взаимодействие электронов с веществом 58

Удельные потери энергии электронами 58

Экстраполированный пробег электронов 60

1. Методики характеризации наноструктур 64
2. Методы микроскопии 65

Электронная микроскопия 65

Атомно-силовая микроскопия 66

1. Методика определения удельной поверхности, рентгенофазовый анализ 68 Определение размера наночастиц методом рентгеновской дифрактометрии 69 Метод малоуглового рентгеновского рассеяния (МУРР) 71
   1. Описание экспериментальных условий получения керамики 73
      1. Изготовление образцов керамики на основе АКР-50 74
      2. [Процессы прессования и спекания 75](#bookmark17)
      3. [Оборудование и методы исследования 78](#bookmark18)

Люминесценция и спектры комбинационного рассеяния света 80

* 1. Методы исследования галогенидов таллия, AgCl, боросиликатных стекол с таллием и без таллия 80
     1. Методика исследования короткоживущих дефектов 80
     2. Оценка погрешности абсорбционных и люминесцентных измерений с временным разрешением 84
     3. Методика измерения стационарной люминесценции 85
     4. [Исследуемые образцы 86](#bookmark22)

з

Глава 3. Получение и свойства гомогенных нанопорошков испарением исход­ных веществ на ускорителе электронов 87

1. Синтез нанопорошков различных веществ 87
2. Диоксид кремния Si02 87

Анализ нанопорошков диоксида кремния методом малоуглового рентгенов­ского рассеяния (МУРР) 89

Фрактальный анализ нанодисперсных порошков диоксида кремния 91

Применение малоуглового рассеяния рентгеновского излучения для опреде­ления фрактальной размерности нанопорошков диоксида кремния 95

Исследование конгломератов нанодисперсного диоксида кремния методом атомно-силовой микроскопии 97

1. Оксид магния MgO, оксид алюминия AI2O3, оксид кремния SiO, закись меди CU2O, диоксид титана ТЮг, оксид вольфрама WO3 104
2. Диоксид гадолиния GCI2O3 и диоксид иттрия Y2O3 105
3. Металлы (тантал Та, молибден Мо, никель Ni, алюминий А1, серебро Ag) 106
4. [Кремний Si 108](#bookmark23)
5. Нитрид алюминия A1N 112
6. Нитрид титана TiN 113
7. Свойства полученных нанопорошков 114
8. Экспериментальное определение коэффициента теплопроводности нано­порошков диоксида кремния 114
9. Исследование электрофизических свойств наноразмерных порошков ди­оксида кремния, оксида алюминия и никеля 119
10. Исследование оптических свойств водного раствора наноразмерного по­рошка диоксида кремния 122

Результаты и их обсуждение 124

1. Видимая фотолюминесценция нанопорошков кремния 126
2. Взаимодействие нанопорошка закиси меди с электромагнитным излучением 129

Выводы по главе 3 134

Глава 4. Композитные наноразмерные структуры 137

1. Свойства и особенности получения композитных наноразмерных структур ... 137
2. Определение парциального давления паров различных веществ 137
3. Получение медьсодержащих наночастиц 140
4. Термодинамическое моделирование системы Cu-Si 140
5. Определение поверхностного натяжения двухкомпонентных жидкостей 143
6. Получение наноразмерных частиц меди 145
7. Получение композитных медьсодержащих наночастиц ядро-оболочка 147
8. Особенности получения Cu@Si02 147
9. Характеризация наночастиц Cu-Si 149
10. Механизм образования композитных частиц с учетом разницы темпера­тур испарения 152
11. Структура, морфология композитных наночастиц Cu/Si 155
12. Модель образования наночастиц ядро-оболочка 162
13. Синтез, строение и механизм образования наночастиц металл/полупроводник Ag/Si методом испарения-конденсации 174
14. Получение композитных серебросодержащих наночастиц Ag/Si 174
15. [Термодинамическое моделирование системы Ag-Si 180](#bookmark43)
16. Зависимость размера частиц от расхода аргона и тока пучка 181
17. Образование композитных наноструктур Ag/Si 182
18. Влияние параметров процесса получения композитных нанопорошков на средний диаметр частиц на примере Ag-Si 183
19. [Синтез, механизм образования янус-подобных наночастиц TaSi2@Si 184](#bookmark42)
20. Термодинамическое моделирование системы Та-Si 184
21. [Особенности получения янус-подобных наночастиц TaSi2@Si 185](#bookmark44)
22. Характеризация янус-подобных (Janus-like) наночастиц TaSi2/Si 187
23. Механизм создания янус-подобных (Janus-like) наночастиц TaSi2/Si 189
    1. Условия получения и механизм образования композитных наночастиц 192
    2. Синтез и свойства полых наночастиц диоксида кремния 193
       1. Существующие способы создания полых наночастиц 193
       2. Получение полых наночастиц и механизмы образования полых наноча­стиц диоксида кремния 194
       3. [Получение Cu0@Si02 196](#bookmark45)
       4. [Определение морфологии полых наночастиц методом ACM 197](#bookmark46)
       5. Достоверность изображения полых наночастиц методом ACM 201
    3. Медьсодержащие наноструктуры и их оптические спектры 203
       1. Особенности получения медьсодержащих наноструктур 203
       2. Результаты исследований и их обсуждение 204
       3. Плазмонное поглощение медных наночастиц 205
       4. Получение медьсодержащих наноструктур на основе кремнийорганиче- ской резины 210
       5. Получение и свойства композитных нановолокон 213

Выводы по главе 4 214

Глава 5. Нано- и субнаноразмерные радиационные дефекты в кристаллах га- логенидов таллия и серебра 217

1. Короткоживущие радиационные дефекты в исследованных материалах 217
2. Наведенное оптическое поглощение в галогенидах таллия и анализ его возможных механизмов 217
3. Подпороговый механизм создания радиационных дефектов 225
4. Первичные радиационные дефекты 228
5. Модели дефектов и механизм их образования в галогенидах таллия 235
6. Радиационные дефекты в AgCl 239
7. Механизм образования дефектов при низких температурах 242
8. Наведенное поглощение в боросиликатном стекле, содержащем таллий 245
9. Электронные процессы в твердых растворах галогенидов таллия 249
10. Край фундаментального поглощения в системе TIBr-TlJ 249
11. Люминесценция в системе TIBr-TJ 252

Выводы по главе 5 253

Глава 6. Получение керамики из нанопорошков и ее свойства 254

1. Керамика из диоксида кремния Si02 254
2. Керамика на основе ультрадисперсных порошков оксида алюминия 260
3. Механизм существенного влияния нанодисперсной добавки диоксида кремния на твердость керамики 265
4. Люминесценция керамики на основе нанопорошков оксида аллюминия АКР-А380 268
5. Керамика из диоксида титана ТіОг 273
6. Керамика из оксида гадолиния и оксида иттрия 276
7. Керамика из диоксида циркония Zr02 280
8. Керамика из окиси меди СиО 283
9. Керамика из оксида вольфрама WO3 285
10. Керамика из карбида вольфрама WC 289

Выводы по главе 6 290

Глава 7. Разработка областей применения нанопорошков, полученных элек­тронно-лучевым методом 292

1. Способ получения покрытия из краски на основе перхлорвиниловой и глифта- левой смол 292
2. Технический результат 294
3. Результаты испытаний 296
4. [Примеры выполнения 297](#bookmark53)
5. Устройство для термокомпрессионного формования полимерных композици­онных материалов 302
6. Способ получения корундовой керамики 307
7. Технический результат 308
8. [Примеры выполнения 312](#bookmark54)
9. Исследование прочностных и упругих свойств каучука при добавке нанораз- мерного порошка диоксида кремния 314
10. [Способ получения нанодисперсных композитных порошков 315](#bookmark55)
11. Обоснование полученного нового вещества и его свойств 326

Общие выводы 328

Литература 331

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Наноразмерные среды на протяжении последнего десятилетия являются объектом пристального внимания. Получение и иссле­дование свойств высокодисперсных порошков различных веществ являются актуальным разделом современной науки и технологий. Важное место в этих исследованиях занимают композиционные материалы с наноструктурной морфологией отдельных элементов, поскольку особые свойства нанодис- персных материалов могут способствовать их широкому применению, на­пример, в нелинейной оптике и радиоэлектронике в качестве оптических и электропроводящих сред.

С точки зрения механических, оптических и в целом электрофизических свойств наиболее интересны композитные нанопорошки, свойства которых: мало изучены. В зависимости от структуры нанокомпозитных частиц могут наблюдаться изменения свойств в широких пределах с проявлением кванто­воразмерных эффектов. Например, композитные материалы с использовани­ем смешанных кристаллов галогенидов таллия являются перспективными материалами для оптоэлектроники в качестве детекторов жесткого ионизи­рующего излучения с высокой разрешающей способностью. Однако для ус­тановления типа первичных нанодефектов и механизма их образования в этих материалах при воздействии пучка электронов необходимо проведение соответствующих фундаментальных исследований.

В последние годы с целью повышения скорости передачи информации в микросхемах повышают частоту электромагнитных волн. Для этого необхо­димы подложки с очень низкой диэлектрической проницаемостью, чтобы уменьшить паразитную емкость, создаваемую в цепи между подложкой и проводниками. Таким свойством обладают полые наноструктуры (hollow structures) из диоксида кремния, напыленные на кремниевую подложку. Уменьшение диэлектрической проницаемости такой системы происходит вследствие заполнения пустот в наночастице воздухом, как известно, со зна­чением диэлектрической проницаемости, близкой к единице. Исследования, проводимые в этом направлении, являются весьма актуальной областью со­временной науки. Кроме этого, эффект уменьшения диэлектрической прони­цаемости, обусловленный добавлением полых наночастиц в покрытие, при­водит к уменьшению коэффициента отражения света в ультрафиолетовой и видимой областях спектра (UV-visible). Этот эффект используется для созда­ния антиотражающих покрытий. Уменьшение теплопроводности материалов, наполненных полыми диэлектрическими частицами, также имеет значение с практической точки зрения. Полые наночастицы перспективны как средство доставки активных веществ, например лекарств, к нужному органу с лечеб­ной целью, формирования его изображения и меток.

В настоящее время большое количество работ направлено на получение и исследование металлических наночастиц. В то же время их свойства, осо­бенно в композиции с другими диэлектрическими веществами, до конца не изучены. Данные материалы проявляют свойства, обусловленные квантово­размерными эффектами, такими как высокая поглощающая способность электромагнитного излучения в ВЧ- и СВЧ-диапазонах, проявляющаяся в высоких значениях кубической восприимчивости. Так, например, компози­ционные материалы, основанные на диэлектриках, содержащих металличе­ские наночастицы, проявляют нелинейно-оптические свойства: из известных

а

на сегодняшний день в литературе наиболее высокое значение 10' ед. СГСЕ, измеренное вблизи длины волны 590 нм плазмонного резонанса Си наноча­стиц. Достигнутое значение кубической восприимчивости для частиц меди является максимально приближенным к теоретически предсказываемым пре­дельным величинам. Кроме того, установлено, что время нелинейно­оптического отклика оказывается короче 2 пикосекунд. Эти свойства могут управляться переменным размером, морфологией и композицией наноча­стиц, что позволяет создавать новые вещества с расширенными или совер­шенно другими свойствами, отличными от свойств исходных веществ.

Немаловажное значение имеют вопросы фундаментального характера: практически отсутствуют физические модели образования гетерогенных на­ночастиц, синтезированных испарением и конденсацией в потоке охлаж­дающего инертного газа. Химические способы получения наночастиц, в ча­стности металлов, хорошо известны, но при этом наночастицы, образующие­ся в результате реакций восстановления или ионного обмена, всегда содер­жат ионы и продукты реакции, отделение которых представляет трудную, а порою неразрешимую задачу. Кроме того, известными на сегодня способами получения композитных наночастиц производится малое (миллимоли, мил­лиграммы-граммы) их количество. Поэтому получение наноразмерных структур (частиц, порошков) физическим способом - облучением вещества пучком электронов - является перспективным направлением получения чис­тых наноматериалов.

Сплав системы серебро-кремний (Ag-Si) представляет интерес с точки зрения фундаментальной науки и технологических приложений как модель эвтектической системы. Использование серебра (Ag) в микроэлектронике обусловлено его высокой проводимостью и высокой устойчивостью к обра­зованию силицидов. Большая фоточувствительность Ag, огромный плазмен­ный резонанс в видимой области спектра обусловливают его расширяющееся применение в оптоэлектронике. Происходит усиление интенсивности люми­несценции центров свечения Pr3+, La3+ и других веществ более чем на поря­док при добавлении Ag/Si композитных наночастиц. Усиление обусловлено резонансной передачей энергии поверхностных плазмонов композитных Ag/Si наноструктур этим центрам люминесенции.

При использовании наночастиц серебра в качестве биосенсоров возни­кает единственная, но очень серьезная проблема: наночастицы с поверхности выделяют токсичные для клеток ионы серебра. Однако оболочка из диоксида кремния не влияет на световые свойства биосенсоров на основе наночастиц серебра, если частицы покрыты ею герметично. Кроме того, оболочка нано­частиц уменьшает их размеры и агломерацию. Поэтому в последнее время синтез, изучение свойств композитных Ag/Si наноструктур, в том числе обо- лочечных наночастиц, привлекают многих исследователей.

Уникальные свойства композитных янус-подобных наночастиц обусло­вили интерес исследователей к их синтезу. Силицид тантала (TaSi2) обладает привлекательным сочетанием свойств, включающих в себя высокую темпе­ратуру плавления, высокий модуль упругости, высокое сопротивление окис­лению на воздухе, а также относительно низкую плотность. Приготовленные с применением нанопорошков керамические материалы в силу уменьшения размеров зерен могут приобретать улучшенные механические и электроизо­лирующие свойства. Известно, что многие параметры частиц, составляющих порошки, зависят от способа их получения, в то же время модифицирование материалов нанопорошками может приводить к существенному изменению свойств конечного продукта. В теоретическом и прикладном аспектах необ­ходимо изучение этих явлений для установления закономерностей и разра­ботки эффективных способов получения новых материалов. В то же время исследований, в которых бы имело место, с одной стороны, получение нано­размерных компонентов в достаточно большом объеме, а с другой - сочета­ние комплексного изучения их физико-химических свойств с исследованием свойств конечных материалов для логически обоснованного применения на практике, пока еще недостаточно. В этом смысле одним из перспективных направлений получения нанопорошков является высокопроизводительный способ газофазного синтеза, основанный на испарении исходных веществ ре­лятивистским пучком электронов с последующей транспортировкой паров и осаждением наночастиц в среде инертных газов. Важным также является ус­тановление влияния условий синтеза, например, компактирования, темпера­туры спекания, модификации наноразмерными добавками на формирование структуры и свойств материалов. Проведенные исследования будут служить основой для создания перспективных материалов с заданными свойствами для их практического применения.

Цель работы. Данная диссертационная работа посвящена фундамен­тальному направлению новых наноразмерных, в том числе композиционных, материалов с использованием электронных пучков, разработке эксперимен­тальных методов изучения их физических свойств, созданию физических ос­нов промышленной технологии получения материалов с улучшенными физи­ко-механическими свойствами. .

Задачами диссертационной работы являются:

1. Исследование способов и механизмов получения нанопорошков раз­личных веществ, структуры наночастиц в зависимости от режимов электрон­но-лучевого способа их получения.
2. Изучение и анализ физико-химических свойств полученных нанопо­рошков.
3. Исследование механизма образования точечных радиационных де­фектов в таллийсодержащих материалах под действием импульсного пучка электронов.
4. Исследование способов получения керамических материалов из нано­порошков и изучение их физико-механических свойств.
5. Разработка на основе свойств нанопорошков, полученных по высоко­производительному электронно-лучевому способу; развитие некоторых по­тенциальных областей их применения: улучшение характеристик материа­лов, использование в различных технологиях и процессах, синтез новых прочных керамических материалов, модификация красок, силиконовой рези­ны.

Перечисленные задачи решались при выполнении исследований по госбюджетным и хоздоговорным тематикам, проводившихся в Бурятском го­сударственном университете в 2006-2011 гг., Институте физики твердого те­ла Латвийского университета (Institute of Solid State Physics), Институте тео­ретической и прикладной механики СО РАН. Работа поддерживалась гран­тами и договорами РФФИ-Монголия 2007-2008 гг., РФФИ 2009-2010 г., грантом Министерства образования Республики Бурятия по созданию науч­но-производственной лаборатории с целью получения и изготовления кера­мических материалов и резиновых изделий на основе нанопорошков по госу­дарственному контракту, ОАО «Улан-Удэнский лопастной завод», ФЦНП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники» 2011 г.

Научная новизна изложенных в работе результатов заключается в следующем:

1. Облучением веществ релятивистским пучком электронов с после­дующей конденсацией их паров синтезированы нанопорошки, характери­зующиеся в зависимости от типа вещества уникальными свойствами: разви­той удельной поверхностью, высокой интенсивностью фотолюминесценции, низкой теплопроводностью и диэлектрической проницаемостью.
2. Впервые физическим методом в макроколичествах получены ком­позитные порошки, состоящие из слабоагломерированных наночастиц ме­таллов, типа ядро-оболочка Cu@Si02, Ag@Si, Cu0@Si02, янус-подобных наночастиц TaSi2@Si. Установлена их морфология, фазовый состав, структу­ра. Получены нанопорошки, состоящие из частиц с многоуровневой внут­ренней структурой: наносфер, а также погремушечных наноструктур типа ядро - полая оболочка. Определены механизмы образования композитных структур, в основе которых - обнаруженная в настоящей работе наноразмер- ная диффузия Киркендалла и вытекание расплавленного металла через мак- ропоры оболочки.
3. Разработаны методы анализа тонкой структуры композитных нано­частиц. С их помощью проанализированы возможные механизмы образова­ния наночастиц, показано, что в процессе их получения существенное значе­ние могут иметь сложные соотношения между температурами испарения- плавления, давлениями паров и параметрами поверхностного натяжения со­ставляющих их веществ. Получены данные о физико-химических свойствах композитных частиц: распределение по размерам, плазмонном резонансе, от­ражающих свойствах, удельной поверхности, устойчивости к окислению.
4. Получены нанопорошки диоксида кремния с модифицированной поверхностью, как гидрофильные, так и гидрофобные, с высокой удельной поверхностью. Установлена их фрактальная размерность.
5. Впервые обнаружены первичные точечные радиационные дефекты в кристаллах галогенидов таллия и предложен механизм их образования.
6. Показано, что введение наноразмерного порошка диоксида кремния в алюмооксидную керамику приводит к упрочнению межзеренных границ.
7. Создана методика формирования композитной керамики на основе нанодисперсных порошков оксида алюминия, сохраняющая нанодисперсную структуру материала.

**Научная и практическая ценность работы.**

Разработан способ получения композитных металлсодержащих нанопо­рошков, состоящих из наночастиц типа ядро-оболочка.

Создана технология получения керамических композиционных материа­лов из нанопорошков с высокими значениями микротвердости, регулируе­мыми значениями пористости, газопроницаемости, фотолюминесценции. Получен патент на способ получения корундовой керамики.

Установлен механизм образования и тип первичных радиационных то­чечных дефектов в кристаллах галогенидов таллия.

Найденные закономерности формирования структуры керамик могут являться основой для направленного синтеза методом компактирования на­ноструктурных материалов с заданным фазовым составом, дисперсностью, твердостью, пористостью. Полученные в ходе настоящего исследования ре­зультаты существенно расширяют данные о процессах формирования струк­туры и свойств наноструктурированных материалов. Модификация силико­новой резины нанопорошками позволила разработать новый способ изготов­ления изделий из полимерных композиционных материалов методом термо­компрессионного формования. Получен патент на полезную модель «Способ термокомпрессионного формования полимерных композиционных материа­лов». На основе этого способа в ЗАО «Улан-Удэнский лопастной завод» раз­работана технология производства оболочек рулевого винта вертолета Ми-8.

Создана технология модификации лакокрасочных материалов. Добавки нанопорошка диоксида кремния в поливинилхлоридную эмаль приводят к более чем двукратному повышению ее износостойкости без потери других характеристик согласно ее техническим условиям. На основе этой работы проводятся промышленные испытания модифицированной нанопорошками краски в ЗАО «Улан-Удэнский лопастной завод» и получен патент на способ повышения износостойкости перхлорвиниловой эмали нанодисперсным ди­оксидом кремния. Полученные результаты свидетельствуют как о решающем влиянии наноразмерных порошков на улучшение свойств уже существую­щих материалов, так и о возможности создания материалов с принципиально новыми свойствами.

**Основные положения, выносимые на защиту.**

1. Воздействие мощного релятивистского пучка электронов на веще­ства, приводящее к их испарению, конденсации из паровой фазы и к форми­рованию в больших количествах гомогенных нанопорошков, обладающих нехарактерными свойствами для монолитного состояния вещества: высокой удельной поверхностью, низкой теплопроводностью и диэлектрической про­ницаемостью, люминесценцией.
2. Образование структуры и состава композитных наночастиц типа яд­ро-оболочка, янус-подобных наночастиц в процессе воздействия мощного релятивистского пучка электронов на два монолитных вещества.
3. Наночастицы ядро-оболочка как прекурсоры наночастиц со сложной морфологией: полые наночастицы диоксида кремния, наночастицы с частич­но заполненным ядром.
4. Фрактальная структура нанопорошков диоксида кремния, зависящая от способа их получения, степени их гидрофильности. Механизм агрегации кластеров наночастиц, образующихся в нанопорошках диоксида кремния.
5. Создание первичных короткоживущих радиационных дефектов по подпороговому механизму под действием импульсного пучка электронов в чистых и композитных кристаллах галогенидов таллия Т1С1, TIBr, КРС-5, КРС-6. Радиационные дефекты являются комплементарными, создаются в катионной подрешетке и обладают двумя ярко выраженными полосами по­глощения в видимом и ближнем ИК-спектральном диапазоне.
6. Условия синтеза ряда оксидных керамик с использованием ступенча­того прессования и спекания нанопорошков, полученных под действием ре­лятивистского пучка электронов. Керамика, созданная на основе субмикрон- ных и наноразмерных порошков оксида алюминия, обладает повышенной твердостью, обусловленной субмикронной структурой зерна и образованием прочной границы раздела зерен.
7. Нанопорошки, синтезированные электронно-лучевым способом, яв­ляющиеся основой для материалов с улучшенными физико-механическими свойствами по сравнению с отечественными и мировыми аналогами:

* керамика на основе нанопорошков оксида алюминия, значительное по­вышение твердости которой объясняется малыми размерами зерен и направ­ленным пространственным расположением добавки нанопорошка диоксида кремния в межзеренной области;
* модифицированная перхлорвиниловая краска, обладающая более вы­соким значением износостойкости без потери других свойств, важных для практического использования, что связано с достигнутым балансом между количеством дополнительных связей, образующихся между длинными поли­мерными молекулами, и создающимися при этом порами, за счет введения нанодисперсного порошка диоксида кремния;
* кремнийорганическая резина, модифицированная нанопорошками раз­личных веществ. Изменение коэффициента теплового объемного расширения и создаваемого при этом давления модифицированной резины по всему объ­ему происходит вследствие изменения в ней содержания нанопорошков;
* высокопрочный бетон, модифицированный нанопорошком диоксида кремния.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались и об­суждались на Втором всесоюзном семинаре-совещании по механизмам ре­лаксационных процессов в стеклообразных системах (Улан-Удэ, 1985), При­балтийском семинаре по физике оксидных диэлектриков (Лохусалу, 1988), всесоюзной конференции по физике диэлектриков в секции «Диэлектрики в экстремальных условиях» (Томск, 1988), Первом региональном семинаре «Физика импульсных радиационных воздействий» (Томск, 1988), 16-й меж­вузовской конференции молодых ученых по химии и физике твердого тела (Ленинград, 1989), Второй республиканской конференции по физике твердо­го тела (Ош, 1989), ежегодных научных конференциях Латвийского универ­ситета (Рига, 1986-1989), 8-th International Conference on ELECTRON BEAM TECHNOLOGIES (Varna, 2006), 5-й международной научной конференция «Радиационно-термические эффекты и процессы в неорганических материа­лах» (Ташкент, 2006), 15th International Symposium «Nanostructures: Physics and Technology» (Novosibirsk, 2007), II Всероссийской конференции по нано­материалам «НАНО-2007» (Новосибирск, 2007), International Conference on Methods of Aerophysical Research (Novosibirsk, 2007-2008), всероссийском се­минаре «Современные проблемы теоретической и прикладной механики» (Новосибирск, 2007), IV International Conference on Contemporary Physics (Ulaanbaatar, 2007), международном семинаре «Проблемы технологического образования в Бурятии и Монголии» (Улан-Удэ, 2007), International Conference on Advanced Materials (Kottayam, India, 2008), всероссийской кон­ференции «Актуальные проблемы строительной отрасли» (Новосибирск,

1. , International Baltic Sea Region Conference «Functional materials and nanotechnologies» (Riga, 2008), RuPAC-2008 (Zvenigorod, 2008), 12th European Particle Accelerator Conference (Genoa, Italy, 2008), XXIII Международной конференции «Уравнения состояния вещества» (Эльбрус, 2008), Int. Meeting of Radiation Processing (London, 2008), 8-й всероссийской конференция «Фи- зикохимия ультрадисперсных (нано-) систем» (Белгород, 2008), международ­ном форуме по нанотехнологиям (Москва, 2008), всероссийской конферен­ции «Наноматериалы и технологии» (Улан-Удэ, 2008), 16th International Symposium «Nanostructures: Physics and Technology» (Vladivostok, 2008), еже­годных научных конференциях Бурятского государственного университета 2006-2009 гг., на XI Международной школе-семинаре по люминесценции и лазерной физике (Иркутск, 2008), международной научно-практической кон­ференции «Инновационные технологии в науке и образовании» (Улан-Удэ,
2. , всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Наноматериалы и технологии. Физика конденсированного состоя­ния. Физика и техника низкотемпературной плазмы» (Улан-Удэ, 2010), еже­годной научной конференции Восточно-Сибирского государственного тех­нологического университета (Улан-Удэ, 2010), международной научно­технической конференции «Нанотехнологии функциональных материалов» (Санкт-Петербург, 2010), XIV Международной тематической конференции по оптике жидких кристаллов (Yerevan, Armenia, 2011).

Публикации. По теме диссертации опубликована 41 работа (22 статьи в журналах, входящих в список ВАК РФ), 3 патента на изобретение, 1 патент на полезную модель, 27 тезисов докладов.

Личный вклад автора. Автору принадлежит формулировка целей и ме­тодологии проведенных исследований. Им обобщены данные и установлены взаимосвязи между условиями синтеза и физико-химическими характеристи­ками нанопорошков, разработан способ формирования композитных наноча­стиц: типа ядро-оболочка, полых наночастиц диоксида кремния, янус- подобных под воздействием электронного пучка, предложена модель образо­вания. Проведены расчеты теплопроводности, фрактальной размерности, ис­следования оптических свойств нанопорошков, обработаны и проанализиро­ваны данные, полученные методом просвечивающей, сканирующей элек­тронной микроскопии, РФА, ИК-спектроскопии. Автором в лаборатории фи­зики наносистем БГУ разработаны методики зондовой сканирующей микро­скопии, фрактального анализа по определению микротвердости, теплопро­водности, оптических, механических свойств нанодисперсных материалов и проведены соответствующие исследования. Автор лично усовершенствовал установку по определению короткоживущего наведенного поглощения в ближней ИК-области в Институте физики Латвийского университета, вне­дрив источник импульсного излучения в ее зондирующий тракт. В большин­стве статей и патентов является основным соавтором.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

На основе анализа литературных источников и сделанных в первой главе выводов проведены фундаментальные исследования использования электронных пучков для воздействия на вещество. Получены данные об об­разовании новых наноразмерных структур в сочетании с комплексным ис­следованием их физико-химических свойств и приложений в различных ком­позиционных материалах. По содержанию диссертационной работы можно сформулировать следующие выводы.

1. Развит метод испарения веществ мощным релятивистским пучком электронов с последующей конденсацией их паров в атмосфере различных газов, позволяющий проводить синтез различных типов наноразмерных по­рошков в контролируемых условиях, регулировать в широком диапазоне размеры, структуру и свойства поверхности наночастиц, получать в зависи­мости от типа вещества наноструктуры с уникальными физико-химическими свойствами, причем производительность процесса их получения сопоставима с производительностью ряда существующих методов. Для полученных ок­сидных, металлических и полупроводниковых наноразмерных структур с ис­пользованием широкого спектра аналитических методов получены данные о средних размерах наноструктур, величине удельной поверхности, распреде­лении по размерам, оптических свойствах коллоидных дисперсий, интенсив­ности фотолюминесценции, теплопроводности, диэлектрической проницае­мости и других параметрах.
2. Впервые получены композитные (или гетерогенные) наноразмерные порошки, состоящие из наночастиц типа «ядро-оболочка» *Cu@SiC>2, CuO@SiC>2, Ag@Si,* многооболочечных наночастиц, «янус»-подобных нано­частиц ***TaSi2@Si,*** «погремушечных» наноструктур - с объемом металличе­ского ядра существенно меньшим объема внутренней полости оболочки, по­лых наночастиц диоксида кремния.
3. Разработаны методы анализа тонкой структуры композитных наноча­стиц. С их помощью проанализированы возможные механизмы образования наночастиц, показано, что в процессе их получения существенное значение могут иметь сложные соотношения между температурами испарения- плавления, давлениями паров и параметрами поверхностного натяжения со­ставляющих их веществ. Получены данные о физико-химических свойствах композитных частиц: распределении по размерам, плазмонном резонансе, отражающих свойствах, удельной поверхности, устойчивости к окислению. Обнаружено, что композитные наночастицы Ag/Si уменьшают время и на­пряжение порога переключения в жидких кристаллах.
4. Разработаны процессы создания радиационных точечных дефектов в кристаллах галогенидов таллия при воздействии на них импульсным элек­тронным пучком. Спектрально-кинетическими методами исследования в кристаллах галогенидов таллия *TIBr, Т1С1,* а также в смешанных кристаллах *TIBr-TlCl* (КРС-6), *TIBr-TlJ* (КРС-5) впервые обнаружены собственные корот- коживущие (время жизни около 5 мкс при 100 К) точечные наноразмерные дефекты. Короткоживущие дефекты в галогенидах таллия, обуславливающие полосы поглощения в ближней ИК-области и в видимой области спектра, ве­роятно, являются первичной френкелевской парой, состоящей из точечных дефектов ***Tl2+V~*** и 77,°. Концентрация собственных короткоживущих дефектов через 100 нс после облучения составляет N>10 см‘ .
5. Создан метод расчета фрактальной размерности и, с использованием данных электронной просвечивающей микроскопии, проведены сравнитель­ные исследования структуры агломератов первичных наночастиц как в полу­ченных, так и в модельных наноразмерных порошках аморфного диоксида кремния с гидрофильной и с модифицированной - гидрофобной поверхно­стью. Установлено, что в зависимости от условий получения, величины удельной поверхности и структуры поверхности первичные сферические на­ночастицы объединяются в агломераты с фрактальной размерностью в диа­пазоне значений от 1,3 до 1,45.
6. Проведены исследования по использованию получаемых и модель­ных наноразмерных порошков в процессах создания широкого спектра кера­мических композиционных материалов. Найдено, в частности, что получен­ные путем спекания наноразмерного аморфного диоксида кремния при суще­ственно более низких, чем для макропорошков температурах стекловидные материалы прозрачны в видимом и ультрафиолетовом диапазоне. В результа­те комплексных исследований формообразования и спекания керамических образцов, составленных из различных комбинаций наноразмерных порошков оксида алюминия, оксида магния, диоксида кремния создан процесс получе­ния мелкозернистой (порядка нескольких микрон) плотной и высокопрочной керамики с микротвердостью до 16-18 ГПа, а в некоторых случаях и до 35 ГПа. По результатам анализа пространственного распределения компонентов методом атомно-силовой микроскопии зеренной и межзеренной структуры в сочетании с другими методами предложены объяснения существенного воз­растания прочностных параметров полученных керамических материалов.
7. В результате проведения дополнительных исследований установлено, что синтезированные с помощью электронных пучков наноразмерные струк­туры, а именно нанопорошки, могут найти применение при создании новых материалов с улучшенными физико-механическими свойствами, в частности, материалов для электронных устройств, кремнийорганических резин с регу­лируемыми значениями коэффициентов температурного расширения, лако­красочных материалов с высокой износостойкостью, высокоэффективных теплоизоляторов, высокопрочных бетонов.
8. В целом проведенные в настоящей работе исследования являются ос­новой перспективного направления, заключающегося в изучении процессов получения наноразмерных структур, в частности, наноразмерных порошков, при воздействии электронных пучков на вещество, в изучении и поиске пу­тей целенаправленного изменения свойств этих наноструктур, а также для создания новых веществ, которые могут найти применение в различных раз­делах современного материаловедения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гусев А. И. Эффекты нанокристаллического состояния в компакт­ных металлах и соединениях // УФН. 1998. Т. 168. №1. С. 55-83.
2. Пул Ч-мл., Оуэнс Ф. Нанотехнологии. М.: Техносфера. 2006. 336 с.
3. Морохов И. Д., Петинов В. И., Трусов JI. И., Петрунин В. Ф. Струк­тура и свойства малых металлических частиц // УФН. 1981. Т. 133. №4. С. 653-692.
4. Суздалев И. П. Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, на­ноструктур и наноматерилов. М.: КомКнига, 2006. 592 с.
5. Андриевский Р. А., Рагуля А. В. Наноструктурные материалы: учеб. пособие. М.: Академия, 2005.
6. Ряснянский А. И., Palpant В., Debrus S., Pal U., Степанов A. JI. Нели­нейно-оптические свойства наночастиц золота, диспергированных в различных оптически-прозрачных матрицах // ФТТ. 2009. Т. 51, №1. С. 52-56.
7. Ганеев Р. А., Ряснянский А. И., Степанов А. Л., Кодиров М. К., Ус­манов Т. // Оптика и спектроскопия. 2003. Т. 95, №6. С. 1034-1042.
8. Ганеев Р. А., Ряснянский А. И., Степанов А. Л., Усманов Т. Нели­нейное поглощение в диэлектрических слоях, содержащих наноча­стицы меди // ФТТ. 2003. Т. 45, вып. 7. С. 1292-1296.
9. Казакевич П. В., Воронов В. В., Симакин А. В., Шафеев Г. А. Обра­зование наночастиц меди и латуни при лазерной абляции в жидко­сти // Квантовая электроника. 2004. 34, №10. С. 951-956.
10. Чепок О. А. Прохождение электромагнитного сигнала по цепочке из наночастиц меди // Труды Одесского политехнического университе­та. 2009. Вып. 1(31). С. 143-147.
11. Климов В. В. Наноплазмоника. М.: Физматлит, 2009. 480 с.
12. Ершов Б. Г. Наночастицы металлов в водных растворах: электрон­ные, оптические и каталитические свойства // Рос. хим. журнал. 2001. Т. 15, №3. С. 20-30.
13. Camley R. Е., Stamps R. L. Magnetic Multilayers // J. Phys. Condens. Matter. 1993. 15. P. 3727.
14. Norman A. Luechinger, Evagelos K. Athanassiou and Wendelin J. Stark. Graphene-stabilized copper nanoparticles as an air-stable substitute for silver and gold in low-cost ink-jet printable electronics // Nanotechnolo­gy. 2008. V. 19, №44. 445201.
15. Wu N.Q., Su L. Z., Yuan M. Y., Liu Y. Y., Wu J. М., Li Z. Z. Prepara­tion and microstructure of nano-sized Cu particles by mechanochemical reaction, Transactions of nonferrous metals society of China. 1998. 8 (4): P. 610-612.
16. URL: [http://files.](http://files) lib, sfu-kras. ru/ebibl/umkd/103/u lectures, pdf)
17. Морохов И. Д., Трусов JI. И., Лаповок В. Н. Физические явления в . ультрадисперсних средах. М.: Энергоатомиздат, 1984. 224 с.
18. Физико-химия ультрадисперсних систем / под ред. И.Д. Морохова. -М.: Наука, 1987. 342 с.
19. Петров Ю. И. Кластеры и малые частицы. М.: Наука, 1986. 368 с.
20. Ramsey J. D. F., Avery R. G. Ultrafine oxide powders prepared by elec­tron beam evaporation // Journal of Materials Science. 1974. V. 9. P. 1681-1688.
21. Kato M. Preparation of ultrafine particles of refractory oxides by gas- evaporation method // JJAP. 1976. V. 15, №. 5. P. 757-760.
22. Fine silica. Patent of Great Britain №1211703. 1970.
23. Fadeev S. N., Golkovski M. G., Korchagin A. I., Kuksanov N. K., La- vrukhin A. V., Petrov S. E., Salimov R. A., Vaisman A. F. Radiat // Phys. Chem. 2000. V. 57. P. 653.
24. Бардаханов С. П., Корчагин А. И., Куксанов Н. К., Лаврухин А. В., Салимов Р. А., Фадеев С. Н., Черепков В. В. // ДАН. 2006. Т. 409, №3. С. 320-323.
25. Лукашов В. П., Бардаханов С. П., Салимов Р. А., Корчагин А. И., Фадеев С. Н., Лаврухин А. В. Способ получения ультрадисперсной двуокиси кремния, устройство для его осуществления и ультрадис­персная двуокись кремния // Патент РФ №2067077,1994.
26. Bardakhanov S.P. The formation of fine silica powder after vaporization of quartz // Proceedings of the 5th International Conference on Computer Aided Design of Advanced Materials and Technologies (CADAMT'97), P. 88-89, Baikal Lake, Russia. August, 1997.
27. Bardakhanov S.P., Korchagin A.I., Kuksanov N.K., Lavrukhin A.V., Sa- limov R.A., Fadeev S.N., Cherepkov V.V. Nanopowder Production based on Technology of Solid Raw Substances Evaporation by Electron Beam Accelerator//Elsevier, Mater. Sci. Eng. B, 132 (2006) 204-208.
28. Bardakhanov S.P., Korchagin A.I., Kuksanov N.K., Lavrukhin A.V., Sa- limov R.A., Fadeev S.N. and Cherepkov V.V. Use of an electron accele­rator to produce nanopowders by evaporation of initial materials at at­mospheric pressure // Springer, Russian Physics Journal. Vol. 50, No. 2,
29. P. 120-124.
30. Bardakhanov S.P., Vasiljeva I.V., Kuksanov N.K., Mjakin S.V. Surface Functionality Features of Nanosized Silica Obtained by Electron Beam Evaporation at Ambient Pressure // Advances in Materials Science and Engineering, Volume 2010 (2010), Article ID 241695, 5 pages, doi:10. 1155/2010/241695.
31. URL: [http://nuclphys.sinp.msu.ru/partmat/pm02.htm](http://nuclphvs.sinp.msu.ru/partmat/pm02.htm)
32. Мухин K.H. Экспериментальная ядерная физика. М.: Энергоатомиз- дат, 1993. Т. 1.408 с.
33. Ахиезер А. И., Берестецкий В. Б. Квантовая электродинамика. 3 изд. М., 1969. 624 с.
34. Байер В. Н., Катков В. М., Фадин В. С. Излучение релятивистских электронов. М., 1973. 374 с.
35. Соколов А. А., Тернов И. М. Релятивистский электрон. М., 1974. 304 с.
36. Петрунин В. Ф. О причинах особенностей ультрадисперсного (нано-) состояния // Физикохимия ультрадисперсних (нано-) систем: сб. тр. 9-й Всерос. конф. Ижевск, 2010.
37. Петрунин В. Ф. О причинах специфики ультрадисперсных (наност­руктурных) материалов // Труды науч. сессии НИЯУ МИФИ-2010. М.: НИЯУ МИФИ, 2010. С. 187-191.
38. Рыжонков Д. И., Левина В. В., Дзидзигури Э. Л. Наноматериалы. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2008. 365 с.
39. Чуистов К. В., Трубачев В. Г., Перекос А. Е., Лукьянов В. С., Коваль

В. Д. Структура и свойства высоко дисперсных частиц, полученных при сверхвысоких скоростях охлаждения // Металлофизика. 1988.

Т. 10, №1. С. 118-120.

1. Wang X., Xu X., Choi S. U. S. Thermal conductivity of nanoparticle- fluid mixture // J. Thermophys. Heat Trans. 1999. 13(4). 474-480.
2. Рудяк В. Я. Статистическая аэрогидромеханика гомогенных и гете­рогенных сред. Кинетическая теория. Новосибирск: НГАСУ, 2004. Т. 1.320 с.
3. Fricke J., Schwab Н. Heat and Moisture Transfer in Vacuum Insulation Pa­

nels with Nanostructured Silica Kernels. Topical Meeting of the European Ceramic Society "Nanoparticles, Nanostructures & Nanocomposites", Ju­ly 5-7, 2004, Saint-Petersburg, Russia. Book of Abstracts. P.5.

1. Fricke J., Ebert H.P., Weinlader H., Wiener М., Geisler М., Vidi S. // Pro­

ceedings of 30 th Thermal Condictivity Conference. 2009. Pittsburg, P. 4.

1. URL: <http://www.aerosil.com/product/aerosil/en/Pages/default.aspx>
2. URL: <http://www.aerosil.com/lpacontentdb/page/literature/show?lang=en>
3. Зимон А. Коллоидная химия. М.: Агар, 2007. 344 с.
4. Екимов А.И., Онущенко А.А. // Письма в ЖЭТФ. 1983. 34. 363.
5. Kovalev D., Heckler Н., Ben-Chorin et al. Phys. Rev. Lett. 81. 2803

(1988).

1. Ефремов М. Д., Болотов В. В., Володин В. А. и др. Образование на­нокристаллов кремния с выделенной ориентацией (110) в аморфных пленках Si:H на стеклянных подложках при наносекундных воздейст­виях ультрафиолетового излучения // ФТП. 2002. Т. 36, вып. 1. С. 109-116.
2. Shimuzu-Iwayama Т.Т., Fujita, Nakao S. et al., J. Appl. Phys. 75, 7779 (1994).
3. Качурин Г.А., Тысченко И.Е., Скорупа В. и др. Физика и техника по­лупроводников. 1997. 31, 730.
4. Burdov V. A. Dependence of the Optical Gap of Si Quantum Dots on the Dot Size // Semiconductors. 2002. Vol. 36. №. 10. P. 1154.
5. Мандельброт Б. Б. Фракталы и хаос. Множество Мандельброта и дру­гие чудеса. - СПб.: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2009. 392 с.
6. Клеман JL, Лаврентович О. Д. Основы физики неупорядоченных сред: жидкие кристаллы, фрактальные структуры, полимеры и биологиче­ские объекты. М.: Физматлит, 2007. 608 с.
7. Feder J. Fractals, Plenum Press. NY and London. 1988. 283 p.
8. Niklasson G. A., Torebring A., Larsson C. et al. // Phys. Rev. Lett. 1988. V. 60, P. 1375.
9. Лушников А. А., Пахомов А. В., Черняева Г. A. // ДАН СССР. 1987. Т. 192. С. 86.
10. Forrest S. R., Witter J. // J. Phys. A. 1979. V. 12. P. L. 109.
11. Gouet J.-F. Physics and Fractals Structures. Springre-Verlag. Berlin, 1996. 234 p.
12. Оленин А. Ю., Лисичкин Г. В. Получение, динамика структуры объе­ма и поверхности металлических наночастиц в конденсированных средах // Успехи химии. 2007. Т. 80, вып. 7.
13. Soderlund J., Kiss L. В., Niklasson G. A., Grankvist G. G. Phys. Rev. Lett. 1998 V. 80. P. 2386.
14. Grankvist G. G., Buhrman R. A. J. Appl. Phys. 1976. V. 47. P. 2200.
15. Колмогоров A. H. О логарифмически-нормальном законе распределе­ния размеров частиц при дроблении // Доклады АН СССР. 1941. Т. XXXI, № 2. С. 99.
16. Гусев А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. М. : Физматлит, 2007. 416 с.
17. Фридрихсберг Д. А. Курс коллоидной химии. Л.: Химия, 1984. 368 с.
18. Champion Y. and Fecht H.-J. Nano-Architectured and Nanostructured Ma­terials, Weinheim, Wiley-VCH, 2004. P. 153.
19. Волков H. Б., Фенько E. П., Яловец А. П. Моделирование генерации ультрадисперсных частиц при облучении металлов мощным элек­тронным пучком // ЖТФ. 2010. Т. 80, вып. 10. С. 1-11.
20. Фенько Е. П. Генерация ультрадисперсных частиц при облучении ме­таллической мишени мощным электронным пучком: автореф. дис. канд. физ.-мат. наук. Екатеринбург, 2010.
21. Котов Ю.А., Багазеев А.В., Медведев А.И., Мурзакаев А.М., Демина Т.М., Штольц А.К. Характеристики нанопорошков оксида алюминия, полученных методом электрического взрыва проволоки. // Россий­ские нанотехнологии. 2007. Т. 2. №7-8. С. 109-115.
22. Номоев А. В., Бардаханов С. П., Базарова Д. Ж. Синтез композитных медьсодержащих наночастиц //Известия вузов. Физика. 2009. №12/3. С. 228-232.
23. Черепанов А. Н., Афонин Ю. В., Маликов А. Г., Оришич А. М. О применении нанопорошков тугоплавких соединений при лазерной сварке и обработке металлов и сплавов // Тяжелое машиностроение.
24. № 4/2. С. 25, 26.
25. Gich М., Shafranovsky Е. A. Roig A. Slawska-Waniewska and К. Racka LI. Casas Yu. I. Petrov E. Molins M. F. Thomas. Aerosol nanoparticles in the Fei\_xCrx system: Room-temperature stabilization of the a phase and o\a-phase transformation // J. of Applied Physics. 2005. V. 98. P. 024303.
26. Duhamel C., Champion Y., Tence M. and Walls M. Synthesis of con- trolled-chemistry ultrflne FexNi(i\_X) ferromagnetic powders // J. Alloys and Coumpounds. 393/1-2, 204-210 (2005).
27. Чуистов К. В., Щерба А. А., Цой А. Д., Ефимова Т. В., Залуцкий В. П., Перекос А. Е., Полотнюк В. В. Фазовый состав и магнитные свойства электроэрозионных порошков сплавов на основе переходных метал­лов // Металлофизика. 1992. Т. 14, №7. С. 47-52.
28. Синтез наноразмерных материалов при воздействии мощных потоков энергии на вещество / А. В. Булгаков, Н. М. Булгакова, И. М. Бураков и др. Новосибирск: Институт теплофизики СО РАН, 2009. 462 с.
29. Мальцев В. А., Нерушев О. А., Новопашин С. А., Сахапов С. 3., Смовж Д. В. Синтез металлических наночастиц на углеродной мат­рице // Российские нанотехнологии. 2007. Т. 2. №5-6. С. 85-89.
30. Chen Y., She Н., Luo X., Yue G.H., Mi W.B., Bai H.L., Peng D.L. Chemi­cal synthesis of monodisperse Fe-Ni nanoparticles via a diffusion-based approach // J. Nanosci Nanotechnol. 2010. May 10(5):3053-9.
31. Фольмер М. Кинетика образования новой фазы. М.: Наука, 1986.
32. Скрипов В. П., Коверда В. П. Спонтанная кристаллизация переохла­жденных жидкостей. М., 1984.
33. Bankoff S. J. // Trans. ASME. 1957. V. 79. P. 53.
34. Трусов JI. И., Петрунин В. Ф., Кац Е. И. Спинодальный распад в ультрадисперсных частицах // Физика металлов и металловедение. 1979. Т. 47, вып. 6. С. 1229-1232.
35. Дворядкина Г. К., Иванов А. С., Борисов С. А. Физика металлов и ме­талловедение. 1980. Т. 50. С. 633.
36. Иванов А. С., Борисов С. А. // Физика металлов и металловедение. 1981. Т. 52. С. 194.
37. Фенелонов В. Б. Введение в физическую химию формирования суп- рамолекулярной структуры адсорбентов и катализаторов. Новоси­бирск: Изд-во СО РАН, 2004. 442 с.
38. Special issue on modeling and simulation of surface segregation in alloys / ed. by P. Wynblatt. Comput. Mater. Sci. 15, 119 (1999).
39. Baletto F., Mottet C. and Ferrando R. Growth simulations of silver shells on copper and palladium nanoclusters // PHYSICAL REVIEW В 66, 155420(2002).
40. Euge'ne J., Aufray B. and Cabane F. // Surf. Sci. 241,1 (1991).
41. Liu Y. and Wynblatt P. // Surf. Sci. 290, 3359 (1993); 310, 27 (1994).
42. Ouannasser S., Wille L. T. and Dreysse H. // Phys. Rev. В 55, 14 245 (1997).
43. Sao-Joao S., Giorgio S., Henry C. R. and Penisson J. M. Proceedings of ICEM, 2002.
44. Jose, Deepa Jagirdar, Balaji R. Ag@Pd core-shell nanoparticles // Indian Journal of Chemistry -Section A (IJC-A) V. 50A. 2011. P. 1308-1317.
45. Portales H., Saviot L., Duval E., Gaudry М., Cottancin E., Pellarin М., Lerme J. and Broyer M. // Phys. Rev. В 65, 165 422 (2002).
46. Mizukoshi Y., Fujimoto Т., Nagata Y., Oshima R. and Maeda Y. // J. Phys. Chem. 104, 6028. 2000.
47. Ropo М., Kokko K. Segregation at the PdAg(lll) surface: Electronic structure calculations // Physical Review В 71, 045411 (2005).
48. Vitos, Skriver H. L., Johansson B. and Kollar J. Comput. Mater. Sci. 18, 24 (2000). 10 L. Vitos, Phys. Rev. В 64, 014107 (2001).
49. Andersen О. K., Jepsen O. and Krier G. // Lectures on Methods of Elec­tronic Structure Calculations / ed. by V. Kumar, О. K. Andersen, and A. Mookerjee sWorld Scientific, Singapore, 1994. P. 63-124.
50. Geon Dae Moon, Sungwook Ко, Yuho Min, Jie Zeng, Younan Xia, Un- yong Jeong. Chemical transformations of nanostructured materials // Nano Today 2011(6). P. 186-203.
51. Tisza M. Physical Metallurgy for Engineers, ASM International and

Freund Publishing House, 2002.

1. Takahashi Т., Yamamoto O. J. Electrochem. Soc. 117 (1970)
2. Karakaya I., Thompson W. T. J. Phase Equilibr. 12 (1991) 56.
3. Deore S., Xu F., Navrotsky A. Am. Mineral. 93 (2008) 779.
4. Yadong Yin, Robert M. Rioux, Can K. Erdonmez, Steven Hughes, Gabor A. Somorjai and A. Paul Alivisatos. Formation of Hollow Nanocrystals Through the Nanoscale Kirkendall Effect // Science. 2004: Vol. 304. №5671. P. 711-714.
5. Cabot A., Smith R.K., Yin Y., Zheng H., Reinhard B.M., Liu H., Alivisatos A.P. Sulfidation of cadmium at the nanoscale //ACS Na­no. 2008. №2(7). P. 1452-8.
6. Двойные и многокомпонентные системы на основе меди / под ред. С.В. Шухардина. М.: Наука, 1979.
7. Диаграммы состояния двойных металлических систем / под ред. Н.П. Лякишева // Машиностроение. 1996-2000.
8. Barin I. Thermochemical Data of Pure Substances, VCH Publishers, NY, 1993.
9. Shujuan Zhuo, Mingwang Shao, Liang Cheng, Ronghui Que, Shujuan Zhuo, Dorthy Duo Duo Ma, and Shuit-Tong Lee. Surface-Enchanced Flu­orescence of Praseodymium ions (Pr ) on Silver/Silicon Nanostructure //Appl. Phys. Lett. 2010. V. 96,1. 10. P. 103108.
10. Shu-Juan Zhuo, Ming-Wang Shao, Liang Cheng, Rong-Hui Que, Dorthy Duo Duo Ma, and Shuit-Tong Lee. Silver/silicon nanostructure for sur- face-enchanced fluorescence of Ln3+(Ln/Nd, Ho and Er) //J. Appl. Phys. - 2010. 108,1. 3. P. 034305-0343405-4.
11. Sotiriou G. А., Ніг A. М., Lozach P.-Y., Teleki A., Krumeich F. and Soti- ris E. Pratsinis. Hybrid, Silica-Coated, Janus-Like Plasmonic-Magnetic Nanoparticles // Chem. Mater. 2011. 23(7). P. 1985-1992.
12. Hao Chen. Structure and phase transformation of nanocrystalline and amorphous alloy thin films .// Dissertation. DAI-B 67/11, p. 6668, May
13. University of Illinoice at Urbana-Champaign. Publication Number 324814.
14. Ravindra N. М., Jin L., Ivanov D., Menta V. R., Dieng L. М., Popov G., Gokce О. H., Grow J., Fiory A. T. Electrical and Coompositional Proper­ties of TaSi2 Films *I I* J. of Electronic Materials. - 2002. V. 31. N. 10. P.1074 -1079.
15. Ко I. Y., Park J. H., Nam K. -S., Shon I. J. Pulsed current activated com­bustion synthesis and consolidation of nanostructured TaSi2 // J. of Ce­ramic Reseacrh. -2010. V. 11, N. 1, P. 69-73.
16. Maex K., Baklanov M. R., Shamiryan D., Iacopi F., Brongersma S. H., Yanovitskaya Z. S. Low dielectric constant materials for microelectronics // Journal of Applied Physics. - 2003. Vol. 93, no. II. P. 8793-8841.
17. Yi Du, Lunet E. Luna, Wui Siew Tan, RubnerM. F. and Cohen R. E. // Hollow Silica Nanoparticles in UV-Visible Antireflection Coatings for Poly(methyl methacrylate) Substrates. ACS Nano. 2010. 4 (7). P.4308- 4316.
18. Steven Armes, Jian-Jun Yuan. New Core Shell Silica Nanoparticle Copo­lymers Produced by Biomineralization of Tetramethyl Orthosilicate (TMOS) // U. S. Patent Application 20100009001.
19. URL: <http://www>. nittetsukou. со. ip/rdd-e/tech/tech silinax. html
20. Ni K. Y., Yang J., Kulinic S. A., Sun J. and Du X. W. Hollow Nanopar­ticles of Metal Oxides and Sulfides: Fast Preparation via Laser Ablation in Liquid // Langmuir, 2010, 26 (22), pp. 16652-16657.
21. Young Kyong Jo and Sy-Bor. Direct generation of core/shell nanopar­ticles from double-pulse laser ablation in a background gas // J. Phys. D: Appl. Phys. 2011 V. 44 N30 P. 305301.
22. Murata Ts., Ishizawa H. and Tanaka A. High-performance antireflective coatings with a porous nanoparticle layer for visible wavelengths // 20 March 2011 / Vol. 50, No. 9 / Applied Optics. P. 403-407.
23. Carbone L., Cozzoli P. D. Colloidal heterostructured nanocrystals: Syn­thesis and growth mechanisms // Nano Today. 2010. V. 5 P. 449-493.
24. URL: <http://nano.msu.ru/files/conferences/school-2010-04/>GoodilinEA. Edf
25. Ряснянский А. И., Palpant B., Debrus S., Pal U., Степанов A. JI. Нели­нейно-оптические свойства наночастиц золота, диспергированных в различных оптически-прозрачных матрицах // ФТТ. 2009. Т. 51, №1. С. 52-56.
26. Степанов А. Л., Хайбуллин И. Б., Таунсенд П., Холе Д., Бухараев

А.А. Способ получения нелинейно-оптического материала. Патент РФ № 2156490 от 20.09.2000.

1. Ганеев Р. А., Ряснянский А. И., Степанов A. JL, Кодиров М. К., Ус­манов Т. // Оптика и спектроскопия. 2003. Т. 95, №6. С. 1034-1042.
2. Ганеев Р. А., Ряснянский А. И., Степанов A. JL, Усманов Т. Нели­нейное поглощение в диэлектрических слоях, содержащих наноча­стицы меди // ФТТ. 2003. Т. 45, вып. 7. С. 1292-1296.
3. Zhou Xinzhang, Hulbert Dustin М., Kuntz Joshua D., Sadangi Rajendra K., Shukla Vijay, Kear Bernard H., Mukherjee Amiya K. Superplasticity of zirconia-alumina-spinel nanoceramic composite by spark plasma sinter­ing of plasma sprayed powders // Materials Science and Engineering A
4. 2005. P. 353-359.
5. Физикохимия ультрадисперсных систем / ред. В. Ф. Петрунина: тез. V Всерос. конф. (9-13 октября 2000 г. Екатеринбург) // МИФИ. 2000. 420 с.
6. Nanoparticles, Nanostructures & Nanocomposites, Topical meeting of the European Ceramics Society, July 5-7, 2004, St. Peterburg. Book of Abstracts // VVM. St. Peterburg, 2004. 216p.
7. Болдин М. С. Электроимпульсное плазменное спекание керамики на основе А12Оз: электронное метод, пособие. ННГУ. 2011. 47 с. URL: www. unn. ru/pages/e-librarv/methodmaterial/2010/134. pdf
8. Саванина H. H., Русин М. Ю., Горчакова JI. И., Саломатина JI. И. Способ изготовления изделий из корундовой керамики. Патент РФ №2379257 СІ. МПК С04 35/10. Опубликовано 20.01.2010. Бюл. №2.
9. Zhang P., Gao L., Peng Н., Ren X., Zhang D. // Advanced Material Re­search. 2010. Vol. 92. P. 65-71.
10. Shorohov М., Grigorjeva L., Miller D. Optical properties and spectrome- tric performance of TIBr detector crystals. Nucl. Instrum. Methods in Phys. Res. A 563, 1, (2006), 78-81.
11. Shorohov М., Muktepavela F., Grigorjeva L., Maniks J., Millers D. Sur­face processing of TIBr single crystals used for radiation detectors, Nucl. lustrum. Methods in Phys. Res. A 607, 1, (2009), 120-122.
12. Yu S., Zhou D., Gong S., Zheng Z., Hu Y., Wang C., Quan L. Purifica­tion and optical properties of TIBr crystals. Nucl. Instrum. Methods in Phys. Res. A, 602, 2, (2009), 484.
13. Lisitsky I. S., Kuznetsov M. S., Sultanova Y. A. Optical characteristics of TIBr crystals grown in various ambient. Nucl. Instrum. Methods in Phys. Res. A, 591, 1,(2008), 213.
14. Kostamo P., Shorohov М., Gostilo V., Sipila H., Kozlov V., Lisitsky I., Kuznetsov М., Lankinen A., Danilewsky A.N., Lipsanen H., Leskela M. Characterization of TIBr for X-ray and y-ray detector applications. Nucl. Instrum. Methods in Phys. Res. A, 607, 1, (2009), 129-131.
15. URL: [http://granat-e.](http://granat-e) ru/sorbi-m. html
16. URL: www. ntmdt. ru/device/solver-next
17. Иверонова В. И., Ревкевич Г. П. Теория рассеяния рентгеновских лу­чей. М.: Изд-во МГУ, 1978.
18. Жданов Г.С., Илюшин Ф.С., Никитина С.В., Дифракционный и резо­нансный структурный анализ. Наука: М. 1980 г. Часть I.
19. Бардаханов С. П., Ким А. В., Лысенко В. И., Номоев А. В., Труфанов Д. Ю., Буянтуев М. Д., Базарова Д. Ж. Керамика из нанопорошков и её свойства // Нанотехнологии и наноматериалы. Улан-Удэ: Изд-во БГУ, 2007. С. 22-40.
20. Nomoev А. V., Buyantuev М. D., Bazarova D. Zh., Trufanov D. Yu., Bardakhanov S. P., Lysenko V. I. The producing of nanopowders and ce­ramic preparation // Functional materials and nanotechnologies. Int. Baltic Sea Reg. Conf., Inst, of Solid State Physics, University of Latvia, April 1­4,2008: Book of abstracts. Riga, 2008. P. 54.
21. Свергун Д. И., Фейгин Л. А. Рентгеновское и нейтронное малоугло­вое рассеяние. М.: Мир, 1986. С. 68-72.
22. Викулина Л. С., Номоев А. В. Фрактальный анализ нанодисперсных порошков и керамики // Актуальные проблемы современной науки и образования. Естественные науки: материалы всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Уфа: РИЦ БашГУ, 2010. Т. I. С. 213­

217.

1. Номоев А. В. Сверхмикротвердость керамики на основе нанодис­персных порошков оксида алюминия с добавками порошков оксидов

магния и кремния // Письма в ЖТФ. 2010. Т. 36, вып. 21. С. 46-53.

1. Vasconcelos D. С. L., Campos W. R., Vasconcelos V., Vasconcelos W. L. Influence of process parameters on the morphological evolution and frac­tal dimension of sol-gel colloidal silica particles // Materials Science and Engineering. A334. 2002. P. 53-58.
2. Гулд X., Тобочник Я. Компьютерное моделирование в физике. М. : Мир, 1990. Ч. 2. С. 103-118.
3. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. М.; Ижевск: ИИКИ, НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2010. - 656 с.
4. Свергун Д. И., Волков В. В., Козин М. Б. Автоматическое определе­ние формы частиц в малоугловом рассеянии малодисперсными сис­темами // Поверхность. 1999. № 9. С. 3-6.
5. Малоугловая рентгеновская дифрактометрия: учеб.-метод. пособие к лаб. практикуму "Наноструктурный анализ веществ и материалов" / Ф. В. Тузиков [и др. ].; Новосиб. гос. ун-т, физ. фак-т, кафедра общей физики. Новосибирск: Изд-во НГУ, 2009. 48 с.
6. Schafer D. W., Martin J. Е., Wiltzuis P. Fractal geometry of colloidal ag­gregates // Phys. Rev. Lett. 1984. V. 52. P. 2371-2374.
7. Саврасова H. А. Фрактальный анализ наноструктур аморфных пле­нок на основе данных дифракции электронов и рентгеновских лучей: дис. канд. физ.-мат. наук. Воронеж: ВГУ, 2000. 133с. (<http://www>. dis- sercat. com/content/fraktalnvi-analiz-nanostruktur-amorfnykh-plenok-na- osnove-dannykh-difraktsii-elektronov-i-re)
8. Бардаханов С. П., Лысенко В. И., Номоев А. В., Труфанов Д. Ю., Фо­кин А. В. Получение и свойства нанопорошка закиси меди // Вопро­сы материаловедения. 2009. №4(60). С. 48-52.
9. Бардаханов С. П., Володин В. А., Ефремов В. Д., Черепков В. В., Фа­деев С. Н., Корчагин А. И., Марин Д. В., Голковский М. Г., Танашев Ю. Ю., Лысенко В. И., Номоев А. В., Буянтуев М. Д., Санга Д. Син­тез нанопорошков кремния // Нанотехнологии и наноматериалы. Улан-Удэ: Изд-во БГУ, 2007. С. 11-21.
10. Ильин А. П., Громов А. А. Горение алюминия и бора в сверхтонком состоянии. Томск: Изд-во Томск, ун-та. 2002. 154 с.
11. Пасынков В. В., Чиркин Л. К., Шинков А. Д. Полупроводниковые

приборы: учеб. пособие. М., 2001. 480 с.

1. Бардаханов С. П., Володин В. А., Ефремов М. Д., Черепков В. В., Фадеев С. Н., Корчагин А. И., Марин Д. В., Голковский М. Г., Тана- шев Ю. Ю., Лысенко В. И., Номоев А. В., Буянтуев М. Д., Санга Д. Синтез нанопорошков кремния // Нанотехнологии и наноматериалы. Улан-Удэ: Изд-во БГУ, 2007. С. 11-21.
2. Ефремов М. Д., Володин В. А., Марин Д. В. и др. Видимая люминес­ценция нанопорошков кремния, созданных испарением кремния мощным электронным пучком // Письма в ЖЭТФ. 2004. Т. 80, вып. 8. С. 619-622.
3. Ефремов М. Д., Аржанникова С. А., Володин В. А., Камаев Г. Н., Марин Д. В. Нанометровые кластеры и нанокристаллы кремния // Вестник НГУ. Сер.: Физика. 2007. Т. 2, вып. 2. С. 51-60.
4. Ряснянский А. И., Palpant В., Debrus S., Pal U., Степанов А. Л. Нели­нейно-оптические свойства наночастиц золота, диспергированных в различных оптически-прозрачных матрицах // ФТТ. 2009. Т. 51, №1.

С. 52-56.

1. Степанов А. Л., Хайбуллин И. Б., Таунсенд П., Холе Д., Бухараев А.А. Способ получения нелинейно-оптического материала. Патент РФ № 2156490 от 20. 09. 2000.
2. Номоев А.В. Модели дефектов и механизмов их образования в гало­генидах таллия / Номоев А.В. // Вестник БГУ. Сер.9. Физика и тех­ника. - 2005. - Вып.З. - С. 96-98.
3. Номоев А.В. Подпороговый механизм создания радиационных де­фектов в твердых телах/ Номоев А.В. // Вестник БГУ. Сер.9. Физика и техника. — 2005. - Вып.З. - С.100-103.
4. Казакевич П. В., Воронов В. В., Симакин А. В., Шафеев Г. А. Обра­зование наночастиц меди и латуни при лазерной абляции в жидкости //Квантоваяэлектроника. 2004. 34, №10. С. 951-956.
5. Чепок О. А. Прохождение электромагнитного сигнала по цепочке из наночастиц меди // Труды Одесского политехнического университе­та. 2009. Вып. 1(31). С. 143-147.
6. Климов В. В. Наноплазмоника. М.: Физматлит, 2009. 480 с.
7. Ершов Б. Г. Наночастицы металлов в водных растворах: электрон­ные, оптические и каталитические свойства // Рос. хим. журнал. 2001. Т. 15. №3. С. 20-30.
8. Camley R. Е., Stamps R. L. Magnetic Multilayers // J. Phys. Condens.

Matter. 1993. 15. P. 3727.

»

1. Norman A Luechinger, Evagelos К Athanassiou and Wendelin J Stark. Graphene-stabilized copper nanoparticles as an air-stable substitute for silver and gold in low-cost ink-jet printable electronics // Nanotechnology.
2. V. 19, №44. 445201.
3. Temuujin J., Bardkhanov S., Nomoev A., Minjigmaa A., Dugersuren G. Preparation of tailored structure copper and silicon/copper powders by a gas evaporation-condensation method // Bull. Mater. Sci. 2009. V. 32, N5. P. 1-5.
4. Патент №2412784 (13) C2 RU (11) Способ получения композитных медьсодержащих нанопорошков / Номоев А. В., Бардаханов С. П.

2009.03.02.

1. Номоев А. В., Базарова Д. Ж., Бардаханов С. П. Синтез и исследова­ние медьсодержащих нанопорошков // Известия вузов. Сер.: Физика.
2. №12/3. С. 228-232.
3. Бохонов Б. Б., Корчагин М. А. Образование наноразмерных частиц типа «ядро-оболочка» при низкотемпературном обжиге механически активированных композиций // НАНО 2007: Вторая всерос. конф. по наноматериалам (13-16 марта 2007 г.). Новосибирск, 2007. С. 268.
4. Wu N.Q., Su L. Z., Yuan M. Y., Liu Y. Y., Wu J. М., Li Z. Z. Preparation and microstructure of nano-sized Cu particles by mechanochemical reac­tion, Transactions of nonferrous metals society of China. 1998. 8 (4): P.610-612.
5. Номоев A.B. Композитные наноразмерные структуры. - Улан-Удэ: Издательство БГУ, 2012. - 136 с.
6. McCormack J. М., Myers J. R., Saxer R. К. Vapour Pressure of Liqiud Copper// J. Chem. Eng. Data. - 1965. 10 (4). P. 319-321.
7. Stull D. in American Institute of Physics Handbook, Third Edition, Gray,
8. E., Ed., McGraw Hill, NY, 1972.
9. Hultgren R., Desai P. D., Hawkins D. Т., Gleiser М., Kelley К. K. and Wagman D. D. Selected Values of Thermodynamic Properties of the

Elements, American Society for Metals, Metals Park, OH, 1973.

1. TRCVP, Vapor Pressure Database, Version 2. 2P, Thermodynamic Re­search Center, Texas A&M University, College Station, TX.
2. Barin I. Thermochemical Data of Pure Substances, VCH Publishers, N.Y., 1993.
3. Ohse R. W. Handbook of Thermodynamic and Transport Properties of Alkali Metals, Blackwell Scientific Publications. Oxford, 1994.
4. URL :h[ttp ://www.powerstream.com/vapor-pressure .htm](http://www.powerstream.com/vapor-pressure.htm)
5. Двойные и многокомпонентные системы на основе меди / под ред. С.В. Шухардина. М.: Наука, 1979.
6. Диаграммы состояния двойных металлических систем / под ред. Н.П. Лякишева // Машиностроение. 1996-2000.
7. Трусов Б. Г. Программная система TERRA для моделирования фазо­вых и химических равновесий // Труды XIV Междунар. конф. по хим. термодинамике. СПб., 2002.
8. Рид Р., Праусниц Дж., Шервуд Т. Свойства газов и жидкостей. JL: Химия, 1982. 592 с.
9. Sarathi R., Murai К., Kobayashi R., Suematsu H., Jiang W. and Yatsui K. Production and characterization of nano copper powder using pulsed power technique, Synthesis and Reactivity in Inorganic, Metal-Organic and Nano-Metal Chemistry, 36:127-130,2006.
10. Салтыков H. С., Ховив А. М. Взаимопроникновение железа и меди в тонких пленках и их фазовый состав при последовательном напыле­нии // Вестник Воронеж, гос. ун-та. Конденсированные среды и межфазные границы. 2010. Т. 12, №1. С. 61-65.
11. Бардаханов С. П., Корчагин А. И., Куксанов Н. К., Лаврухин А. В., Салимов Р. А., Фадеев С. Н., Черепков В. В. Использование ускори­теля электронов для получения нанопорошков испарением исходных веществ при атмосферном давлении // Известия вузов. Физика. 2007. Т. 50. № 2. С. 22-26.
12. Champion Y. Nanomaterials and Nanochemistry, Volume. ISBN 978-3­540-72992-1. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007. P. 395.
13. Номоев А. В., Бардаханов С. П., Чакин В.В. Синтез и свойства нано­частиц третьего поколения // Фундаментальные основы МЭМС - и

нанотехнологий: Тезисы докладов 3 Всероссийского семинара. Но­восибирск: НГАСУ, 2011. С. 109-110.

1. Номоев А. В., Бардаханов С. П. Синтез, строение наночастиц ме­талл/полупроводник Ag/Si, полученных методом испарения- конденсации // Письма в ЖТФ. 2012. Т.38, вып.8. С.46-54. URL: [http://ioumals.ioffe.ru/pitf/2012/08/nage-46.html.ru](http://iournals.ioffe.ru/pitfy2012/08/page-46.html.ru) (дата обращения

26.01.2012).

1. Иванов А. С., Борисов С. А. Поверхностная сегрегация и концентра­ционные неоднородности в мелких сферических частицах // Поверх­ность. 1982. №10. С. 140-145.
2. Fima P., Sobczak N. Surface tension and density of liquid Ag-Cu alloys // [http://paginas.fe.up.pt/~tofa201O/Apresentacoes T](http://paginas.fe.up.pt/~tofa201O/Apresentacoes)QFA2010/Q54Sur face%20tension%20and%20density%20of%201iquid%20Ag Cu%20alloy s. pdf
3. Schmitz J., Brillo J., Agry I., Schmid-Fetzer R. Surface tension of liquid Al-Cu binary alloys // Int. J. Mat. Res. 2009. 100. 11. P. 1529-1535.
4. Nakanishi H., Nakazato K. and Terashima K. Surface Tension Variation of Molten Silicon Measured by Ring Tensiometry Technique and Related Temperature and Impurity Dependence //Jpn. J. Appl. Phys. - 2000. V. 39. P. 6487-6492.
5. Фенелонов В. Б. Введение в физическую химию формирования суп- рамолекулярной структуры адсорбентов и катализаторов. Новоси­бирск: Изд-во СО РАН, 2004. 442 с.
6. Задумкин С. Н. Приближенный расчет поверхностного натяжения металлов // Доклады АН СССР. 1957. Т.1. 112, № 3. С. 453-456.
7. Рыжонков Д. И., Дзидзигури Э. Д., Левина В. В. Наноматериалы. Би­ном. Лаборатория знаний. 2010. 365 с.
8. Волков Н. Б., Фенько Е. Л., Яловец А. П. Моделирование генерации ультрадисперсных частиц при облучении металлической мишени мощным электрическим пучком // Известия вузов. Физика. 2009. №8/2. С. 489-492.
9. Федотов А. Ю. Математическое моделирование процессов формиро­вания композиционных наночастиц в газовой среде: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Ижевск, 2008. 19 с.
10. Суздалев И. П. Нанотехнологии: физикохимия кластеров, нанострук­тур и наноматериалов. М.: КомКнига, 2006. 592 с.
11. Shujuan Zhuo, Mingwang Shao, Liang Cheng, Ronghui Que, Shujuan Zhuo, Dorthy Duo Duo Ma, and Shuit-Tong Lee. Surface-Enchanced Flu­orescence of Praseodymium ions (Pr3+) on Silver /Silicon Nanostructure //Appl. Phys. Lett. - 2010. V. 96,1. 10. P. 103108.
12. Shu-Juan Zhuo, Ming-Wang Shao, Liang Cheng, Rong-Hui Que, Dorthy Duo Duo Ma, and Shuit-Tong Lee. Silver/silicon nanostructure for sur- face-enchanced fluorescence of Ln3+(Ln/Nd, Ho and Er) //J. Appl. Phys. 2010. 108, L\_3. P. 034305-0343405-4.
13. Georgios A. Sotiriou, Ann M. Hir, Pierre-Yves Lozach, Alexandra Teleki, Frank Krumeich, and Sotiris E. Pratsinis. Hybrid, Silica-Coated, Janus- Like Plasmonic-Magnetic Nanoparticles // Chem. Mater. 2011. 23 (7), P.1985-1992.
14. Hao Chen. Structure and phase transformation of nanocrystalline and amorphous alloy thin films // Dissertation. DAI-B 67/11, p. 6668, May 2007. University of Illinois at Urbana-Champaign. Publication Number 324814.
15. Ravindra N. М., Jin L., Ivanov D., Menta V. R., Dieng L. М., Popov G., Gokce О. H., Grow J., Fiory A. T. Electrical and Coompositional Proper­ties of TaSi2 Films // J. of Electronic Materials. - 2002. V. 31. N. 10. P.1074 -1079.
16. Ко I.-Y., Park J. H., Nam K.-S., Shon I.-J. Pulsed current activated com­bustion synthesis and consolidation of nanostructured TaSi2 // J. of Ce­ramic Reseacrh. 2010. V. 11, N. 1, P. 69-73.
17. Milanese C., Buscaglia V., Maglia F., Tamburini U. Reactive Growth of Tantalum Silicides in Та-Si Diffusion Couples // J. Phys. Chem. 2002. 106 (23). P. 5859-5863.
18. Miiller A. P., Cezairliyan A. Measurement of surface tension of tantalum by a dynamic technique in a microgravity environment International Jour­nal of Thermophysics. Vol. 14. Issue 5. P. 1063-1075.
19. Физические величины: справочник / под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. М., 1991.
20. Номоев А.В. Синтез и свойства полых наночастиц диоксида кремния

// Письма в ЖТФ. 2012. Т.38, вып. 10. С.35-43. URL:

[http://iournals.ioffe.ru/pitf/2012/10/page-35.html.ru](http://iournals.ioffe.ru/pjtf/2012/10/page-35.html.ru) (дата обращения

26.02.2012).

1. Yi Du, Lunet Е. Luna, Wui Siew Tan, Michael F. Rubner and Robert E. Cohen // Hollow Silica Nanoparticles in UV-Visible Antireflection Coat­ings for Poly(methyl methacrylate) Substrates. ACS Nano. 2010. 4 (7). P.4308—4316.
2. Steven Armes, Jian-Jun Yuan. New Core Shell Silica Nanoparticle Copo­lymers Produced by Biomineralization of Tetramethyl Orthosilicate (TMOS) // U. S. Patent Application 20100009001.
3. URL: <http://www>. nittetsukou. со. jp/rdd-e/tech/tech silinax. html
4. Zhao М., Zheng L., Na Li, Li Yu. Fabrication of hollow silica spheres in an ionic liquid microemulsion // Materials Letters 62. - 2008. P. 4591­4593.
5. URL: <http://www>. nanometer, ru/2010/06/08/12759428459207 214318. html
6. Yin Y., Rioux R. М., Erdonmez С. K., Hughes S., Somorjai G. A., Alivi- satos P.A. // Formation of Hollow Nanocrystals Through the Nanoscale Kirkendall Effect. Science. 2004. V. 304. P. 711-714.
7. Tua K. N., Goseleb U. Hollow nanostructures based on the Kirkendall ef­fect: Design and stability considerations //Applied Physics Letters. 2005. V. 86,1. 9. P. 093111-093111-3.
8. Gleiter H. Nanostructured materials: basic concepts and microstructure. Acta Materialia. 2000, 48 (1), 1-20.
9. Liu Y., Chu Y., Zhuo Y., Dong L., Li L. and Li M. Controlled synthesis of various hollow Cu nano/micro structures via a novel reduction route, Advanced functional materials, 2007, 17, 933-938.
10. Srikanth N., Thein М., Gupta M. Effect of milling on the damping beha­vior of nano-structured copper, Materials Science and Engineering A366 (2004). 38-44.
11. Kim N. S., Amert A. K., Woessner S. М., Decker S., Kang S. М., Han K.N. Effect of metal powder packing on the conductivity of nanometal ink, J. Nanosci. and Nanotechn. 7 (11): 3902-3905. 2007.
12. Плаксин О. А. Электронные возбуждения и оптический отклик ме- талло-нанокомпозитов в диэлектриках при имплантации тяжелых ионов // Оптика и спектроскопия. 2006.
13. Номоев А. В., Бардаханов С. П. Синтез и оптические свойства ком­позитных наноструктур // Тез. лекций и докл. 12-й Междунар. шко­лы-семинара по люминесценции и лазерной физике (пос. Хужир. Россия). 2010. С. 167-169.
14. Millers D.K., Grigorjeva L.G., Nomoev A.V. Short-living Frenfcel-type defects in TICl // Abstr. Int. Conf. on Defects in Insulating Crystals, Parma. 1988. P.181-182.
15. Миллере Д.К., Номоев А.В., Григорьева Л.Г. Точечные радиацион­ные дефекты в галогенидах таллия // Изв. АН Латв. ССР. Сер.: Физ. и техн. наук. 1989. № 3. С. 60-66.
16. Миллере Д.К., Григорьева Л.Г., Номоев А.В. Короткоживущие ра­диационные дефекты в галогенидах таллия // Тезисы докладов 6-й Всесоюз. конф. по физике диэлектриков, секция "Диэлектрики в экс­тремальных условиях". Томск, 1988. С. 33.
17. Стоунхем А.М. Теория дефектов в твердых телах: в 2 т. / пер. с англ. М.: Мир, 1978. Т. I. 596 с.
18. Григорьева Л.Г., Миллере Д.К., Лисицкий И.С, Лихолетова Т.Л. Край фундаментального поглощения и люминесценция в системе Tlci-llBr // Изв. АН Латв.ССР. Сер.: Физ. и техн. наук. 1985. № 6. С.37-41.
19. Григорьева Д.Г., Миллере Д.К., Номоев А.В., Лисицкий И.С. Лихо­летова Т.Л. Электронные процессы в твердых растворах галогенидов таллия // Изв. АН Латв. ССР. Сер.: Физ. и техн. наук. 1988. №3. С.46-

49.

1. Christy R.W., Dimock J.D. Color centers in TICl // Phys. Review. 1966. Vol. 141. №2. P.806-814.
2. Overhof H., Treusch J. The energy Bands of thallous chloride and bro­mide // Solid State Communications. 1971. Vol. 9. P.53-56.
3. Вайсбурд Д.И., Семин Б.Н., Таванов Э.Г. и др. Высокоэнер­гетическая электроника твердого тела. Новосибирск: Наука, 1982. 226 с.
4. Лущик Ч.В., Витол И.К., Эланго М.А. Распад электронных возбуж­дений на радиационные дефекты в ионных кристаллах // УФН. 1977. Т. 122, вып. 2. С.233-251.
5. Лисицын В.М., Малышев А.А., Яковлев В.Ю. Локализованные при­месью экситоны в щелочно-галоидных кристаллах // Физ. твердого тела. 1983. Т.25, вып. II. С. 3356-3360.
6. Ueta М., Kanzaki Н., Kobayashi К., Toyozawa Y. and Hanimura Е. Exci- tons and their interaction with phonons and external fields in thallous ha­lides // Excitonic processes in Solids, Ch.7 Springer series in Solid State Sciences 60, Springer. Berlin, 1986. P.370-437.
7. Toyzawa Y. A proposed model of excitonic mechanism for defect forma­tion in alkali halides // J. Phys. Soc. Japan. 1977. Vol. 44, N 2. P. 482­488.
8. Shukla A.K., Ramdas S., Rao C.N. Formation energies of Schottky and Prenkel defects in thallium halides // J. Phys. Chem. Solids. 1973. Vol. 34, N4. P.761-764.
9. Гурвич A.M. Введение в физическую химию кристаллофосфоров: учеб. пособие для вузов. М.: Высшая школа, 1982. 115 с.
10. Акустические кристаллы: справочник / под ред. М.П. Шаскольской. М.: Наука, 1982. 632 с.
11. Эланго М.А. Элементарные неупругие радиационные процессы. М.: Наука, 1988. 152 с.
12. Соколов В.А., Толстой Н.Л. О механизме возбуждения лю­минесценции (и фотопроводимости) хлористого таллия // Известия АН СССР. Сер.: Физика. 1965. Т.29, № 3. С.472-474.
13. Doktorov А.В., Kotomin Е.А. Theory of tunneling recombination of de­fects stimulated by their motion // Phys. status solid (b). 1982. Vol. 114. P.9-34.
14. Хьюбер К.П., Герцберг Г. Константы двухатомных молекул. М.:
15. Ч. 1.408 с., Ч. 2.368 с.
16. Григорьева Л. Г., Миллере Д.К., Котомин Е.А., Артюшенко В.Г., Номоев А.В. Короткоживущие радиационные дефекты в галогенидах серебра // Оптика и спектроскопия. 1989. Т. 67, вып. 3. С.608-613.
17. Миллере Д.К., Григорьева Л.Г., Номоев А.В. Изучение первичных процессов образования радиационных дефектов в галогенидах се­ребра *II* Тезисы докладов 7-й Всесоюз. конф. по радиационной физи­ке и химии неорганических материалов. Рига, 1989. С.125-126.
18. Миллере Д.К., Григорьева Л.Г., Номоев А.В. Наведенное поглоще­ние и люминесценция в твердых растворах галогенидов серебра и таллия // Тезисы докладов 2-й Республ. конф. по физике твердого те­ла. Ош, 1989. С. 24-25.
19. Гаврилов В.В., Гаркун Д.В., Кехва Т.Э., Киселев А.Р., Плаченов Б.Т. Спектрально-кинетические исследования релаксационных процессов в монокристаллах хлорида серебра // Оптика и спектроскопия. 1987. Т.63, вып. 6. С.1299-1304.
20. Алукер Э.Д., Гаврилов В.В., Дейч Р.Г., Чернов С.А. Быстропроте- кающие радиационно-стимулированные процессы в щелочно­галоидных кристаллах. Рига: Зинатне, 1987. 183 с.
21. Kanzaki Н. Spectroscopic identification of localized electrons and holes in Silver halides // J. Photogr. Sci. 1984. Vol. 32. № 4. P.l 17-123.
22. Белоус B.M., Барда Н.Г., Долбинова Э.А., Куусман Н.Л., Лущик Ч.Б., Роозе Н.С. Электронные возбуждения, люминесценция и образова­ние скрытого изображения в галогенидах серебра // ЖНШК. 1978. Т.23, № 6. С.460-472.
23. Гаврилов В.В., Гаркун Д.В., Кехва Т.Э., Киселев А.Р., Плаченов Б.Т. Спектрально-кинетические исследования релаксационных процессов в монокристаллах хлорида серебра // Оптика и спектроскопия. 1987. Т.63, вып. 6. С.1299-1304.
24. Жданов Г.С, Хундауа А.Г. Лекции по физике твердого тела: принци­пы строения, реальная структура, фазовые превращения. М.: Изд-во МГУ, 1988.231 с.
25. Айлер Р. Химия кремнезема // Мир. 1982. Т. 2. 1127 с.
26. Бардаханов С.П., Лысенко В.И., Номоев А.В., Труфанов Д.Ю. Созда­ние керамики из нанопорошков диоксида кремния // Физика и химия стекла. 2008. Т.34. №4. С. 665-667.
27. Григорьев М.В., Кульков С.Н. Фазовый состав, структура и удельная поверхность порошковых систем на основе корунда различной дис­персности // Журнал СФУ. Сер.: Техника и технологии. 2009. №3. С.294-300.
28. Патент US 5611829, кл. С09С 1/68, опубл. 18.03.1997, (II).
29. Голдин Б.А., Кормщикова З.И., Рябков Ю.И. Трещиностойкая кера­мика на основе бокситов // Огнеупоры и техническая керамика. 1998. **- № 9. с.** 2-7.
30. Номоев А.В. Сверхмикротвердость корундовой керамики // ПЖТФ.
31. Т. 36, вып.21. С.46-53.
32. Бардаханов С.П., Лысенко В.И., Номоев А.В., Труфанов Д.Ю. Кера­мика из нанопорошков и её свойства // Стекло и керамика. 2008. №12. С.10-13.
33. Бардаханов С. П., Ким А. В., Лысенко В. И., Номоев А. В., Труфанов Д. Ю., Буянтуев М. Д., Базарова Д. Ж. Свойства керамики из нано­дисперсных порошков // Неорганические материалы. 2009. Т.45. №3. С. 379-384.
34. Кортов B.C., Ермаков А.Е., Зацепин А.Ф., Уймин М.А., Никифоров С.В., Мысик А.А., Гавико B.C. Особенности люминесцентных свойств наноструктурного оксида алюминия // ФТТ. 2008. 50, 916.
35. Кортов B.C., Зацепин А.Ф., Горбунов С.В., Мурзакаев А.М. Люми- несцирующие дефекты в наноструктурном диоксиде кремния // ФТТ. 2006. 48,1205.
36. Силинь А.Р., Трухин А.Н. Точечные дефекты и элементарные возбу­ждения в кристаллическом и стеклообразном Si02. Рига: Зинатне,

1985.

1. Wu С. Crouch С. Н., Zhao L. and Mazur Е. Visible luminescence from silicon surfaces microstructured in air// Appl. Phys. Lett. 2002. v. 81. №
2. P. 1999-2001.
3. Torchinska Т., Aguilar-Hemandez J., Morales-Rodriguez М., et all. Com­parative investigation of photiluminiscence of silicon wire structures and silicon oxide films// Journal of Physics and Chemistry of Solids. 2002. v. 63P. 561-568.
4. Torchynska Т. V., Bulakh В. М., Polupan G. P. et all. Comparative inves­tigation of surface structure, photoluminescence and its excitation in sili­con wires// Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena. 2001. v. 114-116.. P. 235-241.
5. Fitting H. -J., Ziems Т., von Czamowski A., Schidt B. Luminescence center transformation in wet and dry SiCV/ Radiation Measurement. 2004. v. 38. P. 649-653.
6. Бардаханов С. П., Ким А. В., Лысенко В. И., Номоев А. В., Труфанов Д. Ю., Буянтуев М. Д., Базарова Д. Ж. Свойства керамики из нано- дисперсных порошков // Неорганические материалы. 2009. Т.45. №3. С. 379-384.
7. Бардаханов С.П., Лысенко В.И., Малов А.Н., Маслов Н.А., Номоев А.В. Структура и свойства керамики на основе нанодисперсных по­рошков оксида гадолиния и оксида иттрия // Физическая мезомеха- ника. 2008. Т. 11, №5. С. 111-114.
8. Бардаханов С.П., Емелькин В.А., Лысенко В.И., Номоев А.В., Тру­фанов Д.Ю. Получение и свойства керамики из нанопорошка диок­сида циркония // Стекло и керамика. 2009. Т.35, №5. С.710-714.
9. Лукин Е.С. Современная высокоплотная оксидная керамика с регу­лируемой микроструктурой. Влияние агрегации порошков оксидов на спекание и микроструктуру керамики // Огнеупоры и техническая керамика. 1996. № 1. С. 5-8.
10. Зубов В.И. Некоторые размерные эффекты и свойства ультрадис­персных систем // Журнал Всесоюзного химического общества им. Д.И. Менделеева. Т. XXXVI. Тонкодисперсные порошки и материа­лы на их основе. 1991. № 2. С. 135(5).
11. Андриевский Р.А. Свойства нанокристаллических тугоплавких со­единений (обзор)//Порошковая металлургия. 1993. №11-12. С. 85­

87.

1. Бардаханов С.П., Лысенко В.И., Номоев А.В., Труфанов Д.Ю., Фо­кин А.В. Получение керамики из нанопорошка закиси меди и ее свойства // Вопросы материаловедения. 2010. №3(60). С.82-85.
2. Гукосян С. Ж. Модифицированный травертин-наполнитель поливи­нилхлорида // Пластические массы. 1999. №5. С. 43-45.
3. Получение и свойства поливинилхлорида / под ред. Е. Н. Зильберма­на. М., 1968. С. 331-334; Энциклопедия полимеров. М., 1974. Т. 2.

С.590-594.

1. Патент RU 2264419 СІ, МПК С0827/106, С08К30/00, 2005. 11. 20.
2. Патент, заявка №2010121489. Способ получения покрытия из краски на основе перхлорвиниловой и глифталевой смол / А.В. Номоев, В.Ц. Лыгденов, Ц. Н. Николаев; опубл. 24.06.2011.
3. Синергетика композитных материалов / под ред. В.И. Соломатова. Липецк, 1994. С. 94.
4. Бардаханов С. П., Говердовский В. Н., Лысенко В. И., Номоев А. В., Труфанов Д. Ю., Лыгденов В. Ц. Влияние нанопорошка таркосила на свойства эмалей // Лакокрасочные материалы и их применение. 2009. №7. С. 32
5. Патент №95311 U127. Устройство для термокомпрессионного фор­мования изделий из полимерных композиционных материалов / А. Г. Пнев, А. В. Федоров, А. В. Номоев, В. Ц. Лыгденов. опубл.

27.06.2010.

1. Патент RU 2210579 С2, кл. С 08 L 27/06, 2003.
2. Патент RU №2230004 СІ, МПК В64С27/46 от 10.06.2004.
3. Патент RU 2058250 СІ, МПК В64С11/26, В64С27/46, B64F5/00 от 20.04.1996.
4. Композиционные материалы. Т. 7: Анализ и проектирование конст­рукций / под ред. К. Чамиса. М., 1978.
5. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, тех­нологии / под ред. А. А. Берлина. СПб., 2008. С. 517.
6. Патент, заявка №2010130390. Способ получения корундовой кера­мики / Номоев А. В., Буянтуев М. Д., Бардаханов С. П. опубл.

12.01.2011.

1. Бардаханов С. П., Завьялов А. П., Зобов К. В., Лысенко В. И., Номоев А. В., Соболева К. Н, Трубачеев Г. В. Исследование прочностных и упругих свойств каучука при добавке наноразмерного порошка ди­оксида кремния таркосил // Каучук и резина. 2009. №5. С. 1-5.
2. Camley R. Е., Stamps R. L. Magnetic Multilayers // J. Phys. Condens. Matter. 1993. 15. P. 3727.
3. Лернер И. М. Формирование наночастиц при воздействии на метал­лический проводник импульса тока большой мощности // Журнал структурной химии. 2004. Т. 45. С. 112-115.
4. Wu N.Q., Su L. Z., Yuan M. Y., Liu Y. Y., Wu J. М., Li Z. Z. Preparation

© *^*

and microstructure of nano-sized Cu particles by mechanochemical reac­tion // Transactions of nonferrous metals society of China. 8 (4): 1998. P.610-612.

1. Патент RU № 2185931. Cl МПК B22F9/02. Способ получения нано­порошков сложных соединений и смесевых составов и устройство для его реализации, опубл. 07.27. 2002.
2. Патент RU № 2254292С1 МПК С01ВЗЗ/18. Способ получения ульт- радисперсной двуокиси кремния, опубл. 06.20. 2005.
3. Патент РФ №2067077, МПК7 С 01 В 33/18. Способ получения ульт- радисперсной двуокиси кремния, устройство для его осуществления и ультрадисперсная двуокись кремния опубликован 27.09.1996, Бюл­летень №27.
4. Розельфенд И. JL, Рубинштейн Ф. И., Жигалова К. А. Защита метал­лов от коррозии лакокрасочными покрытиями. М. : Химия, 1987. 224 с.

***1 - Т1С1,***

З-КРС-6,

***4 - ПВг;***

1, 3,4 - измерены через 250 не после окончания импульса облучения при Т = 100 К, 2 - через 100 не при 62 К.

сию восьми ионах галогена. Такое размазывание дырки предполагает смеще­

ние всех восьми ионов галогена в сторону катионной вакансии и сохранение

высокой симметрии дефекта. Дырка также может быть локализована на ок-