

ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ

ФИЗИКА РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ



В. М. Стожаров



E.LANBOOK.COM

В. М. СТОЖАРОВ

ФИЗИКА РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ



ЛАНЬ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ · МОСКВА · КРАСНОДАР
2022

УДК 53
ББК 22.3я73

С 81 Стожаров В. М. Физика рентгеновского излучения : учебное пособие для вузов / В. М. Стожаров. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 100 с. — Текст : непосредственный.

ISBN 978-5-8114-8753-0

В первой главе рассмотрены принципы рентгеноструктурного анализа и связанные с ними некоторые вопросы кристаллографии. Во второй главе изложены теоретические принципы элементного анализа многокомпонентных веществ, примененные к анализу природных алюмосиликатов (глин) и диоксида титана. Показано, что метод элементного анализа в пределах десятых долей процента не зависит от полиморфизма исследуемого материала. В третьей главе рассмотрено явление полного внешнего отражения (ПВО) рентгеновских лучей от металлов и показано, что метод ПВО имеет чисто поверхностный характер и в сочетании с рентгеновской дифракцией установлен закон обратной зависимости показателя преломления рентгеновских лучей от межплоскостного расстояния. В следующей главе рассмотрено определение в твердых телах плазменных колебаний, возбужденных рентгеновскими лучами. Показана возможность измерения энергии плазмонов, концентрации плазменных локализованных электронов и энергии Ферми в металлах. Существенное расширение возможностей определения плазмонов методом ПВО обеспечил метод исследования дисперсии плазмонов в твердых телах. Показано, что этот метод позволяет определять внутренние механические напряжения и поляризацию в поверхностных слоях аморфных и кристаллических диэлектриков и полупроводников толщиной несколько нанометров.

УДК 53
ББК 22.3я73

Обложка
П. И. ПОЛЯКОВА

© Издательство «Лань», 2022
© В. М. Стожаров, 2022
© Издательство «Лань»,
художественное оформление, 2022

3.2. Принципы теоретической обработки кривых отражения рентгеновских лучей от поверхности твёрдого тела	37
3.2.1. Расчёты показателя преломления рентгеновских лучей и декремент показателя преломления	37
3.2.2. Расчёт глубины выхода h из твёрдых тел рентгеновских лучей, испытавших ПВО	38
3.2.3. Расчёт по дифрактограммам количества поверхностных $N_{\text{кр пов}}^{hkl}$ кристаллитов.....	38
3.3. Применение принципов теоретической обработки рентгенограмм ПВО рентгеновских лучей.....	39
Глава 4. Определение характеристик плазменных колебаний, возбуждённых рентгеновскими лучами в поверхностном слое твёрдого тела	44
4.1. Теоретические представления о плазмонах	44
4.2. Применение теоретических представлений о плазмонах к полному внешнему отражению рентгеновских лучей от металлов.....	46
4.3. Механизм возбуждения плазмонов в твёрдых телах методом полного внешнего отражения рентгеновских лучей	47
4.4. Результаты расчётов энергий плазмонов из экспериментальных измерений методом ПВО рентгеновских лучей и их обсуждение.....	48
Глава 5. Дисперсия плазмонов в твёрдых телах методом полного внешнего отражения рентгеновских лучей.....	50
5.1. Дисперсия плазмонов в аморфных стеклообразных диэлектриках.....	50
5.1.1. Особенности методики измерения дисперсии плазмонов.....	51
5.1.2. Расчёты микроскопических характеристик стеклообразных диэлектриков.	52
5.1.2.1. Расчёт энергии плазмонов.....	52
5.1.2.2. Расчёт величины зоны выхода h рентгеновского излучения, испытавшего ПВО в плавленном кварце	52
5.1.2.3. Расчёт плотности N_0 локализованных плазменных электронов и их числа N в зоне выхода h	53
5.1.3. Экспериментальные и расчётные данные по дисперсии плазмонов в аморфных стеклообразных диэлектриках	54
5.2. Дисперсия плазмонов в аморфных полупроводниках	62
5.2.1. Технологии изготовления тонких плёнок аморфных полупроводников.....	62
5.2.2. Дисперсия плазмонов в аморфных плёнках халькогенидных полупроводников	63
5.2.2.1. Теоретические расчёты микроскопических характеристик тонких плёнок аморфных халькогенидных полупроводников	63
5.2.2.2. Результаты экспериментальных исследований дисперсии плазмонов в аморфных плёнках халькогенидных полупроводников и их обсуждение	65

5.2.3. Дисперсия плазмонов в аморфных плёнках дисульфида молибдена	67
5.2.3.1. Теоретические расчёты микроскопических характеристик сульфида молибдена	67
5.2.3.2. Результаты экспериментов и расчётов для сульфида молибдена	68
5.2.4. Дисперсия плазмонов в аморфных плёнках диоксида ванадия VO ₂	69
5.2.4.1. Теоретические расчёты микроскопических характеристик аморфных плёнок диоксида ванадия	69
5.2.4.2. Рентгеноструктурный анализ образцов тонких плёнок диоксида ванадия	72
5.2.4.3. Исследование дисперсии плазмонов в образцах тонких плёнок диоксида ванадия	73
5.2.4.4. Анализ результатов исследования тонких плёнок диоксида ванадия	76
5.3. Дисперсия плазмонов в кристаллических полупроводниках	77
5.3.1. Монокристалл кремния Si	77
5.3.2. Монокристалл германия Ge	81
5.3.3. Монокристаллы антимонида галлия GaSb	85
5.3.4. Анализ экспериментальных и расчётных данных, полученных в кристаллических полупроводниках	88
Заключение	90
Список литературы	91