Корчагин Алексей Иванович. Электронно-лучевая технология получения нанодисперсных порошков диоксида кремния при атмосферном давлении : Дис. ... канд. техн. наук : 05.17.11 : Новосибирск, 2003 152 c. РГБ ОД, 61:04-5/270-3

**ИЗ ФОНДОВ РОССИЙСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ БИБЛИОТЕКИ**

**Корчагин, Алексей Иванович**

**получения кремния при**

**1. Электронно-лучевая технология нанодисперсных порожков диоксида**

**атмосферном давлении**

**Библиотека**

**1.1. Российская государственная**

**diss.rsl.ru 2003**

**Корчагин, Алексей Иванович**

**Электронно-лучевая технология получения нанодисперсных порошков диоксида кремния при атмосферном давлении [Электронный ресурс]: Дис. ... канд. шекн. наук : 0 5.17.11 .-М.:**

**РГБ, 2 00 3 (Из фондов Российской Государственной Библиотеки)**

**Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов**

**Полный текст:**

**Текст воспроизводится по экземпляру, находящемуся 6 фонде РГБ:**

**Корчагин, Алексей Иванович**

**Электронно—лучеВая технология получения нанодисперсных порожков диоксида кремния при**

**атмосферном давлении**

**Нов осиБирск 20 03**

**Российская государственная Библиотека, 20 03 год (электронный текст).**

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ им. Г.И. Будкера

*На правах рукописи*

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

**КОРЧАГИН Алексей Иванович**

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ ПРИ АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ

05.17.11 - Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов

диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

научный руководитель: д.ф.-м.н., с.н.с. С,П. Бардаханов

Новосибирск - 2003

\*)

№ Стр.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ. 6

ГЛАВА 1. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВ \* (ОБЗОР) 11

1. [Ультрадисперсные (-нано) порошки 11](#bookmark4)
2. [Методы исследования свойств 12](#bookmark5)
3. [Классификация методов получения 13](#bookmark7)
4. [Пламенный метод (метод газофазного синтеза) 15](#bookmark9)
5. Осаждение из растворов 17
6. Установки и печи электродугового нагрева ... 20
7. Плазмохимический метод 21
8. [Метод электрического взрыва проводников ... 25](#bookmark10)

[® 1.3,6. Электронно-лучевые способы 25](#bookmark11)

1. Лазерные методы испарения 29
2. [Механически? методы ... 30](#bookmark12)
3. [Применение нанопорошков 30](#bookmark13)
4. [Выводы по главе [. Постановка задачи исследования 32](#bookmark14)

^ ГЛАВА 2. КОНСТРУКТИВНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ

ОСОБЕННОСТИ ГЕНЕРАЦИИ КОНЦЕНТРИРОВАННОГО ПУЧКА 3jiEKTPOHOB - ОСНОВНОГО ЭЛЕМЕНТА ТЕХНОЛОГИИ 34

1. [Ускорители типа ЭЛВ 34](#bookmark15)
2. Система концентрированного выпуска пучка в атмосферу 42

^ 2.2.1. Конструкция и принцип действия системы\*

концентрированного выпуска

*2.2.2.* Повышение эксплуатационных характеристик системы концентрированного выпуска

1. Пучок электронов
2. Характеристика концентрированного пучка

электронов в газах при атмосферном

\* **„**

давлении, потери энергии и поля оолучения . .

1. Проникновение электронов в вещество ....
2. Анализ применимости пучка к процессу испарения материалов
3. Выводы по главе 2

ГЛАВА 3. ПОЛУЧЕНИЕ НАНОДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОНЦЕНТРИРОВАННОГО

ПУЧКА ЭЛЕКТРОНОВ

• ЗЛ. Практическая реализация и экспериментальное

изучение процесса получения порошков

1. Лабораторные испарительные установки ....
2. Экспериментальная установка
3. Экспериментальное исследование

производительности технологического процесса. . . ЗЛ.4 .Физические и технологические параметры

*щ* управления процессом испарения

* 1. Оценка энергобаланса и эффективности электронно- лучесой технологии получения порошков
     1. Тепловые процессы, происходящие при испарении электронным пучком
     2. Расчет тепловых характеристик и производительности установки для получения

ft нанодисперсного диоксида кремния

* 1. Выводы и рекомендации для промышленной реализации электронно-лучевой технологии получения нанопорошков 93

1. [Выводы по главе 3 94](#bookmark25)

ГЛАВА 4. ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПОЛУЧЕННЫХ

*т*

ПОРОШКОВ 96

* 1. [Порошки диоксида кремния 96](#bookmark45)
     1. [Удельная поверхность 96](#bookmark46)

[4Л.2. Электронная микроскопия частиц 97](#bookmark48)

1. [Текстура образцов 104](#bookmark49)

4Л .4. Дериватографический анализ 105

[4.1.5 Основной и примесный состав 105](#bookmark50)

[4Л .6. Рентгенофазовый анализ 107](#bookmark51)

4 Л.7. Метод высокотемпературной масс -

^ спектрометрии 109

1. [Г ранулометрический состав 112](#bookmark53)
   1. [Нанопорошки других материалов 114](#bookmark57)
      1. [Оксид кремния SiO 114](#bookmark58)
      2. Оксиды алюминия, магния, циркония, титана 115
      3. Синтез фуллеренов 115
      4. Получение порошков металлов в инертных

*щ* средах 117

* 1. [Выводы по главе 4 121](#bookmark44)

ГЛАВА 5. АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ ПОЛУЧАЕМЫХ

НАНОМАТЕРИАЛОВ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ 123

1. Исследования практических применений порошков

диоксида кремния 123

^ 5.2. Источники сырья для производства порошков

• 5

диоксида кремния 129

1. [Вопросы защиты окружающей среды 131](#bookmark66)
2. [Выводы по главе 5 133](#bookmark63)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 134

ЛИТЕРАТУРА 137

^ ПРИЛОЖЕНИЕ. Способ получения ультрадисперсною двуокиси

кремния, устройство для его осуществления и ультрадисперсная двуокись кремния. Патент Российской Федерации №2067077 148

%

\*

**ВВЕДЕНИЕ**

**Актуальность настоящей работы.** Получение и исследование свойств высокодисперсных порошков различных веществ является актуальным разделом современной науки. Во-первых, это обусловлено практической необходимостью создания новых материалов, что в ряде случаев возможно только с использованием порошкоообразных составляющих; во-вторых, проблема изучения очень малых частиц, особенно имеющих размеры менее 100 нанометров, является составной частью более общей фундаментальной области знания, собирательно называемой “Нанотехнологии”.

Исторически наибольшее распространение и промышленное применение получили нанодисперсные порошки оксидов кремния, алюминия, и некоторых других элементов получаемые, например, при высокотемпературном гидролизе соответствующих галогенидов и при химическом осаждении.

Физико-химические свойства порошков, строение наночастиц и, как следствие, область их применения, во многом зависят от способа их получения. Поэтому, идет совершенствование известных способов получения порошков, интенсивно разрабатываются новые, такие как, лазерные, механохимические, плазмохимические, золь-гель метод, метод электрического взрыва проводников и т.д.

Особое внимание уделяется разработке высокопроизводительных и, в то же время, экономичных и безопасных технологий производства нанопорошков. Существенным недостатком существующих промышленных технологий получения порошков, является использование хлора, фтора, кислот и других химически активных, опасных и ядовитых жидких и газообразных веществ, неконтролируемые условия получения, проведение синтеза в несколько стадий. Производительность основной массы новых методов мала.

Одним из признанных методов получения порошков является испарение твердых неорганических веществ с последующей конденсацией, однако существующие источники мощного нагрева имеют низкий КПД, производительность, либо для их применения требуется специальные вакуумные камеры или неактивные газы, поэтому развитие электронно­лучевой технологии получения нанопорошков при атмосферном давлении является актуальным, новым и перспекивным.

Работа выполнена в рамках грантов РФФИ 02-03-32-357 «Синтез, физико-химические и каталитические свойства нанопорошков на основе переходных металлов, оксидов и нитридов металлов», интеграционного проекта СО РАН №159 «Радиационная физико-химия и радиационные технологии наноразмерных материалов» и в соответствием с тематическими планами НИР института ядерной физики им. Г.И.Будкера.

**Целью настоящей работы** являлась разработка основ электронно­лучевой технологии получения нано-размериых порошков диоксида кремния и других тугоплавких неметаллических материалов с использованием концентрированного пучка электронов энергией 1,4 МэВ, выпущенного в воздух при атмосферном давлении.

**Научная новизна.**

1. Впервые мощный концентрированный пучок электронов, выпущенный в атмосферу, использован для получения нано-дисперсных порошков. Показана высокая стабильность процесса испарения твердых материалов и возможность регулирования и поддержания скорости испарения в лабораторной установке от 2 мг/с до 200 мг/с, а в экспериментальной - до 1,7 г/с при плотности мощности пучка от 103 до ! 0:’ кВт/см2.
2. Установлено, что порошки диоксида кремния, полученные по электронно-лучевой технологии испарением кварца при атмосферном давлении, имеют средний размер частиц 30-200 нм, рентгено-аморфную структуру, а первичные частицы порошка имеют сферическую форму. При получении порошков по электронно-лучевой технологии оонаружено уменьшение содержания примесей по сравнению с исходным материалом.

3. Установлена зависимость размера частиц от условий испарения. Удельная поверхность порошков диоксида кремния в проточной испарительной камере составила от 20 до 50 м2/г (в зависимости от мощности пучка и скорости потока воздуха), а в открытой установке достигает до 120м2/г при увеличении расхода воздуха через испарительную камеру до 900 м7ч и уменьшении скорости испарения до 0,5 г/с (при мощности пучка 50 кВт, плотности мощности менее 1 кВт/см2 и расходе воздуха 900 м7ч).

**Практическая значимость работы.**

1. Показано, что электронно-лучевой способ обладает высоким КПД. Для этого проанализирован энергетический баланс электронно-лучевой технологии и основные параметры процесса испарения тугоплавких соединений. Найдены источники потерь энергии: при прохождении пучка в воздухе ~3%, на тормозное рентгеновское излучение - менее 2% и с отраженными электронами -10%. Экспериментально установлено, что затраты энергии на испарение диоксида кремния составляют 12,5 кВт. ч/кг при мощности ускорителя 50 кВт.
2. Разработаны и изготовлены лабораторные и экспериментальная установки для получения нанопорошков испарением тугоплавких материалов мощным пучком электронов в атмосфере воздуха.
3. Показано, что технологический процесс получения порошков диоксида кремния является непрерывным, экологически- чистым, безотходным, в качестве сырья можно использовать минералы из природных месторождений без дополнительной обработки.
4. Приведены примеры практического применения полученных порошков диоксида кремния и показано, что они имеют потребительские саойства соответствующие промышленным аналогам - аэросилам - которые в настоящее время покупаются за рубежом. Изученные закономерности изменения среднего размера частиц, в зависимости от мощности пучка, размера пучка электронов и расхода воздуха, позволяют направленно управлять качеством порошков, что существенно расширяет возможности их применений,
5. Приоритет способа получения ультрадисперсной двуокиси кремния подтверждается патентом Российской Федерации № 2067077.

**Апробация работы.** Основные результаты диссертационной работы докладывались на: 8 и 9-м Всероссийских совещаниях по применению ускорителей заряженных частиц в промышленности и медицине (Санкт- Петербург 1995, 1998); Межрегиональной конференции с международным участием "Ультрадисперсные порошки, материалы и наноструктуры” (Красноярск, 1996); Научно-технической конференции “Физико­химические процессы в композиционных материалах и конструкциях” (Москва, 1996); IV Всероссийской конференции по модификации свойств конструкционных материалов пучками заряженных частиц (Томск, 1996); Международной конференции "Компьютерная разработка перспективных материалов и технологий (Байкальск, 1997); V , VI и VII международных конференциях по электронно-лучевым технологиям (Варна, 1997, 2000, 2003); IX Межнациональном совещании “Радиационная физика твердого тела’' (1999, Севастополь); VI конференции "Акустика неоднородных сред” (Новосибирск, 2000); XIX конференции стран СНГ "Дисперсные системы" (Одесса, 2000); V Всероссийской конференции "Физикохимия ультрадисперсных (нано-) систем" (Екатеринбург, 2000); Научно­практической конференции материаловедческих обществ России "Новые конструкционные материалы" (Звенигород, 2000); Научно-практической конференции «Керамические материалы: производство и применение» (Москва, 2000); Международном конгрессе (PARTEC) по технологиям частиц (Нюнрберг, 2001); 12-ом Международном симпозиуме "Тонкие пленки в электронике” (Харьков, 2001); Международной конференции

"Современные проблемы прикладной математики и механики: теория, эксперимент и практика "(Новосибирск, 2001); Международной конференции "Фундаментальные основы механохимической технологии" (Новосибирск, 2001); Международном симпозиуме "Новые перспективы в практике проектирования" (Кванджу, 2002); 13 й Зимней школе по

механике сплошных сред (Пермь, 2003), Научной сессии МИФИ-2003

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Впервые на ускорителе электронов ЭЛВ с концентрированным пучком электронов получены рентгено-аморфные нанодисперсные порошки диоксида кремния испарением кварцевых песков в атмосфере воздуха. Разработана и изготовлена экспериментальная установка для получения нанодисперсных порошков в мощном пучке ускоренных электронов и определены основные параметры проведения технологического процесса.
2. Установлено, что электронно-лучевая технология является эффективным средством получения нанодисперсных порошков оксидов размером частиц 30-200 нм и удельной поверхностью более 100 м3/г и обеспечивает воспроизводимость получаемых порошков по качеству. Данный результат достигается за счет непрерывного испарения пучком ускоренных электронов твердого сырья с заданной скоростью и контролируемого разбавления паров воздухом.
3. Разработанная методика испарения небольших проб образцов позволяет работать с дорогостоящими и особо чистыми тугоплавкими неметаллическими материалами с минимальными потерями исходного вещества. Количество получаемых порошков за один эксперимент (десятки граммов) достаточно и для физико-химического анализа и для некоторых практических исследований. Эксперименты показали высокую стабильность процесса и возможность регулирования и поддержания нужной степени испарения от 2 мг/с до 1700 мг/с.
4. Обнаружена зависимость размера частиц от условий испарения. Удельная поверхность в проточной испарительной камере составила от 20 до 50 м2/г (в зависимости от мощности пучка и скорости потока воздуха), а в открытой установке достигает 120 м2/г (при мощности 50 кВт, плотности мощности менее 1 кВт/см2 и расходе воздуха 900 м3/ч).
5. Результаты электронной микроскопии показали, что форма частиц полученных порошков сферическая. Это обусловлено, по всей видимости, жидко-капельным механизмом испарения (интенсивным кипением), и связано с тем, что основной нагрев ускоренными электронами идет в приповерхностном слое расплава, на глубине 1-2 мм. Размер образующихся частиц, возможно, зависит от природы материала, поскольку испаряются кластеры с размерами не менее 10 нм с сохранением ближних межмолекулярных связей.
6. Проведен оценочный анализ энергетического баланса электронно­лучевой технологии и определены основные параметры процесса испарения тугоплавких соединений. Обнаружено, что вследствие низких потерь энергии при прохождении в воздухе (около 3%), потерь мощности на тормозное рентгеновское излучение (менее 2%), потерь мощности отраженными электронами (5-15%), а также вследствие прямого ввода электрической энергии в объем испаряемого материала, общий коэффициент полезного действия достигает высоких значений.
7. Адаптирована система выпуска электронного пучка к процессам высокотемпературного испарения. При этом системы ускорения и выпуска пучка полностью развязаны с технологическим процессом и решены задачи защиты от высокой концентрации пыли и от мощного теплового излучения.
8. Обоснован выбор оптимального варианта испарительной установки для дальнейшей реализации способа в промышленном масштабе, а также основных параметров других элементов технологии (коагулятора, пылеуловителя, вентилятора и т.д.). Опыт работы на экспериментальной установке показал, что реальна возможность проектирования и изготовления опытной установки непрерывного действия для получения укрупненных количеств нанопорошков с производительностью десятки килограммов в час. При изучении эффективности установки решены следующие задачи: найдены оптимальные размеры зоны кипения, создана

камера, уменьшающая потери тепловым излучением, уменьшен конвективный поток и оптимизирован поток откачки пыли, создан гарнисажный слой материала достаточной толщины, обеспечивающий химическую чистоту процесса и минимальные потери теплопроводностью.

к

1. Технологический процесс получения порошков диоксида кремния является непрерывным, экологически чистым, безотходным, в качестве сырья можно использовать минералы из природных месторождений без дополнительной обработки. Химический состав порошков диоксида кремния соответствует химическому составу исходного сырья, а в отличие от промышленных марок порошков диоксида кремния, в них полностью отсутствует хлор и фтор.

ЛИТЕРАТУРА

1. Морохов И.Д., Петинов В.И., Трусов Л. И., Петрунин В.Ф. Структура и свойства малых металлических частиц // УФН. -1981. - №4,- С. 653-693.
2. В.Ф. Петрунин. Ультрадисперсные порошки и нанокристаллы - два

\*

типа УДС // Физикохимия ультрадисперсних систем: Материалы V Всерос. конф. - М.: МИФИ, 2000.- С.23-25.

1. Морохов И.Д., Трусов Л. И., Лапових В.Н. Физические явления в ультрадисперсних средах. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 224с.
2. А.Г. Сутугин. Кинетика образования малых частиц при объемной конденсации //Физикохимия ультрадисперсних систем. - М.: Наука, 1987.

* С.15-21.

1. Пат. № 2067077. РФ. С 01 F 33/18. Способ получения ультрадисперсной окиси кремния, устройство для его осуществления и

\* ультрадисперсная окись кремния / Лукашов В.П., Бардаханов С.П.,

Салимов Р.А., Корчагин А.И., Фадеев С.Н., Лаврухин А.В. - № 94002568/26; Заяв. 26.01.94; Опубл. 27,09.96. Бюлл. №27.

1. Г.М. Грязнов, В.Ф. Петрунин, Ультрадисперсные материалы - нанокристаллы // Конверсия в машиностроении. -1996. - №4.- С.24-29.
2. И.В. Петрянов-Соколов, А.Г. Сутугин. Аэрозоли. - М.: Наука, І989.

* 140 с.

*і* 8. А.А. Поляков Технология керамических радиоэлектронных

материалов. - М.: Радио и связь, 1989.-200 с.

1. ГОСТ 18307-78. Сажа белая.
2. ГОСТ 14922-77. Аэросил.
3. Рекламный проспект фирмы Дегусса «Аэросил».
4. Basic Characteristics of AEROSIL. Technical bulletin pigments. №11.
5. Айлер P.К. Химия кремнезема ***і*** пер. с англ. -М., 1982, т, 1,2. - ‘ 1127с,
6. Е.Ф. Шека, В.Д.Хаврюченко, И.В. Маркичев. Технологический полиформизм дисперсных аморфных кремнеземов: неупругое рассеяние нейтронов и компьютерное моделирование //Успехи химии. - 1995.- Т.64, вып.5. - С.419-445.
7. Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент. Справочник. / Под общ. редакцией В.А. Григорьева и ВлМ. Зорина, - М.: Энергоиздат, 1982,
8. В.П. Сабуров, А.Н. Черепанов, М.Ф. Жуков, Г.В. Галевский, Г.Г. Крушенко, В,Т. Борисов. Плазмохимический синтез ультрадисперсных порошков и их применение для модифицирования металлов и сплавов. / Низкотемпературная плазма, отв. редакторы В.М. Фомин, А.Н. Черепанов - Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 1995. -Т.12. - 344 с.
9. G. Beaucage, J. Hyeon-Lee, DJ, Kohls and S.E. Pratsinis. Aero-sol-gel reactor for nano-powder synthesis // Journal of Nanoparticle Research - 1999, vol. 1.-379-392 P.
10. A.B. Ушаков, B.E. Редькин, Г.Ф. Безруких. Установка для получения ультрадисперсных порошков // Физикохимия ультрадисперсных систем: Материалы V Всерос. конф. - М.: МИФИ, 2000,- С.86-87.
11. Е.А.Джур, Н.Е. Калинина, А.В.Калинин. Особенности плазмохимического синтеза сверхтонких порошков // Сборник докладов 7­го Международного симпозиума lSPM-7-Украина, Харьков, 2001. - С. 83
12. Ю.А. Бирюков и др. // Получение, свойства и применение энергонасыщенных ультрадисперсных порошков металлов и их соединений. Тез. докл. Российской конференции. - Томск, 1993. -С.-8.
13. Ю.А. Котов. Получение нанопорошков методом ЭВП //Физикохимия ультрадисперсных систем. Сборник научных трудов IY Всероссийской конференции. - М.: МИФИ, 1999. - С.60-66.
14. Ильин А.П., Ляшко А.П., Проскуровская Л.Т., Каратеева Е.А., Яблуновский Г,В., Родкевич Н.Г., Трушина Л.Ф. Особенности физика-

химических свойств ультрадисперсних порошков, полученных методом электрического взрыва проволочек // Получение, свойства и применение энергонасыщенных ультрадисперсних порошков металлов и их соединений. Тез. докл. Российской конференции. - Томск, 1993. -С.51.

1. М.И. Лернер, В.И. Давыдович. Образование высокодисперсной фазы про электрическом взрыве проводников // Получение, свойства и

ь

применение энергонасыщенных ультрадисперсних порошков металлов и их соединений. Тез. докл. Российской конференции. - Томск, 1993. -С.23.

1. Попов В.Ф., Горин Ю.Н. Процессы и установки электронно­ионной технологии: Учеб. пособие для вузов.- М.: Высш. Шк., 1988.
2. Электронные плавильные печи./ Под ред. М.Я. Смелянского. - М.: Энергия, 1971.-167с.

26 J. D. F. Ramsay, R.G. Avery. Ultrafme oxide powders prepfred by electron beam evaporation // Jomal of materials science. -1974, vol.9. - P. 1981- 19B8.

\* 27. Б.М.\_Яворский, А.А. Детдаф. Справочник по физике для инженеров

и студентов ВУЗов. - Издание шестое. - М.: Наука, 1974. - 251 с.

1. МапяЬи Kato. Preparation of Ultrafme Particles of Refractory Oxides by Gas-Evaporation Method //Japanese Journal of Applied Physics. - 1975. - V. 15. - No.5.
2. Muller E. et al. // J.KONA - Powder and Particle. - Ї995. - №13,- P.79.
3. Ю.А. Котов, В.В. **Осипов, О.**М. Саматов, М.Г. Иванов. Получение к нанопорошков YSZ при испарении мишени импульсным COi лазером //

Физикохимия ультрадисперсних систем. Сборник научных трудов IY Всероссийской конференции. - М.: МИФИ,. 1999 - С.67-69.

1. Е.Г. Аввакумов. Механические методы активации химических процессов. - Новосибирск: Наука, 1986. - 306 с.
2. В.В. Болдырев, Е.Г. Аввакумов // Успехи химии.-1971. - Т. 40, вып.
3. -С. 1835-1856.
4. Усиление эластомеров / под. ред. Дж. Крауса. - М.: Химия, 1968.
5. Красильникова М.К., Лежнев Н.Н. Свойства минеральных наполнителей - белых саж и перспективы их применения в промышленности. - М., 1980.
6. Наполнители для полимерных композиционных материалов / под. ред. Г.С. Каца и Д.В.Милевски. -М.: Химия, 1981.
7. С.П. Бардаханов, В.З. Гиндулина, В.А. Лиенко. Получение керамических материалов на основе нанодисперсных порошков // Новые конструкционные материалы. Материалы научно-практической конференции материаловедческих обществ России. - Звенигород, М., 2000.
8. С.П. Бардаханов, В.З. Гиндулина, В.А. Лиенко. Использование нанодисперсных порошков в создании керамических материалов // Научно-практическая конференция «Керамические материалы: производство и применение». - Москва, 2000.
9. R.A. Salimov, V.G. Cherepkov, Yu.I. Golubenko, G.S. Krainov,
10. M.Korabelnikov, S.A. Kuznetsov, N.K. Kuksanov, A.B. Malinin, Р.Г. Nemytov, S.E. Petrov, V,V Prudnikov, S.N. Fadeev and M.E. Veis. D.C. high power electron accelerators of ELV-series: status, development, applications. // Radiation Physics and Chemistry. - 2000, vol.57. - P.661-665.
11. Yu.I. Golubenko, M.E. Veis, S.A. Kuznetsov, N.K. Kuksanov,
12. M.Korabelnikov, A.B. Malinin, P.I. Nemytov, V.V Prudnikov, S.E. Petrov, R.A. Salimov, V.G. Cherepkov, S.N. Fadeev. Acceleratos of ELV-type: status, development, applications. Препринт ИЯФ 97-7. - Новосибирск, 1997.
13. В.Л, Ауслендер, Р.А. Салимов, Г.А. Спиридонов. Промышленные ускорители электронов для радиационных технологий производства ИЯФ- ЗВИ/ Вестник АДС '‘Радтех-СССР”. - 1991, № 1.
14. Салимов Р. А. Ускорители серии ЭЛВ для применения в народном хозяйстве. Дис. на соиск. уч. степ, доктора технических наук. - Новосибирск, 1980,
15. Куксанов Н.К. Электронные ускорители непрерывного действия мощностью сотни киловатт. Дис. на соиск. уч. степ, доктора технических наук,- Новосибирск, 1993.
16. Грищенко А. И., Корабельников Б. М., Крайнов Г. С., Кузнецов С. А., Куксанов Н.К., Салимов Р. А., Самойлович А. Н. Сдвоенные ускорители типа ЭЛВ. Препринт ИЯФ СО 79-54. - Новосибирск, 1979.
17. Куксанов Н. К., Горбунов В. А., Салимов Р. А., Черток И. П. Выпуск в атмосферу концентрированного пучка электронов мощностью до 60 кВт на ускорителе ЭЛВ-4 // Доклады 3-го Всесоюзного совещания по применению ускорителей заряженных частиц в народном хозяйстве, - Ленинград, НИЭФА, 1979.
18. Z.Zimek and R.A.Salimov. Windowless output for high power-low energy electron accelerators // J.Radiat. Phys. Chem - 1992. - V.40. № 4. - P.317-320.
19. Ауслендер В.Л., Салимов P.А. Ускорители электронов Института *f* ядерной физики СО РАН для народного хозяйства. - Атомная энергия. -

1978. - т. 44, вып.5. - 403 с.

1. Барянов В.Ф. Дозиметрия электронного излучения. - М.: Атомиздат, 1974.
2. Петров С.Е., Фадеев С.Н., Вайсман А.В., Исследования характеристик концентрированного пучка электронов в атмосфере. - Отчет института Гипроцемент. - Л., 1987.

► 49. А.Ф. Вайсман, А.П. Воронин, О.С. Грибков, Б.К. Канимов, В.А.

Поляков. Измерение температур в мощных пучках ускоренных электронов. Препринт ИЛФ S5-57 ~ Новосибирск, 1985.

1. Tatsuo Tabata and Rinsuke Ito. An Algoritm for The Energy Deposition by Fast Electrons // Nuclear science and engineering. -1974. - V.53. - P.226-239.
2. Пикаев А,К. Современная радиационная химия.- М.: Наука, 1985. -

***f***

в трех томах.

1. Fadeev S.N., Golkovski M.G., Korchagin A.I., Kuksanov N.K., Lavruhin A.V., Petrov S.E., Salimov R.A., Vaisman A.F. Technological applications of BINP industrial electron accelerators with focused beam extracted into atmosphere // J.Radiat. Phys. Chem.- 2000.- V.57.- P.653-655.
2. Ю.В. Троянкин. Проектирование и эксплуатация огнетехнических установок. - М., Энргоатомиздат, 1988.

54.. Вентиляционные установки машиностроительных заводов: Справочник |/ под.ред. С.А, Рысина. - МАШГИЗ. Москва, 1961.

1. О.П. Солоненко, А.П. Алхимов, В.В. Марусин, А.М. Оришич, Х.М. Рахимянов, Р.А. Салимов, ВТ. Щукин, В.Ф. Косарев. Высокоэнергетические процессы обработки материалов // Низкотемпературная плазма / Отв. редакторы М.Ф. Жуков, В.М. Фомин. - Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 2000. -Т.18 -С. 287-348.
2. Теплотехнический справочник /Под общ. ред. В.Н. Юренева и П.Д. Лебедева. -М., «Энергия», 1976, -Т.2,
3. Физические величины: Справочник. - М., Энергоатомиздат, 1991.
4. Н.В. Большакова, К.С. Бори^анова, В.И. Бурцев и др. Материалы для электротермических установок: Справочное пособие / Под ред. М.Б. Гутмана. -М.: Энергоатомиздат, 1987.
5. П.Д. Лебедев. Теплообменные, сушильные и холодильные установки (тепло-массообменные и сушильные установки). -М.: Энергия, 1972. - 320 с,
6. Жужгов Э.Л., Мазалов Л.Н., Варнек В.А. Отчет НГУ о научно­исследовательской работе “Исследование состава, строения и свойств белых саж ”. - Новосибирск, Новосибирский Гос. университет, 1994.
7. V.L. Highland / Nucl. Instrum. Methods -1975 - V.129.- P.497; 1979 - V. 161.- P.171.
8. Kratschmer W., Lamb L.D. et al.//Nature.- 1990. -V.347. - P.354.
9. Ajie H., Alvfrez M.M. et al.//J.Phys.Chem. -1990.-V.94. -.P.8630.
10. Haufler R.E. et al.//J.Phys.Chem. - 1990. - V.94.- P.8634.
11. The March 1992 issue of Acc.Chem.Res. - 1992. - V.25. -P.97-175.
12. Окотруб А.В., Лунегов C.H. и др. Сб. "Материаловедение высокотемпературных сверхпроводников. Материалы 1

Межгосударственной конференции. 5-9 апреля 1993г."// Харьков, 1993.- Т. 1.-С.40-42.

1. Li Q„ Wudl F. at al.// J.Am.Chem.Soc. - 1992. - V.l 14. -P.3984.
2. Bunshah R.F, Jou S., Prakash S., Doerr H.J., Isaacs L., Werhsig A., Yerettzian C., Cynn H., Diederich F.//J.Phys.Chem. - 1992. - V. 96. - P.6866
3. Бардаханов С.П., Корчагин А.Й., Куксанов H.K., Лаврухин А.В., Салимов Р.А., Фадеев С.Н. Получение нанодисперсных порошков в мощном пучке ускоренных электронов // Сборник докладов 4-го Международного симпозиума «Вакуумные технологии и оборудование». - Украина, Харьков, 2001. - С. 447-449.
4. Отчет НИР "Оценка возможности организации наукоемких

Г

производств на базе месторождений кварцевого песка Пуровсксго района Ямало-Ненецкого национльного автономного округа Тюменской области". НГГКЦ "Север России". Этап 1. Аморфная двуокись кремния. - Новосибирск, 1992.

1. В.И.Артамонов. Минерально-сырьевая база производства местных строительных материалов и перспективы ее развития с учетом охраны окружающей среды Пуровского района Тюменской области, Научно-

*ї* технический отчет НПМП «Мерзлотная станция», - Новый Уренгой, 1991.

73. Вайсман А.Ф., Голковский М.Г., Корчагин А.И., Куксанов Н.К., Лаврухин А.В., Петров С.В., Фадеев С.Н., Салимов Р.А. Технологические применения мощных ускорителей электронов с выводом в атмосферу сфокусированного электронного пучка // Тез. докл. IY Всероссийской конференции по модификации свойств конструкционных материалов пучками заряженных частиц. - Томск, 1996. - С.244-246.

1. Vaisman, М. Golkovski, A. Korchagin, N. К. Kuksanov, . Lavruhin,

S. Petrov, R. Salimov, S. Fadeev. Technological applications of industrial electron accelerators ofELV series// 5th International Conference on Electron Beam Technologies. \* Varna, Bulgaria, 1997 - P.342 -347.

1. Салимов P.А., Куксанов H.K., Петров C.E., Корчагин А.И., Фадеев С.Н., Лаврухин А.В., Воронин А.П., Ляхов Н.З. Получение ультрадисперсных материалов в мощном пучке ускоренных электронов // Тез. докл. 9-го Всероссийского сов. по применению ускорителей заряженных частиц в промышленности и медицине, Санкт-Петербург, 22­24 сентября, 1998 г. - М: 1998. - С. 38.
2. А.И. Корчагин, Н. К. Куксанов, А. В. Лаврухин, С. Е. Петров, Р. А. Салимов, С.Н. Фадеев, А. Ф. Вайсман, М. Г. Голковский. Высокотемпературные технологии с использованием выведенного в атмосферу сфокусированного пучка // Труды IX Межнационального совещания “Радиационная физика твердого тела”,- Севастополь: ПМТ при МГИЭМ(ТУ), 1999. - С. 1000-1009.
3. Бардаханов С.П., Корчагин А.И., Куксанов Н.К., Лаврухин А.В., Салимов Р.А., Фадеев С.Н. Способ получения нанодисперсных порошков пучком ускоренных электронов // Дисперсные системы: Тез. докл. XIX конф. стран СНГ. - Одесса: Астропринт, 2000,- С.18-15.
4. Бардаханов С.П., Корчагин А.И., Куксанов Н.К., Лаврухин А.В., Салимов Р.А., Фадеев С.Н. Получение нанодисперсных порошков пучком ускоренных электронов в атмосфере воздуха // Физикохимия ультрадисперсных систем: Материалы V Всерос. конф. - М.: МИФИ, 2000,- С.71-72..
5. Бардаханов С.П., Корчагин А.И., Куксанов Н.К., Лаврухин А.В., Салимов Р.А., Фадеев С.Н. Получение нанодисперсных порошков пучком ускоренных электронов в атмосфере воздуха // Физикохимия

ультрадисперсных систем: Сб. науч. трудов V Всерос. конф. -

Екатеринбург: УрО РАН, 2001. - Ч, 1- С.64-68.

1. Бардаханов С.П., Корчагин А.И. Получение нанодисперсных

порошков для керамических материалов на ускорителе электронов // Научно-практическая конференция «Керамические материалы: производство и применение)). - М., 2000. - С.81-82.

1. Bardakhanov S.P., Korchagin A.I., Kuksanov N.K., Lavrukhin A.V., Fadeev S.N., Salimov R.A. Fine particle production by electron beam in air // International Congress for Particle Technology. PARTEC 2001. Abstracts. - Nuremberg, Germany, 2001P. 103.
2. Bardakhanov S.P., Korchagin A.I., Kuksanov N.K., Lavrukhin A.V., Fadeev S.N. , Salimov R.A. Fine particle production by electron beam in air // International Congress for Particle Technology. PARTEC 2001. Proceedings. - Nuremberg, Germany, 2001.- CD-ROM.
3. Бардаханов С.П., Корчагин А.И., Куксанов Н.К., Лаврухин А.В., Салимов Р.А., Фадеев С.Н. Получение нанодисперсных порошков пучком ускоренных электронов в атмосфере воздуха // Физикохимия ультрадисперсных систем: Сб. науч. трудов V Всерос. конф. - Екатеринбург: УрО РАН, 2001. - Ч. 1- С.64-68.
4. Корчагин А. И. Новый способ получения нанодисперсных порошков // Динамика сплошной среды. - Новосибирск, 2001. - Вып. 117. Акустика неоднородных сред,- С.92-97.
5. S.P. Bardakhanov, S.A. Kozlov and A.I. Korchagin. Properties of nanopowders prepared using electron accelerator in air. International Conference on Materials for Advanced Technologies. 1-6 July 2001, Singapore. ICMAT-2001. Abstract.
6. S.P. Bardakhanov, S.A. Kozlov and A.I. Korchagin. Production of Nanopowders by Electron Accelerator in Air and Study of their Features// International conference on solid state ionics. SSI 2001, 8-13 Jule. Abstract,- Australia, 2001.
7. Lyakhov N.Z., Korchagin A.I., Lavrukhin A.V., Kuksanov N.K., Fadeev S.N., Bardakhanov S.P. Radiation technologies of oxide nanoparticles production // International Conference "Fundamental Bases of

Mechanochemical Technologies". Abstract. -Novosibirsk, 2001. - P. 39.

1. Бардаханов С.П., Корчагин А.И. Новый способ получения нанодисперсных порошков // Современные проблемы прикладной математики и механики: теория, эксперимент и практика Международная конференция, посвященная 80-летию академика Н.Н.Яненко. - Новосибирск, 2001. - CD-ROM, докл. №50.
2. Bardakhanov S.P., Korchagin A.I. Nanopowder Production by Electron Beam in Air // Joint Symposium between Sister Univrsities in Mechanical Engineering "Advanced Studies in Mechanical Engineering". - Korea: Yengnam University Press, 2002. - P.205-208.
3. Chang-Hwan Chang, Sung-Min Park, Yang Mo Koo, M. Golkovskii, A. Korchagin and N. Kuksanov. Surface Hardening of Carbon Steel Using an 1.0-2.5 MeV Accelerator in the Atmosphere // J. of the Korean Inst, of Met. & Mater. - 1993.-V. 31, No. 7. - P.921-928.
4. Салимов P.А., Куксанов H.K., Петров C.E., Корчагин А.И., Фадеев

С.Н., Лаврухин А.В., Вайсмап А.Ф., Голковский М.Г. Получение плавленых оксидных материалов в мощном пучке ускоренных электронов // Тез. ДОКЛ. 9-ГО Всероссийского СОВ. ПО' применению ускорителей заряженных частиц в промышленности и медицине, Санкт-Петербург, 22­24 сентября, 1998 г. - М: 1998. - С. 35.

1. S.N Fadeev, A.I. Korchagin, N.K. Kuksanov, A.V. Lavruchin, R.A. Salimov B.M. Kuchumov and M.F. Reznitchenko. The device for radiation- thermal high-temperature gas phase synthesis based on electron accelerator // Electron beam technologies (EBT). Sixth international conference on electron beam technologies. Abstract book. - Varna, Bulgaria, 2000. - P. 90-91
2. М.Г. Голковский, А.И. Корчагин, H.K. Куксанов, А.В. Лаврухин, Р.А. Салимов, С.Н. Фадеев, П.И. Остроменский, А.А. Батаев., В.А. Батаев,

А.Ф. Лашин. Перспектива применения электронно-лучевой технологии для повышения износостойкости боковой поверхности рельсов в действующем пути // Ускорители-2001. Десятое международное совещание по применению ускорителей заряженных частиц в промышленности и медицине. - С.- П., 2001.

1. А. Н. Белов, А. Ф. Вайсман, М. Г. Голковский, А. И. Корчагин, А.
2. Лаврухин, С.Е. Петров, С. Н. Фадеев. Разработка технологических процессов на экспериментальной установке с ускорителем ЭЛВ-6 // Тез. докл. 8-го Всероссийского сов. по применению ускорителей заряженных частиц в промышленности и медицине. - С.- П., 1995. - С. 91-92.
3. С.Н.Фадеев. А.И,Корчагин, Н.К.Куксанов, А.В.Лаврухин, Р.А.Салимов. Устройство для радиационно-термического

высокотемпературного газофазного синтеза на основе ускорителя электронов // Ускорители 2001. Десятое международное совещание по применению ускорителей заряженных частиц в промышленности и медицине. - С.- П., 2001.

1. Салимов Р.А., Куксанов Н.К., Петров С.Е., Корчагин А.И., Фадеев
2. Н., Лаврухин А.В., Вайсман А.Ф., Голковский М.Г. ‘ Применение ускорителя электронов типа ЗЛВ в качестве источника тормозного излучения // Тез. докл. 9-го Всероссийского сов. по применению ускорителей заряженных частиц в промышленности и медицине, Санкт- Петербург 22-24 сентября, 1998 г. - М: 1998. - С. 36.
3. A.I. Korchagin, N.K. Kuksanov, A.V. Lavruhin, R.A. Salimov, S.N. Fadeev, S.P. Bardahanov,B.M. Kuchumov, M.F. Reznitchenko, N.N. Kundo, V.A. Ivanchenko, O.P. Slyudkin. New technological applications of ELV-type accelerarors *!!* International Symposium on Radiation Technology in Emerging Industrial Applications, Beijing, People’s Republic of China, 6-10 November, 2000. - Пекин, 2000.
4. R.Tto, P.Andreo and T.Tabata. Reflection of electrons and photons from solids bombarded by 0.1 to 100-MeV electrons // J.Radiat. Phys. Chem. -1993.- V. 42, No. 4-6. - P,761-764.