

УДК 538.94  
ББК 22.37я73  
Ф76

*Рекомендовано  
учебно-методическим советом университета  
Рецензенты:*

*Бафилиников С.В., профессор кафедры физики и методики обучения  
физике БГПУ, д-р физ.-мат. наук, профессор;  
Стукова Е.В., зав. кафедрой физики АМГУ, в.н.с. НОЦ АМГУ,  
канд. физ.-мат. наук, доцент*

**Фомин, Д. В.**

Ф76 Экспериментальные методы физики твердого тела :  
учебное пособие / Д. В. Фомин. — Изд. 2-е, стер. —  
Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2019. — 186 с.

ISBN 978-5-4499-0151-4

Учебное пособие подготовлено для бакалавров и магистров инженерно-физических направлений подготовки высшего профессионального образования изучающих дисциплины «Экспериментальные методы физики твердого тела» и «Теоретические и экспериментальные методы физики твердого тела». Будет интересно аспирантам и молодым ученым естественнонаучного блока.

Данное учебное пособие не претендует на энциклопедичность в рассматриваемой области знаний, поскольку в нем представлены экспериментальные методы физики твердого тела на основе приборной базы Амурского государственного университета. Тем не менее пособие охватывает большой спектр методов, построенных на использовании различных физических явлений. Таких как вторичная электронная эмиссия, дифракция, квантовые эффекты, взаимодействия поверхности с твердотельными нанозондами.

В пособии достаточно подробно рассмотрены вопросы, касающиеся работы со сверхвысоковакуумными установками, имеются схемы *in-situ* экспериментов.

УДК 538.94  
ББК 22.37я73

ISBN 978-5-4499-0151-4 © Фомин Д. В., текст, 2019  
© Издательство «Директ-Медиа», оформление, 2019

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Глава 1. Условия проведения экспериментов .....	8
Техника сверхвысокого вакуума.....	10
СВВ системы откачки.....	10
Сверхвысоковакуумные камеры и фланцы .....	18
Приготовление атомарно-чистой поверхности .....	21
Эпитаксия .....	24
Техника термического осаждения в вакууме .....	28
Источники напыления .....	30
Измерители толщины пленок.....	34
Экспериментальные методы физики твердого тела.....	39
Глава 2. Методы исследования, построенные на явлении вторичной электронной эмиссии.....	42
Дифференциальный энергетический спектр вторичных электронов .....	45
Оже-электронная спектроскопия .....	46
Регистрация оже-электронов.....	53
Глубина выхода оже-электронов.....	54
Оже-анализ .....	55
Анализаторы энергии электронов.....	58
Энергоанализатор типа цилиндрическое зеркало .....	61
Спектроскопия характеристических потерь энергии электронами.....	67
Анализ с помощью СХПЭЭ.....	73
Фотоэлектронная спектроскопия .....	76
Экспериментальное оборудование ФЭС .....	78
Анализ с помощью метода ФЭС .....	80
Растровая электронная микроскопия .....	85
Формирование электронного зонда .....	87
Детекторы вторичных сигналов в РЭМ.....	89
Взаимодействие электронного пучка с веществом .....	92
Основные механизмы упругих и неупругих потерь энергии электронов в веществе .....	93
Основные источники сигналов, используемых в РЭМ для формирования изображения.....	95
Область взаимодействия электронов зонда с веществом .....	102

Основные механизмы формирования изображения в РЭМ.....	105
Методы обработки видеосигнала в РЭМ.....	109
Глава 3. Методы исследования, построенные на явлениях дифракции .....	114
Дифракция медленных электронов .....	115
Интерпретация картин ДМЭ .....	118
Дифракция быстрых электронов.....	128
Аппаратура ДБЭ.....	129
ДБЭ анализ .....	131
Дифракция рентгеновских лучей .....	134
Структурный анализ с помощью РД.....	137
Глава 4. Методы сканирующей зондовой микроскопии.....	140
Сканирующая туннельная микроскопия.....	142
Атомно-силовая микроскопия.....	149
Электросиловая и магнитно-силовая микроскопии .....	157
Аппаратура СЗМ .....	163
Глава 5. Методы исследования, построенные на квантовых эффектах.....	165
Электронный парамагнитный резонанс.....	165
Квантовомеханическая интерпретация ЭПР .....	166
Классическая интерпретация ЭПР .....	170
Устройство ЭПР спектрометров .....	173
Основные характеристики спектров ЭПР.....	176
Спектрометры электронного парамагнитного резонанса .....	181

**Фомин Дмитрий Владимирович,**

*директор научно-образовательного центра, доцент кафедры физики АмГУ,  
канд. физ-мат. наук*