

Синдо, Д.

Аналитическая просвечивающая электронная микроскопия / Д. Синдо, Т. Оикава; пер. с англ. С. А. Иванова. — Москва: Техносфера, 2006. — 249, [4] с.: ил. — (Мир материалов и технологий).

УДК 621.385.833 + 537.533.35

ББК 31

Ч/З №1 — 3 экз.

Монография посвящена особенностям конструкции современных просвечивающих электронных микроскопов (ПЭМ), спектроскопии потерь энергии электронов (СПЭЭ), энергодисперсионной электроннозондовой рентгеновской спектроскопии (ЭДС), а также цифровым системам регистрации изображений, в том числе на основе цифровых ПЗС камер и системам на основе электронно-стимулированной фотолюминесценции (IP-системам), устанавливаемых на современные ПЭМ. Даны подробные описания аналитических методик и интерпретации полученных результатов.

В книге представлен новейший метод трехмерной томографии с помощью ПЭМ и метода ALCHEMI для анализа дефектов замещения в кристаллах. Также изложены прикладные методы для анализа магнитных материалов, метод электронной голографии.

Настольная книга материаловеда.



МИР материалов и технологий

Д. СИНДО, Т. ОИКАВА

Аналитическая
просвечивающая
электронная
микроскопия

Перевод с английского
С.А. Иванова

ТЕХНОСФЕРА

Москва

2006

Содержание

Предисловие автора	12
Предисловие переводчика	15
Глава 1. Основные принципы аналитической электронной микроскопии	15
1.1. Взаимодействие между электронами и материалами	15
1.1.1. Рассеяние электронов	15
1.1.2. Фундаментальные величины, характеризующие рассеяние электронов	17
1.1.3. Моделирование процесса рассеяния	23
1.2. Неупругое рассеяние электронов и аналитическая электронная микроскопия	25
1.2.1. Краткое описание спектроскопии потерь энергии электронов и энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии	25
1.2.2. Аналитическая электронная микроскопия и методы характеризации материалов	28
1.3. Просвечивающий электронный микроскоп с компьютерным управлением и управление данными анализа	32
Литература	34
Глава 2. Составные части и основы эксплуатации аналитических электронных микроскопов	35
2.1. Основные составные части аналитических электронных микроскопов	35
2.1.1. Электронная пушка	37
2.1.2. Высоковольтный генератор и ускоритель	44
2.1.3. Линзовая система осветителя и дефлектор	46
2.1.4. Держатели образцов	49
2.1.5. Формирующая линзовая система	51
2.1.6. Камера наблюдения и камера фоторегистрации (система регистрации изображений)	60
2.2. Принципы управления просвечивающими электронными микроскопами	73
2.2.1. Юстировка линз и коррекция астигматизма	73
2.2.2. Настройка фокуса объективной линзы	80
Литература	82
Глава 3. Спектроскопия характеристических потерь энергии электронов	83
3.1. Неупругое рассеяние электронов	84
3.2. Спектрометры для СХПЭЭ	86

3.2.1. Дисперсия электронов по энергии	86
3.2.2. Оптика спектрометра	86
3.2.3. Последовательное и параллельное детектирование спектра	88
3.2.4. Компенсация внешнего магнитного поля	91
3.3. Особенности анализа методом СХПЭЭ	92
3.3.1. Ускоряющее напряжение	92
3.3.2. Приемный угол спектрометра	94
3.3.3. Режимы анализа	96
3.3.4. Пределы обнаружения при анализе методом СХПЭЭ	97
3.4. Теоретические основы СХПЭЭ	97
3.5. Анализ спектров потерь энергии электронов	103
3.5.1. Потери энергии вследствие плазмонных возбуждений ...	103
3.5.2. Измерение средней длины свободного пробега неупругого рассеяния и оценка толщины образца	105
3.5.3. Потери энергии в результате возбуждения электронов внутренних оболочек	108
3.6. Принципы и применение метода энергетической фильтрации электронов	122
3.6.1. Электронная оптика энергетического фильтра	122
3.6.2. Энергетические фильтры и их особенности	125
3.6.3. Методика анализа с энергетической фильтрацией электронов и ее применение	130
Литература	140
Глава 4. Энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия	143
4.1. Эмиссия характеристического рентгеновского излучения	143
4.2. Рентгеновские детекторы и принцип их действия	147
4.2.1. Детекторы с бериллиевым окном	148
4.2.2. Детекторы с ультратонким окном	148
4.3. Методика анализа с помощью энергодисперсионного рентгеновского спектрометра	151
4.3.1. Детектирование рентгеновского излучения	151
4.3.2. Пространственное разрешение	152
4.3.3. Отношение пик/фон	152
4.3.4. Метод картирования элементного состава	153
4.3.5. Предел обнаружения энергодисперсионного рентгеновского спектрометра	155
4.4. Количественный анализ	156
4.4.1. k -фактор	156
4.4.2. Практика количественного анализа	157
4.5. Особенности количественного анализа	159
4.5.1. Поглощение рентгеновского излучения образцом	159
4.5.2. Статистическая погрешность	161
4.5.3. Вторичный пик, суммарный пик и другие	161
4.5.4. Особенности анализа кристаллических образцов	162

4.6. Метод ALCHEMI	166
4.6.1. Принцип метода ALCHEMI	166
4.6.2. Определение коэффициента заполнения узлов решетки примесью замещения методом ALCHEMI	171
4.6.3. Погрешность метода ALCHEMI и особенности его применения	175
Приложение	177
Литература	179
Глава 5. Приставки к электронным микроскопам для различных аналитических методов	181
5.1. Электронная дифракция	181
5.1.1. Электронная дифракция в нанопучке	181
5.1.2. Электронная дифракция в сходящемся пучке	183
5.2. Лоренцева микроскопия	193
5.2.1. Принципы лоренцевой микроскопии	195
5.2.2. Метод Френеля (метод дефокусировки)	196
5.2.3. Метод Фуко (метод полной фокусировки)	200
5.3. Электронная голография	203
5.3.1. Принципы электронной голографии	203
5.3.2. Практика электронной голографии	208
5.4. Растровая электронная микроскопия	219
5.4.1. Принципы растровой электронной микроскопии и ее применение	219
5.4.2. Темнопольная просвечивающая растровая электронная микроскопия с регистрацией высокоугловых рассеянных электронов	224
5.5. Методы пробоподготовки	227
5.5.1. Метод дробления	227
5.5.2. Электрополировка	228
5.5.3. Химическое травление	229
5.5.4. Ультрамикротомия	230
5.5.5. Ионное травление	232
5.5.6. Метод ионного травления фокусированным ионным пучком	233
5.5.7. Вакуумное напыление	234
5.5.8. Наблюдение образцов	235
Литература	236
Приложения	239
Приложение А: Физические константы, коэффициенты пересчета, длины волн электронов	239
Приложение В: Значения энергии связи электронов и энергии характеристического рентгеновского излучения	241
Приложение С: Вакуумная система электронного микроскопа	247