

Ф. Ф. Комаров
С. В. Константинов

ИОННАЯ И ФОТОННАЯ ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ

*Допущено
Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебного пособия
для студентов учреждений высшего образования
по специальностям
«Физическая электроника», «Радиофизика»*



Минск
«Вышэйшая школа»
2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ГЛАВА 1. ОСОБЕННОСТИ И ВОЗМОЖНОСТИ МЕТОДА ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ	3
1.1. Оборудование для ионного внедрения	8
1.2. Системы автоматизированного управления установками ионной имплантации	15
ГЛАВА 2. ЛАГРАНЖИАН ЗАМКНУТОЙ СИСТЕМЫ ЧАСТИЦ	19
2.1. Приведенная масса	20
ГЛАВА 3. КЛАССИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ ИОНА В ЦЕНТРАЛЬНОМ ПОЛЕ	22
ГЛАВА 4. ПОТЕНЦИАЛЫ ИОННО-АТОМНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ	26
ГЛАВА 5. СЕЧЕНИЯ РАССЕЯНИЯ	32
5.1. Сечение упругого торможения	34
ГЛАВА 6. СЕЧЕНИЕ НЕУПРУГОГО ТОРМОЖЕНИЯ	37
ГЛАВА 7. ПРОБЕГИ ИОНОВ. ПРОФИЛИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИОНОВ И ВЫДЕЛЕННОЙ ЭНЕРГИИ	41
ГЛАВА 8. МЕТОД МОМЕНТОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ	45
8.1. Высокоэнергетическая ионная имплантация	54
8.1.1. Пространственное распределение внедренных атомов и первичных радиационных дефектов при МэВ-й имплантации	57
8.1.2. Пространственное распределение внедренных атомов и радиационного повреждения при $E \geq 1$ МэВ/а.е.м.	60
8.1.3. Особенности дефектообразования в кремнии при высокоэнергетической ионной имплантации.	64
8.1.4. Формирование однородно-легированных толстых слоев	70
8.1.5. Создание скрытых изолирующих и проводящих слоев на глубине кристалла.	74
8.1.5.1. Создание вертикальной изоляции в кремнии и скрытых проводящих слоев	75
8.1.5.2. Создание горизонтальной изоляции на A^3B^5 -полупроводниках	89

8.1.5.3. «Smart-cut»-процесс формирования КНИ-структур.	92
8.1.5.4. Ионная имплантация для создания наночастиц и квантовых точек	98
8.1.5.5. Процессы трекообразования при облучении твердых тел ионами высоких энергий. Применение трековой технологии	104
ГЛАВА 9. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОБЕГОВ ИОНОВ В ДВУХСЛОЙНЫХ СТРУКТУРАХ	120
ГЛАВА 10. ИМПЛАНТАЦИЯ АТОМАМИ ОТДАЧИ	124
ГЛАВА 11. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИМЕСЕЙ И РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ ПРИ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ ЧЕРЕЗ ОКНА В МАСКЕ	127
ГЛАВА 12. ВЛИЯНИЕ ЭФФЕКТА КАНАЛИРОВАНИЯ НА ПРОБЕГИ ИОНОВ.	133
ГЛАВА 13. ПРОФИЛИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АТОМОВ ИМПЛАНТИРОВАННЫХ ПРИМЕСЕЙ ПРИ ВЫСОКИХ ФЛЮЕНСАХ ОБЛУЧЕНИЯ .	141
13.1. Формулы для расчета коэффициента распыления.	145
13.2. Диффузионное перераспределение примеси.	148
ГЛАВА 14. КАСКАДЫ АТОМНЫХ СТОЛКНОВЕНИЙ	153
ГЛАВА 15. СООТНОШЕНИЕ КАСКАДНОЙ ТЕОРИИ И ЭКСПЕРИМЕНТА	157
ГЛАВА 16. ТИПЫ ИОННО-РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ	160
ГЛАВА 17. НАКОПЛЕНИЕ ДЕФЕКТОВ И АМОРФИЗАЦИЯ	163
ГЛАВА 18. РАВНОВЕСНЫЙ ТЕРМИЧЕСКИЙ ОТЖИГ ИМПЛАНТИРОВАННЫХ КРИСТАЛЛОВ. ТВЕРДОФАЗНАЯ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИЯ АМОРФНЫХ СЛОЕВ	168
ГЛАВА 19. БЫСТРАЯ ТЕРМООБРАБОТКА ИОННО-ИМПЛАНТИРОВАННЫХ СЛОЕВ.	175
ГЛАВА 20. ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПОЛЯ	178
ГЛАВА 21. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВНЕДРЕННЫХ ПРИМЕСЕЙ ПРИ БТО С РАСПЛАВЛЕНИЕМ СЛОЯ И БЕЗ НЕГО	183

ГЛАВА 22. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИМПЛАНТИРОВАННЫХ СЛОЕВ.	187
22.1. Выбор метода постимплантационных измерений	187
22.2. Травление <i>p-n</i> -переходов	193
22.3. Определение типа проводимости	195
22.4. Методы, основанные на измерении поверхностного сопротивления	197
22.5. Определение времени жизни неосновных носителей заряда	214
22.6. Анализ имплантационных слоев с помощью легких высокоэнергетических ионов	215
22.6.1. Обратное резерфордское рассеяние	217
22.6.2. Каналирование и местоположение атомов в кристаллической решетке	220
22.6.3. Характеристическое рентгеновское излучение	225
22.6.4. Метод ядерных реакций	229
22.7. Масс-спектроскопия вторичных ионов	233
22.8. Рентгеноструктурный и фазовый анализ	235
ЛИТЕРАТУРА	241
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА.	243