

ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ

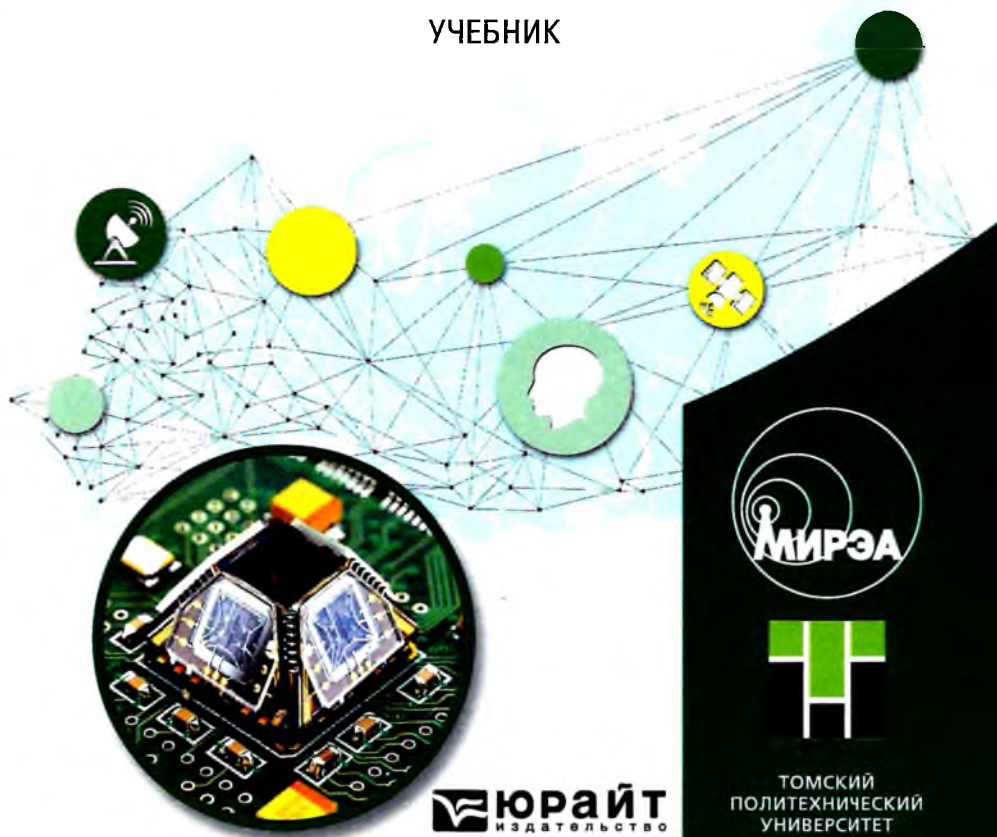
В. И. Иванов, П. А. Лучников, А. С. Сигов, А. П. Суржиков

ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ

И ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ
СРЕДСТВ. ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СХЕМЫ

Под редакцией академика РАН Ю. В. Гуляева

УЧЕБНИК



СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
<i>Глава 1. ПРОИЗВОДСТВО КРЕМНИЕВЫХ ПЛАСТИН</i>	5
1.1. Электронный кремний	5
1.2. Выращивание монокристаллического кремния по методу Чохральского	8
1.2.1. Монокристаллический кремний	8
1.2.2. Направленная кристаллизация	14
1.2.3. Теория роста кристалла	16
1.2.4. Установка для выращивания монокристаллического кремния	24
1.2.5. Примеси и дефекты в монокристаллическом кремнии ...	28
1.2.6. Оценка параметров кристаллов	30
1.3. Обработка кремниевых пластин	33
1.3.1. Механическая обработка	33
1.3.2. Травление	36
1.3.3. Полирование	37
1.3.4. Геттерирование	39
1.3.5. Термические напряжения	41
<i>Глава 2. ОКСИДИРОВАНИЕ КРЕМНИЯ</i>	42
2.1. Модель оксидирования кремния	43
2.1.1. Рост тонкого слоя оксида	51
2.1.2. Влияние ориентации на скорость оксидирования кремния	54
2.1.3. Влияние примесей и повреждений поверхности на скорость оксидирования	55
2.2. Методы оксидирования кремния	57
2.2.1. Подготовка подложек кремния	58
2.2.2. Оксидирование кремния в сухом и влажном кислороде	58
2.2.3. Оксидирование кремния при повышенном давлении	59

2.2.4. Оксидирование кремния в плазменном разряде	61
2.3. Свойства оксидных пленок	62
2.3.1. Маскирующие свойства SiO_2	62
2.3.2. Заряд в SiO_2	63
2.3.3. Напряжение в SiO_2	66
2.4. Перераспределение легирующих примесей на границе раздела фаз	67
2.5. Оксидирование поликристаллического кремния	69
2.6. Дефекты, возникающие при оксидировании кремния	70
2.7. Выводы и перспективы развития	72

Глава 3. ДИФФУЗИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ 74

3.1. Модели диффузии	76
3.2. Одномерное уравнение диффузии Фика	79
3.2.1. Постоянные коэффициенты диффузии	80
3.2.2. Концентрационно-зависимые коэффициенты диффузии	82
3.2.3. Температурная зависимость коэффициента диффузии	86
3.3. Атомные механизмы диффузии	87
3.4. Методы проведения диффузии	92
3.4.1. Импульсный метод	96
3.4.2. Радиационно-стимулированная диффузия	96
3.5. Выводы и перспективы развития	96

Глава 4. ЛИТОГРАФИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ 98

4.1. Процесс литографии	100
4.1.1. Шаблоны	100
4.1.2. Процесс переноса изображения	103
4.1.3. Резисты	105
4.1.4. Отклонения размеров элементов топологии	107
4.2. Оптическая литография (фотолитография)	110
4.2.1. Методы оптической литографии	110
4.2.2. Оптические резисты	113
4.2.3. Дифракция	114
4.2.4. Функция модуляции передачи	116

4.2.5. Стоячие волны	117
4.3. Электронно-лучевая литография	119
4.4. Проекционная электронная литография	132
4.5. Рентгеновская литография	133
<i>Глава 5. СУХОЕ ТРАВЛЕНИЕ</i>	145
5.1. Методы плазменного травления	152
5.1.1. Ионно-плазменное и ионно-лучевое травление	152
5.1.2. Плазменное травление	155
5.1.3. Радикальное травление	157
5.1.4. Реактивное ионно-плазменное и реактивное ионно-лучевое травление	159
5.2. Факторы, определяющие скорость и селективность травления	161
5.3. Контроль профиля травления края элемента	173
5.4. Побочные эффекты травления	176
5.5. Выводы	178
<i>Глава 6. ИОННОЕ ЛЕГИРОВАНИЕ</i>	181
6.1. Ионно-лучевые установки имплантации	182
6.2. Характеристики имплантированных слоев	192
6.2.1. Пробеги ионов	199
6.2.2. Образование радиационных дефектов	201
6.3. Отжиг легированных структур	203
6.3.1. Изохорный отжиг	204
6.3.2. Быстрый отжиг	206
6.4. Геттерирование	208
6.5. Эффекты ионной имплантации	211
<i>Глава 7. СБОРКА И ГЕРМЕТИЗАЦИЯ</i>	214
7.1. Монтаж кристаллов	215
7.1.1. Соединение эвтектикой	215
7.1.2. Соединение полимерным клеем	217
7.1.3. Соединение проволокой	219

7.1.4.	Автоматизированное соединение на ленточном носителе	224
7.1.5.	Сборка методом перевернутого кристалла	232
7.2.	Производство корпусов	235
7.2.1.	Керамические корпуса	235
7.2.2.	Корпуса на основе тугоплавкой керамики	237
7.2.3.	Корпуса на основе тугоплавкой керамики с герметизацией стеклом	240
7.2.4.	Корпуса из пластмассы	241
7.3.	Герметизация	243
7.3.1.	Очистка поверхности кристалла	243
7.3.2.	Герметизация крышки корпуса	243
7.4.	Тенденции развития методов сборки и герметизации	245
7.4.1.	Силиконовые клеи-герметики	246
7.4.2.	Технологические особенности клея-герметика	249
 Глава 8. НАНЕСЕНИЕ ПОКРЫТИЙ ВАКУУМНЫМ ВЫПАРИВАНИЕМ		251
8.1.	Физические характеристики процесса	252
8.2.	Источники выпаривания	258
8.3.	Выпаривание соединений	267
8.4.	Толщина покрытия	268
 Глава 9. НАНЕСЕНИЕ ПОКРЫТИЙ ИОННЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ		272
9.1.	Ионно-плазменное нанесение	273
9.1.1.	Структура катода установки для ионно-плазменного нанесения	282
9.1.2.	Диодные системы нанесения при постоянном напряжении	283
9.1.3.	ВЧ-диодные системы нанесения	286
9.1.4.	Триодные системы нанесения	289
9.1.5.	Магнетронные системы нанесения	292
9.1.5.1.	Рабочие характеристики магнетронных систем	296
9.2.	Нанесение ионным осаждением	297

9.3.	Нанесение полимерных покрытий полимеризацией в плазме	301
9.4.	Нанесение ионным перемешиванием	306
9.5.	Лазерно-имплантационный метод нанесения	310
9.6.	Ионно-лучевые методы нанесения	315

Глава 10. НАНЕСЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ПАРОГАЗОВОЙ СМЕСИ 318

10.1.	Процесс осаждения оксида и нитрида кремния	318
10.1.1.	Химические реакции	318
10.1.2.	Оборудование	320
10.1.3.	Безопасность	324
10.2.	Поликремний	325
10.2.1.	Легирование поликремния	330
10.2.2.	Оксидирование поликремния	332
10.2.3.	Свойства поликремния	332
10.3.	Оксид кремния	333
10.3.1.	Методы осаждения	334
10.3.2.	Параметры процесса осаждения	336
10.3.3.	Воспроизведение рельефа подложки	339
10.3.4.	Свойства плёнок оксида кремния	342
10.4.	Свойства нитрида кремния	345
10.4.1.	Свойства нитрида кремния	346
10.5.	Плазмохимическое осаждение	348
10.6.	Другие материалы	349
10.7.	Перспективы развития	351

Глава 11. ЭПИТАКСИАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ВЫРАЩИВАНИЯ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СЛОЕВ 354

11.1.	Эпитаксия из парогазовой фазы	355
11.1.1.	Химическая кинетика и процесс массопереноса	356
11.1.2.	Легирование в процессе эпитаксии	364
11.1.3.	Технологическое оборудование	368
11.1.4.	Эпитаксиальные дефекты	375
11.1.5.	Механизм роста эпитаксиального слоя	378

11.2. Молекулярно-лучевая эпитаксия,.....	379
11.2.1. Установка молекулярно-лучевой эпитаксии	385
11.3. Измерение параметров эпитаксиальных структур	387
11.3.1. Контроль толщины слоя	387
11.3.2. Оценка уровня легирования	388
<i>Глава 12. МЕТАЛЛИЗАЦИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ИС</i>	<i>391</i>
12.1. Методы осаждения	392
12.2. Контроль толщины покрытия	397
12.3. Трудности, возникающие при металлизации	399
12.4. Защита от коррозии и образования контактов	402
Список литературы	405
Авторский коллектив.....	407
Содержание	408
<i>Приложения</i>	<i>414</i>
Приложение 1	415
Приложение 2	422
Приложение 3	432
Приложение 4	434
Приложение 5	443
Приложение 6	450
Приложение 7	453