

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	8
Глава 1. Поглощение рентгеновских лучей — польза и вред	10
1.1. Рентгеновы лучи	10
1.2. Взаимодействия рентгеновских лучей с веществом	12
1.2.1. Упругое и неупругое рассеяние рентгеновских лучей	12
1.2.2. Фотоэлектрический эффект. Рентгеновская флуоресценция ..	17
1.3. Детекторы рентгеновского излучения.....	23
1.3.1. Газонаполненные ионизационные детекторы	27
1.3.2. Фотопленка	31
1.3.3. Сцинтилляционные счетчики	33
1.3.4. ImagePlate детекторы	36
1.3.5. Двумерные детекторы с ПЗС-матрицами	38
1.3.6. Рpп-диодные позиционно-чувствительные детекторы	41
1.4. Экспериментальные методы исследования, использующие эффекты поглощения рентгеновских лучей.....	49
1.4.1. Рентгеновская спектроскопия	49
1.4.2. EXAFS-, XANES-спектроскопия	51
1.4.3. Томография, ламинография, топо-томография	59
1.4.4. Топотомография	63
1.4.5. Ламинография	64
1.5. Биологическое действие рентгеновского излучения	64
1.5.1. Дозы рентгеновского излучения	71
Список литературы к гл. 1	72
Глава 2. Источники рентгеновского излучения. Рентгеновские трубки и синхротронные источники. Дифракция рентгеновских лучей в приближении геометрической оптики. Рентгеновская кристаллография	75
2.1. Источники рентгеновского излучения	75
2.1.1. Количественные характеристики рентгеновского излучения ..	76
2.1.2. Генераторы рентгеновских лучей	77
2.1.3. Рентгеновские трубки	79
2.2. Начальные элементы рентгеноструктурного анализа кристалличе- ских веществ.....	120
2.2.1. Уравнения Лауэ — дифракция и интерференция рентгенов- ских лучей в кристаллах	120

2.2.2. Формула Брэгга–Вульфа — практическая рентгеновская дифрактометрия кристаллических материалов	122
2.2.3. Основы рентгеновской кристаллографии	124
Список литературы к гл. 2	135
Глава 3. Интенсивность рассеяния рентгеновских лучей кристаллами — атомная структура	137
3.1. Рассеяние свободным электроном. Случай поляризованного излучения	139
3.2. Случай неполяризованного излучения и поляризационный множитель	141
3.3. Рассеяние атомом и атомный фактор	144
3.4. Случай резонансного рассеяния	146
3.5. Структурный фактор — рассеяние рентгеновских лучей элементарной ячейкой кристалла	148
3.6. Удельная отражательная способность кристалла	150
3.7. Рентгеноструктурный анализ и фазы структурных факторов	153
3.8. Метод проб и ошибок	154
3.9. Метод функций Паттерсона	155
3.10. Прямые методы (построение разностных карт Фурье)	156
Список литературы к гл. 3	157
Глава 4. Рентгеновская компьютерная томография (математические аспекты)	158
4.1. История томографии	158
4.1.1. Современные медицинские томографы	162
4.1.2. Современные микротомографы	165
4.2. Рентгеновская компьютерная томография	167
4.2.1. Абсорбционная (трансмиссионная) рентгеновская томография	168
4.2.2. Преобразование Радона	169
4.2.3. Метод свертки и обратной проекции (FBP)	170
4.2.4. Что такое синограмма	171
4.2.5. Переход от цилиндрической системы координат к декартовой	173
4.2.6. Теорема о свертке	176
4.2.7. Алгебраический метод	182
4.2.8. Модификация алгебраического метода (RegART)	187
4.2.9. Сравнение алгоритмов реконструкции	188
4.2.10. Фантом для определения чувствительности метода	191
4.2.11. Разброс значений коэффициента поглощения при разных методах реконструкции	193
4.2.12. Объекты для определения чувствительности и пространственного разрешения	195

4.3.Arteфакты рентгеновской томографии.....	197
4.3.1. Arteфакты, вызванные физическими процессами	197
Список литературы к гл. 4	208
Глава 5. Современные микротомографы и рентгенооптические элементы	211
5.1. Современные микротомографы и рентгенооптические элементы.....	211
5.1.1. Зонная пластинка	213
5.1.2. «Топотомография»	214
5.1.3. Повышение разрешения лабораторной рентгеновской томо- графии и информативности экспериментальных данных	218
5.1.4. Рабочий диапазон по шкале Хаунсфелда	241
Приложение к гл. 5	242
Список литературы к гл. 5	245
Глава 6. Полное внешнее отражение рентгеновских лучей	248
6.1. Отражение рентгеновской волны от гладкой поверхности.....	248
6.2. Эффект полного внешнего отражения рентгеновских лучей.....	251
6.3. Связь оптических констант с коэффициентом поглощения.....	252
6.4. Глубина проникновения излучения	252
6.5. Интерференционные явления, возникающие в системе «тонкий слой–подложка»	253
6.6. Отражение от многослойных покрытий	255
6.7. Учет шероховатости	257
6.8. Корреляционная теория рассеяния рентгеновского излучения на шероховатых поверхностях	263
6.9. Обратная задача в рефлектометрии.....	269
6.10. Экспериментальные установки.....	272
Список литературы к гл. 6	278
Глава 7. Рентгеновские исследования шероховатых поверхностей..	280
7.1. Эксперимент.....	280
7.1.1. Экспериментальная рентгеновская установка	280
7.1.2. Методика эксперимента	285
7.1.3. Обработка экспериментальных данных	288
7.1.4. Анализ ошибок эксперимента	289
7.2. Результаты экспериментов.....	292
7.2.1. Индикатриса рассеяния и PSD-функция поверхности	292
7.2.2. Характерный вид PSD-функции	294
7.2.3. Качество подложек в зависимости от их расположения при обработке	294
7.2.4. Предельные результаты	296

7.2.5. Факторы, влияющие на гладкость поверхности	299
7.2.6. Ионное травление	301
7.3. Сравнение различных методов контроля качества поверхности	303
7.3.1. Атомно-силовая микроскопия	303
7.3.2. Результаты сравнения	306
7.3.3. Преимущества метода рентгеновского рассеяния	308
7.3.4. Диапазоны пространственных частот, покрываемые различными методами исследования поверхности	309
7.3.5. Сравнение результатов по трем методам	310
7.3.6. Зависимость среднеквадратичного отклонения высоты от размеров области сканирования	311
7.4. Исследование шероховатости вогнутых образцов с использованием эффекта «шепчущей галереи»	311
Список литературы к гл. 7	312
Глава 8. Рефлектометрия систем с переменной плотностью	314
8.1. Учет влияния приповерхностного слоя с переменной плотностью на отражение и рассеяние рентгеновских лучей	314
8.1.1. Коэффициент отражения при наличии переходного слоя	314
8.1.2. Индикатриса рассеяния	316
8.1.3. Экспериментальные результаты	318
8.2. Связь рельефа подложки и нанесенной на нее пленки	322
8.2.1. Краткая теория (тонкая пленка)	322
8.2.2. Экспериментальные результаты	324
8.2.3. Сравнение двух независимо определенных двумерных PSD-функций для двух различных образцов	326
8.3. Обратная задача рентгеновской рефлектометрии	329
8.3.1. Краткая теория	330
8.3.2. Проблема единственности решения	335
8.3.3. Некоторые результаты	338
Список литературы к гл. 8	342
Глава 9. Рентгенооптические элементы	343
9.1. Зеркальная рентгеновская оптика	343
9.1.1. Зеркала полного внешнего отражения (зеркала скользящего падения)	343
9.1.2. Капиллярные оптические системы	348
9.1.3. Многослойные рентгеновские зеркала	356
9.2. Фокусирующая дифракционная оптика	367
9.2.1. Зонные пластинки	367
9.2.2. Отражающие зонные пластинки	376
9.3. Преломляющая рентгеновская оптика	378
9.3.1. Составные преломляющие линзы	378

9.3.2. Составные бериллиевые линзы	380
Список литературы к гл. 9	382
Глава 10. Исследование моно- и полидисперсных наносистем методом малоуглового рентгеновского рассеяния	385
10.1. Малоугловое рассеяние рентгеновских лучей (SAXS)	385
10.2. SAXS-эксперимент	389
10.3. Основные теоретические сведения	393
10.4. Интерпретация данных малоуглового рассеяния от полидисперсных систем	411
10.5. Исследование частиц в монодисперсных системах	416
10.6. Определение структуры частиц в монодисперсных системах	422
10.6.1. Метод сферических гармоник	422
10.6.2. Метод виртуальных атомов	428
10.6.3. Метод молекулярной тектоники	434
Список литературы к гл. 10	436
Глава 11. Рентгеновский фазовый контраст	438
Введение	438
11.1. Общее представление о когерентности. Продольная и поперечная когерентность. Мера когерентности. Количественные оценки когерентности. (Солнце как когерентный источник для наблюдателя на Земле)	438
11.2. LLL-интерферометр	441
11.3. Тальбо-интреферометр	443
11.4. Фазовый контраст на кристаллах	449
11.5. Фазовый контраст Цернике	452
11.6. In-line-голография	456
11.7. Томография с фазовым контрастом	459
Список литературы к гл. 11	461
Заключение	464
Предметный указатель	465