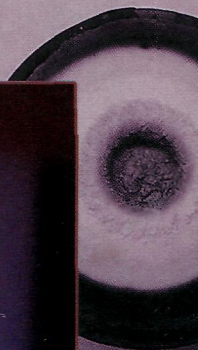
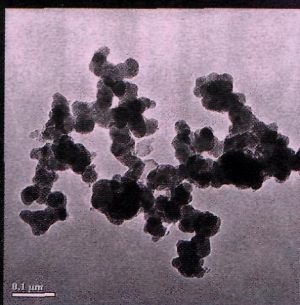


С.Ю. Соковнин, В.Г. Ильвес

**ПРИМЕНЕНИЕ  
ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА  
ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ  
НАНОПОРОШКОВ НЕКОТОРЫХ  
ОКСИДОВ МЕТАЛЛОВ**

100 nm



УДК 123.456 541.182.3  
ББК 34.39  
С59

Ответственный редактор д.ф.-м.н. **С.П. Никулин**

Рецензенты: д.ф.-м.н. **М.В. Медведев**, д.ф.-м.н. **А.И. Пушкарев**

- 59 Соковнин С.Ю., Ильвес В.Г.  
**Применение импульсного электронного пучка для получения нанопорошков некоторых оксидов металлов.** Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2011. – 318 с.  
ISBN 978-5-7691-2298-9

Описаны принципы создания и конструкции установок для получения нанопорошков методом испарения импульсным электронным пучком в газе низкого давления, а также результаты получения и исследования свойств нанопорошков некоторых оксидов металлов.

Созданные установки позволяют изготавливать нанопорошки оксидов с высокой удельной поверхностью (до  $338 \text{ м}^2/\text{г}$ ) при производительности до  $12 \text{ г/ч}$  и удельных затратах энергии  $\sim 112 \text{ кВт}\cdot\text{ч/г}$  (около 5 энергий сублимации). Во всех порошках присутствуют мелкокристаллическая и крупнокристаллическая фракции, различающиеся размером, а также аморфная компонента. Образование аморфной компоненты в большинстве нанопорошков, изготовленных с использованием методов электронного испарения импульсным или непрерывным пучком, является их характерной особенностью, что делает методы электронного испарения очень привлекательными для получения и изучения свойств нанопорошков во взаимосвязи с их аморфным состоянием.

Порошки имеют фрактальное строение, состоят из агрегатов размером от десятков до нескольких сотен нанометров, образованных кристаллическими наночастицами размером около  $3\text{--}5 \text{ нм}$ , с очень узким распределением частиц по размеру. Порошки имеют высокую дефектность структуры, что отразилось на их магнитных свойствах.

Книга может быть использована в качестве учебного пособия для студентов и аспирантов физических специальностей, в том числе по курсу «Физические установки» и справочника при курсовом и дипломном проектировании для направления 14030 – «Ядерная физика и технологии», специальностей 140306 – «Электроника и автоматика» и 330300 «Радиационная безопасность человека и окружающей среды». Содержит обширный фактический материал.

Библиогр. 198 назв. Ил. 87. Табл. 37.

УДК 123.456 541.182.3  
ББК 34.39

## ОГЛАВЛЕНИЕ

---

---

<b>Введение</b> .....	5
<b>Глава 1. Физические методы получения нанопорошков</b> .....	10
1.1. Классификация методов получения НП .....	10
1.2. ЭВП-метод получения НП .....	13
1.3. Лазерный метод получения НП .....	24
1.4. Плазмохимический метод .....	31
1.5. Механосинтез .....	33
1.6. Получение НП электронным пучком и анализ преимуществ и недостатков метода .....	35
Список литературы .....	43
<b>Глава 2. Свойства и методы диагностики НП</b> .....	46
2.1. Электронная микроскопия .....	47
2.2. Метод БЭТ .....	56
2.3. Рентгенофазовый анализ .....	59
2.4. Исследование химического состава методом масс-спектро- метрии с индуктивно-связанной плазмой .....	65
2.5. Синхронный термический анализ .....	69
2.6. Определение магнитной восприимчивости слабомагнитных веществ методом весов Фарадея .....	73
2.7. Исследование люминесцентных свойств методом КЛАВИ ..	76
Список литературы .....	80
<b>Глава 3. Получение НП методом испарения ИЭП в ГНД</b> .....	82
3.1. Обоснование выбора параметров источника электронов ..	82
3.2. Уточнение параметров экспериментальной установки .....	89
3.3. Общая схема и принцип работы установки НАНОБИМ-1 ..	94
3.4. Принцип работы импульсной плазменной ЭП .....	97
3.5. Вакуумная система и система проводки пучка электронов ..	99
3.6. Система сбора порошка и конструкция кристаллизатора ..	101
3.7. Общая схема и принцип работы установки НАНОБИМ-2 ..	105
3.8. Принцип работы ЭП на установке НАНОБИМ-2 .....	108
3.9. Система сбора порошка и конструкция кристаллизатора ..	111
Список литературы .....	117

<b>Глава 4. Тепловые и газодинамические расчеты, связанные с получением НП методами испарения мишени ИЭ и лазерным пучками</b> .....	118
4.1. Сравнение параметров установок НАНОБИМ с импульсным лазерным испарением .....	118
4.2. Тепловой режим облучаемой мишени .....	120
4.3. Теплоотдача наночастиц в разреженном газе .....	124
4.4. Торможение частицы окружающим газом .....	128
Список литературы .....	131
<b>Глава 5. Получение нанопорошков тугоплавких оксидов</b> ....	133
5.1. Получение нанопорошков YSZ в вакууме .....	133
5.2. Получение нанопорошков $\text{CeO}_2\text{-Gd}_2\text{O}_3$ в вакууме .....	143
5.3. Получение нанопорошков $\text{CeO}_2$ и $\text{CeO}_2\text{-(C, Fe, Cu)}$ в вакууме .....	148
5.4. Определение влияния добавки НП на структуру и механические свойства синтезируемых композиционных керамик ...	166
5.5. Получение и исследование свойств нанопорошков РКС на основе танталатов редкоземельных элементов .....	176
Список литературы .....	183
<b>Глава 6. Получение нанопорошков <math>\text{Al}_2\text{O}_3</math> и <math>\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Cu(Al)}</math> в вакууме</b> .....	187
6.1. Химический состав и УП НП $\text{Al}_2\text{O}_3$ и $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Cu(Al)}$ .....	190
6.2. Магнитные свойства НП $\text{Al}_2\text{O}_3$ и $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Cu(Al)}$ .....	191
6.3. Люминесцентные свойства нанопорошков $\text{Al}_2\text{O}_3$ и $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Cu(Al)}$ .....	194
6.4. Фазовые превращения в нанопорошках $\text{Al}_2\text{O}_3$ и $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Cu(Al)}$ .....	197
Список литературы .....	200
<b>Глава 7. Характеристики НП ZnS, полученных с помощью ИЭП</b> .....	202
7.1. Характеристики полученных порошков на основе ZnS ....	203
7.2. Магнитные свойства полученных НП на основе ZnS .....	204
7.3. Исследование люминесцентных свойств НП на основе ZnS .....	211
7.4. Термический анализ нанопорошков на основе ZnS .....	215
Список литературы .....	217
<b>Глава 8. Получение и исследование свойств НП на основе ZnO</b> .....	221
8.1. Методика эксперимента .....	221
8.2. Испарение мишеней из Zn-ZnO(нано) в атмосфере аргона ..	222
8.3. Испарение мишеней разного состава в атмосфере кислорода .....	225
8.4. Испарение мишеней из Zn-ZnO(нано) в вакууме .....	239
8.5. Испарение мишеней из Zn-ZnO(нано) и ZnO (XЧ) в воздухе .....	243
8.6. Испарение смесей из микронных порошков (ZnO (XЧ) + Zn) в аргоне и вакууме .....	246

8.7. Фазовые превращения в нанопорошках ZnO–Zn и ZnO . . . .	248
8.8. Исследование магнитных свойств нанопорошков ZnO и ZnO–Zn . . . . .	254
8.9. Получение и характеристики нанопорошков ZnO–Zn–Fe . .	262
8.10. Люминесцентные свойства нанопорошков ZnO и Zn–ZnO . . .	273
Список литературы . . . . .	283
<b>Глава 9. Использование НЭП для получения НП . . . . .</b>	<b>288</b>
9.1. НЭП как средство инициирования РХР . . . . .	288
9.2. Использование НЭП для получения НП серебра . . . . .	293
9.3. Разложение НЭП тетрахлорида кремния и титана для получения НП . . . . .	302
Список литературы . . . . .	310
<b>Заключение . . . . .</b>	<b>312</b>