

Б А К А Л А В Р И А Т

В.И. Капустин, А.С. Сизов

**ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА
И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА
НАНОМАТЕРИАЛОВ
И НАНОСТРУКТУР**

У Ч Е Б Н О Е П О С О Б И Е



Электронно-
Библиотечная
Система
znanium.com

Оглавление

Предисловие.....	3
Глава 1. Основные технологии наноматериалов	5
1.1. Технологии нанопорошковых материалов	5
1.1.1. Терминология нанопорошковых материалов.....	5
1.1.2. Нанопорошки оксидов металлов	6
1.1.3. Нанопорошки нитридов металлов.....	15
1.1.4. Нанопорошки металлов и сплавов	21
1.2. Эпитаксиальные технологии наноструктур	25
1.2.1. Классификация эпитаксиальных технологий.....	25
1.2.2. Молекулярно-лучевая эпитаксия	26
1.2.3. Газофазная эпитаксия.....	31
1.2.4. Технологии формирования пленок оксида кремния	38
1.2.5. Анодное, пиролитическое и термическое осаждение пленок	42
1.2.6. Технологии формирования пленок нитрида кремния	44
1.3. Ионно-плазменные технологии наноструктур	46
1.3.1. Технологии на основе СВЧ-плазменных разрядов	46
1.3.2. Технологии ионного распыления.....	48
1.3.3. Технологии термоионного осаждения пленок.....	53
1.3.4. Технологии ионной имплантации	56
1.3.5. Планарные магнетронные технологии	59
1.3.6. Реактивные и высокочастотные распылительные системы.....	63
1.4. Дефекты эпитаксиальных наноструктур.....	65
1.5. Промышленное производство наноматериалов.....	67
1.5.1. Номенклатура и стоимость наноматериалов	67
1.5.2. Производители и перспективы использования наноматериалов	70
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	<i>71</i>
Глава 2. Физические основы методов анализа материалов.....	73
2.1. Классификация методов анализа наноматериалов	73
2.1.1. Основные задачи методов анализа наноматериалов	73
2.1.2. Краткая история развития аналитических методов	75
2.1.3. Современный подход к развитию аналитических методов	76
2.2. Взаимодействие электронов с твердым телом	78
2.2.1. Вторичная электронная эмиссия.....	78
2.2.2. Электрон-фотонная эмиссия.....	82
2.2.3. Электронно-стимулированная десорбция	83
2.3. Взаимодействие ионов с твердым телом.....	85
2.3.1. Механизм рассеяния ионов низких энергий	85
2.3.2. Распыление твердых тел ионной бомбардировкой.....	86
2.3.3. Эмиссия фотонов при ионной бомбардировке.....	90
2.4. Взаимодействие фотонов с твердым телом.....	93
2.4.1. Рентгеновская область спектра.....	93
2.4.2. Ультрафиолетовая область спектра	95

2.4.3. Синхротронная область спектра	97
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	99
Глава 3. Контроль кристаллической структуры наноматериалов	100
3.1. Рентгеновская дифракция	100
3.1.1. Методика рентгеновской дифракции.....	100
3.1.2. Рентгеноструктурный анализ	101
3.1.3. Рентгенофазовый анализ.....	105
3.2. Автоионная микроскопия.....	108
3.2.1. Экспериментальная методика.....	108
3.2.2. Области применения	110
3.3. Дифракция медленных электронов.....	111
3.3.1. Экспериментальная методика.....	111
3.3.2. Области применения	114
3.4. Дифракция быстрых электронов.....	116
3.4.1. Экспериментальная методика.....	116
3.4.2. Области применения	118
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	120
Глава 4. Контроль размеров наночастиц и наноструктур	121
4.1. Метод Брюнера — Эммета — Теллера	121
4.1.1. Экспериментальная методика.....	121
4.1.2. Практическое применение	126
4.2. Метод анализа углового рэлеевского рассеяния	129
4.2.1. Экспериментальная методика.....	129
4.2.2. Практическое применение	131
4.3. Метод уширения линий рентгеновской дифракции	133
4.3.1. Экспериментальная методика.....	133
4.3.2. Практическое применение	134
4.4. Методы электронной микроскопии	139
4.4.1. Растровая электронная микроскопия	139
4.4.2. Просвечивающая электронная микроскопия	144
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	146
Глава 5. Контроль элементного состава наноматериалов	147
5.1. Электронная оже-спектроскопия.....	147
5.1.1. Физические основы оже-спектроскопии.....	147
5.1.2. Качественный и количественный анализ материалов.....	152
5.2. Другие методы электронной спектроскопии.....	155
5.2.1. Ионизационная электронная спектроскопия	155
5.2.2. Спектроскопия «потенциалов появления»	157
5.2.3. Истинно вторичная электронная спектроскопия.....	160
5.3. Спектроскопия обратно рассеянных ионов низких энергий.....	161
5.3.1. Механизм рассеяния ионов низких энергий.....	161
5.3.2. Методика исследования материалов методом СОРИНЭ.....	163
5.3.3. Области применения метода СОРИНЭ.....	166
5.4. Спектроскопия резерфордовского рассеяния.....	167
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	170

Глава 6. Анализ типа химических связей в наноматериалах	171
6.1. Электронная спектроскопия для химического анализа	171
6.1.1. Аналитические возможности метода ЭСХА	171
6.1.2. Области применения метода ЭСХА	174
6.2. Вторично-ионная масс-спектрометрия	178
6.2.1. Экспериментальная методика	178
6.2.2. Области применения метода ВИМС	181
6.3. Рамановская спектроскопия	186
6.3.1. Экспериментальная методика	186
6.3.2. Области применения	189
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	<i>194</i>
Глава 7. Анализ дефектов кристаллической структуры наноматериалов	195
7.1. Дефекты и электронная структура наноматериалов	195
7.2. Методы оптической спектроскопии	200
7.2.1. Экспериментальная методика	200
7.2.2. Практическое применение	205
7.3. Спектроскопия характеристических потерь энергии электронов	210
7.3.1. Экспериментальная методика	210
7.3.2. Практическое применение	214
7.4. Фотоэлектронная спектроскопия	221
7.4.1. Рентгеновская область спектра	222
7.4.2. Синхротронная область спектра	230
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	<i>237</i>
Библиографический список	238