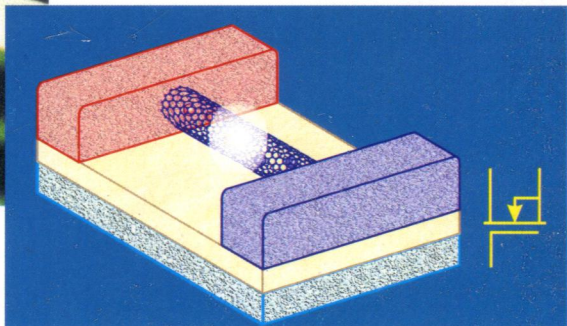
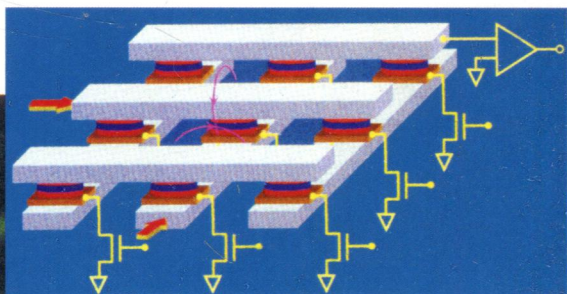
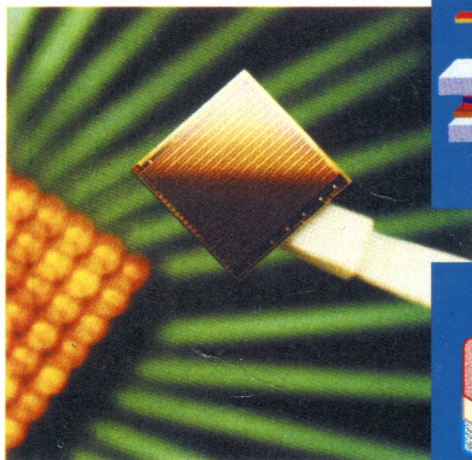




Д.А. Зацепин
С.О. Чолах

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИЙ МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ



Федеральное агентство по образованию
ГОУ ВПО «Уральский государственный технический университет-УПИ»

Российская Академия наук
Институт физики металлов Уральского отделения РАН

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИЙ
МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

Утверждено в качестве учебника на заседании РИС
ГОУ ВПО УГТУ-УПИ для студентов
специальности 210101 – Физическая электроника
направления подготовки дипломированных специалистов
654100 – Электроника и микроэлектроника

Научный редактор проф., д-р физ.-мат. наук Э.З. Курмаев

Екатеринбург
2006

УДК 621.382.049.077 (075.8)

ББК 32.844.1я73

3 38

Рецензенты: Федеральное космическое агентство, Федеральное государственное унитарное предприятие НПО «Автоматика» имени академика Н.А.Семихатова, технический директор, первый заместитель генерального директора, канд. техн. наук В.С.Уксусов;
кафедра общей и молекулярной физики Уральского государственного университета им. М. Горького, заведующий кафедрой, проф., д-р физ.-мат. наук С.Ф. Борисов;
заведующий кафедрой технологий и средств связи ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, профессор, д-р техн. наук В.Э. Иванов

Зацепин Д.А., Чолах С.О.

3 38 Физические основы технологий микро- и нанoeлектроники: учебник / Д.А.Зацепин, С.О.Чолах. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006. 236 с.

ISBN 5-321-00974-0

ISBN 978-5-321-00974-1

В книге изложены основные направления развития микро- и нанoeлектроники: рассмотрены физические основы функционирования интегральных микросхем (ИС) и их структурных элементов, приведены конструктивно-технологические варианты исполнения ИС, проанализированы физические особенности отечественных и зарубежных промышленных технологических процессов формирования топологии полупроводниковых радиоэлектронных устройств. Описаны конструкции перспективных структурных элементов микро- и нанoeлектроники, а также методы их изготовления.

Учебник предназначен для студентов специальности 210101 – Физическая электроника направления подготовки дипломированных специалистов 654100 – Электроника и микроэлектроника, аспирантов и научных работников.

Библиогр.: 36 назв. Рис.136. Табл.12.

Подготовлено кафедрой электрофизики ГОУ ВПО УГТУ-УПИ и лабораторией рентгеновской спектроскопии Института физики металлов УрО РАН.

УДК 621.382.049.077 (075.8)

ББК 32.844.1я73

ISBN 5-321-00974-0

ISBN 978-5-321-00974-1

© ГОУ ВПО «Уральский государственный технический университет – УПИ», 2006

© Зацепин Д.А., Чолах С.О., 2006

Оглавление

Предисловие	7
Введение	9
ЧАСТЬ 1. МИКРОЭЛЕКТРОНИКА	11
Глава 1. Общая характеристика микроэлектроники. Принципы функционирования элементов	11
1.1. Основные определения	11
1.2. Классификация изделий микроэлектроники	13
1.3. Физические явления, используемые в интегральной микроэлектронике	15
1.4. Процессы и явления, определяющие функционирование интегральных схем (ИС)	15
1.5. Контактные явления в микроэлектронных структурах	17
1.6. Поверхностные явления в полупроводниках	19
1.7. Механизмы переноса носителей заряда	20
Глава 2. Базовые физико-химические методы создания микроэлектронных структур	22
2.1. Очистка поверхности пластин для ИС	22
2.2. Получение полупроводниковых монокристаллов методом вытягивания из расплава	23
2.3. Термическое окисление	24
2.4. Эпитаксия	26
2.5. Фотолитография	27
2.6. Диффузия	29
2.7. Ионная имплантация (ионное легирование)	32
2.8. Металлизация	34
Глава 3. Типы подложек интегральных схем, их основные характеристики и процессы изготовления подложек	35
3.1. Изготовление подложек ИС	35
3.2. Резка слитков и пластин	38
3.3. Оптический метод ориентации полупроводниковых пластин	39
3.4. Шлифовка и полировка пластин	43
3.5. Строение нарушенного слоя после механической обработки пластины	45
Глава 4. Технология химической обработки подложек для интегральных микросхем	49
4.1. Механизм химической обработки кремниевых пластин	49
4.2. Термохимическое (газовое) травление	55
4.3. Ионно-плазменное травление	58
Глава 5. Диэлектрические пленки в ИС. Методы их получения. Технологии изготовления гибридных ИС	61
5.1. Конструктивно-технологические функции диэлектрических плёнок	61
5.2. Формирование плёнок SiO ₂ термическим окислением кремния	62

5.3.	Методы получения диэлектрических пленок в технологии гибридных ИС	68
5.3.1.	Термовакuumное реактивное испарение	68
5.3.2.	Анодное окисление	69
5.3.3.	Ионно-плазменное окисление	69
5.3.4.	Ионно-плазменное распыление	70
Глава 6.	Ионное легирование полупроводников	71
6.1.	Общие принципы процесса ионного легирования	71
6.2.	Отжиг дефектов и электрические свойства слоёв	80
6.3.	Импульсный лазерный отжиг	81
6.4.	Маскирование в процессах ионного легирования	82
6.5.	Маскирование фоторезистами	83
6.6.	Маскирование пленками металлов	83
Глава 7.	Эллионные методы литографических процессов	85
7.1.	Электронно-лучевая литография	85
7.2.	Рентгенолучевая литография (РЛЛ)	88
7.2.1.	Особенности экспонирования в РЛЛ	89
7.2.2.	Технология рентгенолитографических процессов	90
7.2.3.	Выбор резистов для РЛЛ	93
Глава 8.	Пленки в технологии ИС, микросборок и коммутационных элементов	96
8.1.	Металлические пленки для ИС	96
8.2.	Технология коммутационных элементов ИС	98
8.3.	Технология пленочных резисторов	101
8.4.	Чистый металл и сплавы	102
8.5.	Керметы (микрокомпозиционные пленки)	102
8.6.	Изготовление тонкопленочных конденсаторов	104
8.7.	Моноксид кремния SiO	106
8.8.	Пятиокись тантала Ta ₂ O ₅	107
8.9.	Оксид алюминия Al ₂ O ₃ и диоксид кремния SiO ₂	108
8.10.	Диоксид титана TiO ₂	109
Глава 9.	Монтаж кристаллов ИС на носителях. Типы носителей. Особенности сборки ИС в корпуса	110
9.1.	Конструктивно-технологические варианты монтажа	110
9.2.	Изготовление ленточных носителей	112
9.3.	Получение внутренних выводов на кристаллах ИС	114
9.4.	Монтаж кристалла ИС на гибкую ленту	116
9.5.	Монтаж гибридных ИС и микросборок	117
9.6.	Особенности сборки сверхбыстродействующих ИС и процессоров	120
Глава 10.	Технология герметизации ИС и МП	123
10.1.	Пассивирующие и защитные покрытия ИС	123
10.2.	Принципы герметизации ИС в корпусах	125
10.3.	Герметизация ИС в металлических корпусах	127

	ЧАСТЬ 2. НАНОЭЛЕКТРОНИКА	136
Глава 11.	Теоретические основы нанoeлектроники. Одноэлектронные приборы	136
11.1.	Проблемы нанoeлектроники (одноэлектроники)	136
11.2.	Базовая теория кулоновской блокады	138
11.3.	"Кулоновская лестница"	142
11.4.	Со – туннелирование	143
11.5.	Квантовые размерные эффекты	144
11.6.	Классификация одноэлектронных приборов	145
11.7.	Одноэлектронный прибор на основе сканирующего туннельного микроскопа	146
11.8.	Субмикронный вертикальный одноэлектронный транзистор (транзистор Остина)	147
11.9.	Применение одноэлектронных приборов	149
Глава 12.	Наночастицы и нанокластеры	151
12.1.	Свойства наночастиц и их характеристики	151
12.2.	Теоретическое моделирование наночастиц (модель "желе")	153
12.3.	Геометрическая и электронная структуры нанокластеров	155
12.4.	Реакционная способность наночастиц	159
12.5.	Флуктуационные наноструктуры	160
12.6.	Магнитные кластеры	161
12.7.	Переход от макро- к нано-	163
12.8.	Полупроводниковые наночастицы	164
12.9.	Кулоновский взрыв	165
12.10.	Молекулярные кластеры	166
12.11.	Методы синтеза наночастиц	167
12.12.	Химические методы синтеза наночастиц	168
12.13.	Термолиз	169
12.14.	Импульсные лазерные методы	170
Глава 13.	Углеродные наноструктуры	172
13.1.	Природа углеродной связи	172
13.2.	Малые углеродные кластеры – C ₆₀	173
13.3.	Неуглеродная шарообразная молекула	175
13.4.	Углеродные нанотрубки	176
13.4.1.	Методы получения нанотрубок	176
13.4.2.	Электрические свойства нанотрубок	179
13.4.3.	Колебательные свойства нанотрубок	181
13.4.4.	Механические свойства нанотрубок	182
13.5.	Применение углеродных нанотрубок	184
13.5.1.	Полевая эмиссия и экранирование	184
13.5.2.	Информационные технологии, электроника	185
13.5.3.	Топливные элементы	187
13.5.4.	Химические сенсоры	188
13.5.5.	Катализ	188
13.5.6.	Механическое упрочнение материалов	189

Глава 14. Объемные наноструктурированные материалы:		
	разупорядоченные и кристаллизованные	192
14.1.	Методы синтеза разупорядоченных структур	192
14.2.	Механизмы разрушения традиционных материалов	195
14.3.	Механические свойства наноструктурированных материалов ..	196
14.4.	Многослойные наноструктурированные материалы	199
14.5.	Электрические свойства наноструктурированных материалов ..	201
14.6.	Нанокластеры в оптическом материаловедении	204
14.7.	Пористый кремний	206
14.8.	Упорядоченные наноструктуры	209
14.8.1.	Упорядоченные структуры в цеолитах	210
14.8.2.	Кристаллы из металлических наночастиц	211
14.8.3.	Нанокристаллы для фотоники	211
Глава 15. Наноприборы и наномашинны		215
15.1.	Микроэлектромеханические устройства (MEMS)	215
15.2.	Наноэлектромеханические системы (NEMS)	217
15.3.	Наноактуаторы	219
15.4.	Молекулярные и супрамолекулярные переключатели	224
	Заключение	231
	БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	233