

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	10
Глава 1. Обзор методов модифицирования поверхности	11
1.1. Введение	11
1.2. Поверхностный нагрев	13
1.3. Эпитаксиальный рост кристаллов	15
1.4. Метастабильные фазы	17
1.5. Эффекты, обусловленные ионной бомбардировкой	18
1.5.1. Вложенная энергия и каскадные процессы	18
1.5.2. Распыление и массоперенос	20
1.6. Область применения и направления будущих исследований	22
Список литературы	23
Глава 2. Поглощение энергии и тепловые потоки при импульсном лазерном, электронном и ионном облучении	24
2.1. Введение	24
2.2. Взаимодействие лазерных пучков с полупроводниками	26
2.2.1. Поглощение света и передача энергии решетке	26
2.2.2. Эксперименты с измерением параметров в процессе облучения	29
2.2.3. Нагрев и охлаждение	32
2.3. Взаимодействие лазерных пучков с металлами	40
2.3.1. Ввод энергии	40
2.3.2. Нагрев и охлаждение	40
2.3.3. Нагрев и охлаждение многослойных систем	44
2.3.4. Напряженно-деформированное состояние, обусловленное лазерным облучением	46
2.4. Облучение материалов электронным пучком	48
2.4.1. Ввод энергии	48
2.4.2. Нагрев и охлаждение	51
2.5. Облучение материалов ионными пучками	53
2.5.1. Ввод энергии	53
2.5.2. Нагрев и охлаждение	53
2.6. Заключение	54
Список литературы	55
Глава 3. Рост кристаллов и фазовые превращения	58
3.1. Введение	58
3.2. Рост кристаллов	59
3.2.1. История вопроса	59
3.2.2. Рост кристаллов как кооперативный процесс	62
3.2.3. Скорости роста кристаллов	65
3.3. Захват примесных атомов	68
3.4. Аморфный кремний	74

3.5. Кристаллизация аморфного кремния	78
3.6. Взрывная кристаллизация	78
3.7. Тепловой поток и кристаллизация	79
3.8. Концентрационное переохлаждение	81
3.9. Дефекты, возникающие при лазерном облучении	83
Список литературы	88
Глава 4. Сегрегация, пересыщенные сплавы и поверхности полупроводников	90
4.1. Введение	90
4.2. Сегрегация, пересыщенные сплавы и захват примесей	91
4.2.1. Определение коэффициентов распределения	91
4.2.2. Зависимость коэффициента распределения на границе раздела k' от скорости кристаллизации	97
4.2.3. Отжиг с использованием пикосекундного лазера	103
4.2.4. Влияние ориентации	105
4.2.5. Дополнительные параметры, влияющие на k'	106
4.2.6. Образование пересыщенных сплавов, максимальные растворимости примесей замещения	108
4.2.7. Сравнение максимальных концентраций примеси в областях жидкой и твердой фаз	112
4.2.8. Процессы, ограничивающие растворимость примесей замещения	113
4.2.9. Концентрационное переохлаждение и выделение вторичных фаз	116
4.2.10. Выводы по кристаллизации	123
4.3. Свойства поверхности	124
4.3.1. Очистка поверхности кремния	125
4.3.2. Изучение поверхностей (100), (110) и (111) кремния после лазерного отжига	127
4.3.3. Структурная модель отожженного лазером Si (111)-(1×1)	130
4.3.4. Электронная структура Si (111)-(1×1)	132
4.3.5. Электронные свойства поверхности высоколегированного кремния	135
4.3.6. Выводы по поверхностным свойствам	138
Список литературы	138
Глава 5. Процессы твердофазной перекристаллизации в кремнии	141
5.1. Введение	141
5.2. Обзор экспериментальных результатов	142
5.2.1. Влияние примесных атомов на перекристаллизацию	142
5.2.2. Сегрегация, преципитация и перераспределение примесей	149
5.2.3. Перераспределение и образование выделений в кристаллическом кремнии	153
5.2.4. Пересыщенные твердые растворы	156
5.3. Модели перекристаллизации	162
5.3.1. Граница раздела аморфной и кристаллической областей. Случай перекристаллизации в отсутствие примесей	162
5.3.2. Влияние имплантации малых доз ионов	165
5.3.3. Имплантация больших доз ионов	169
5.4. Обобщение и выводы	172
Список литературы	174
Глава 6. Метастабильные фазы и сверхпроводимость	177
6.1. Введение	177
6.2. Неравновесные методы	181
6.2.1. Закалка из газовой фазы	181
6.2.2. Закалка из жидкой фазы	182
6.2.3. Ионная имплантация и облучение	182

6.2.4. Лазерная закалка	183
6.3. Обсуждение процессов с позиций понятия внутренней энергии	184
6.4. Закалка из газовой фазы. Сравнение с другими неравновесными методами	185
6.4.1. Галлий	185
6.4.2. Бериллий, индий, система Ge—Cu	188
6.5. Закалка из жидкой фазы. Сравнение с другими неравновесными методами	191
6.5.1. Система Zr—Cu	191
6.5.2. Системы (Ti, Zr, HF)—Fe	192
6.5.3. Система Pd ₈₀ —Si ₂₀ —H	192
6.6. Ионное облучение и имплантация. Методы получения аморфных металлов	193
6.7. Система Te—Au. Сравнение различных неравновесных методов	195
6.8. Заключение	198
Список литературы	199
Глава 7. Эффекты каскадов столкновений и пиков	201
7.1. Введение	201
7.2. Каскады столкновений	202
7.3. Плотность запасенной энергии θ	205
7.4. Ионно-лучевое перемешивание	209
7.4.1. Режим индивидуальных каскадов	209
7.4.2. Режим перекрывающихся каскадов	210
7.5. Экспериментальные примеры эффектов пиков	213
7.5.1. Радиационные дефекты в полупроводниках при имплантации	213
7.5.2. Распыление металлов	214
7.5.3. Эрозия замороженных газов ионами высокой энергии	216
7.6. Термические пики. Основные положения и трудности	218
7.7. Заключение	221
Список литературы	221
Глава 8. Перераспределение примеси и стабильность выделений: влияние точечных дефектов	223
8.1. Введение	223
8.2. Механизмы	223
8.2.1. Диффузия при облучении	224
8.2.2. Механизмы перераспределения	231
8.2.3. Градиенты точечных дефектов	233
8.3. Особенности перераспределения	236
8.3.1. Низкая энергия	236
8.3.2. Имплантация ионов высокой энергии	239
8.4. Стабильность фаз при облучении	245
8.4.1. Стабильность выделений в высокотемпературном режиме	245
8.4.2. Стабильность выделений в низкотемпературном режиме	249
8.5. Заключение и перспективы поверхностной обработки	249
Список литературы	251
Глава 9. Ионно-лучевое перемешивание	254
9.1. Введение	254
9.2. Эффекты перемешивания при образовании соединений. Силциды платины	256
9.2.1. Тонкий маркированный слой. Система Pt—Si	257
9.2.2. Тонкие маркированные слои. Общие замечания	259
9.2.3. Двухслойная конфигурация. Система Pt—Si	260
9.2.4. Образование метастабильных фаз. Система Pt—Si	261
9.2.5. Система Pt—Si: Заключение	263
9.3. Эффекты перемешивания в силицидообразующих системах	264
9.4. Двухслойные системы металл—металл	266

9.5. Многослойные системы металл — металл	267
9.6. Эвтектические системы	269
9.7. Заключение и обсуждение перспектив	270
Список литературы	271
Глава 10. Распыление и изменение состава	273
10.1. Введение	273
10.2. Процессы, вызывающие изменение состава поверхности	274
10.2.1. Преимущественное распыление	274
10.2.2. Имплантация атомами отдачи и каскадное перемешивание	278
10.2.3. Радиационно-стимулированная диффузия	280
10.2.4. Адсорбция Гиббса	287
10.2.5. Радиационно-стимулированная сегрегация	288
10.3. Модельные расчеты	290
10.4. Обобщение и выводы	296
Список литературы	298
Глава 11. Модификация поверхности и легирование алюминия	300
11.1. Введение	300
11.2. Нагрев электронными, лазерными и ионными пучками	301
11.3. Ионная имплантация и импульсный нагрев	303
11.3.1. Сегрегация	303
11.3.2. Диффузия	306
11.3.3. Метастабильные твердые растворы	308
11.3.4. Выделения вторичной фазы	312
11.3.5. Отжиг алюминия в разупорядоченном состоянии	316
11.3.6. Образование вакансий и дислокаций	317
11.3.7. Скольжение	319
11.3.8. Образование аморфных фаз	322
11.4. Выводы по исследованию микроструктур, образованных импульсным плавлением	328
11.4.1. Дефекты кристаллической решетки	330
11.4.2. Микроструктуры растворов	330
11.4.3. Критерии образования метастабильных твердых растворов	332
11.5. Ионно-лучевое перемешивание и импульсное плавление слоев	333
11.6. Заключение	335
Список литературы	336
Глава 12. Модификация материалов с помощью ионной имплантации	338
12.1. Введение	338
12.2. Преимущества и недостатки метода ионной имплантации	338
12.3. Изменение трибологических и механических характеристик	340
12.3.1. История вопроса	340
12.3.2. Экспериментальные результаты	340
12.3.3. Технические приложения	345
12.3.4. Синтез квазитугоплавких карбидов при высоких дозах ионов при имплантации титаном	348
12.3.5. Перемешивание ионным пучком	349
12.4. Механизм трения и изнашивания	350
12.4.1. Введение	350
12.4.2. Пластическая деформация	351
12.4.3. Энергетическая модель трения	352
12.4.4. Изнашивание и перенос при трении скольжения	353
12.4.5. Абразивное изнашивание	355
12.4.6. Заключение	355
12.5. Усталость	355
12.5.1. Введение	355
12.5.2. Экспериментальные результаты	356

12.5.3. Усталость при фреттинге	363
12.5.4. Высокотемпературная усталость	364
12.6. Использование ионной имплантации в области коррозии	365
12.6.1. Введение	365
12.6.2. Ионная имплантация железа	369
12.6.3. Ионная имплантация технических сплавов	371
12.6.4. Аморфные поверхностные сплавы	376
12.6.5. Коррозионная усталость	378
12.7. Использование ионной имплантации в химии катализа и миграции водорода	379
12.7.1. Ионная имплантация и катализ	379
12.7.2. Электрохимическое исследование миграции водорода в имплантированных металлах	382
12.8. Повреждаемость при облучении и импульсный отжиг сверхпроводников со структурой A15	385
12.8.1. Введение	385
12.8.2. Повреждаемость при облучении	385
12.8.3. Отжиг импульсными пучками электронов и лазера	386
12.9. Ионная имплантация как метод фундаментальных металлургических исследований	390
12.9.1. Введение и основы	390
12.9.2. Зарождение пузырьков гелия	392
12.9.3. Захват водорода ловушками	395
12.9.4. Аморфные сплавы Fe—Ti—C	398
Список литературы	399
Глава 13. Лазерное поверхностное легирование	405
13.1. Введение	405
13.2. Металлургические аспекты	407
13.2.1. Термодинамические ограничения	407
13.2.2. Теплофизические ограничения	413
13.3. Системы на основе железа	414
13.4. Системы на основе других элементов	416
13.5. Силициды металлов	423
13.6. Выводы	424
Список литературы	424