

НАНОТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРОНИКЕ

Под редакцией
члена-корреспондента РАН Ю.А. Чаплыгина

ТЕХНОСФЕРА
МОСКВА
2005

Нанотехнологии в электронике
Под редакцией Ю.А. Чаплыгина
Москва:
Техносфера, 2005. - 448с. ISBN 5-94836-059-8

В коллективной монографии представлен комплекс исследований, который позволяет уже сейчас применять их результаты в актуальных прикладных разработках.

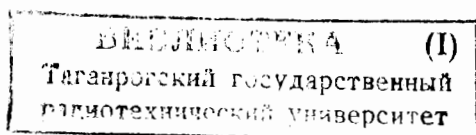
Практическое применение принципов нанотехнологии демонстрируется на примерах создания оптических волокон с фотонно-кристаллической структурой, интегральных волноводов на основе субмикронных брэгговских решеток, нелинейно-оптических устройств преобразования частоты оптического излучения, формирования наноразмерных структур на основе высокотемпературных сверхпроводников, реализации датчиков магнитного поля и ИК-излучения, линейных измерений в нанометровом диапазоне.

Книга написана ведущими специалистами МИЭТ на основе исследований и разработок последних лет.

515.503

© 2005, МИЭТ
© 2005, ЗАО "РИЦ "Техносфера",
оригинал-макет, оформление

ISBN 5-94836-059-8



Содержание

Предисловие	11
Введение. Нанотехнологии в современных электронных системах	13
Глава 1	
Исследование наноразмерных областей методами просвечивающей электронной микроскопии	
<i>Н.И. Боргардт, В.Н. Кукин</i>	20
Введение	20
1.1. Основы электронной микроскопии	21
1.1.1. Устройство электронного микроскопа	22
1.1.2. Режимы работы микроскопа	23
1.1.3. Образцы для электронно-микроскопических исследований	25
1.2. Дифракция электронов и электронно-микроскопический контраст	26
1.2.1. Возникновение дифрагированных волн	27
1.2.2. Изображения с дифракционным контрастом	29
1.2.3. Высокоразрешающие изображения	33
1.2.4. Цифровая обработка изображений	37
1.3. Электронная микроскопия полупроводниковых гетероструктур	38
1.3.1. Методы изображения с дифракционным контрастом	40
1.3.2. Применение высокоразрешающих изображений	44
1.4. Идентификация структуры аморфного материала вблизи границы с кристаллом	49
1.5. Электронная микроскопия углеродных материалов	52
1.5.1. Фуллерены и нанотрубки	53
1.5.2. Углеситаллы	55
Заключение	57
Литература	58
Глава 2	
Зондовая микроскопия углеродных нанотрубок	
<i>С.Н. Мазуренко, В.К. Неволин</i>	61
Введение	61
2.1. Углеродные нанотрубки — перспективный материал для наноэлектроники	62
2.2. Атомарная структура поверхности углеродных нанотрубок	64
2.3. Методы селекции углеродных нанотрубок по размерам, форме, тонкой структуре	69
Литература	71
Глава 3	
Наноструктуры и элементы наноэлектроники на базе метода локального зондового окисления	
<i>С.А. Гаврилов, В.М. Рошин, В.И. Шевяков</i>	73
3.1. Основные методы создания наноструктур	73

3.2. Зондовые методы нанолитографии	76
3.3. Метод локального зондового окисления	78
3.3.1. Физико-химические основы метода локального зондового окисления	78
3.3.2. Особенности создания электропроводящих зондов	83
3.3.3. Кинетика процесса локального зондового окисления полупроводников и сверхтонких металлических пленок	87
3.3.4. Метод формирования диэлектрической пленки, модулированной по толщине	92
3.3.5. Примеры использования локального зондового окисления для создания наноструктур и элементов нанoeлектроники	93
Заключение	96
Литература	96

Глава 4

Нелитографические методы формирования поверхностных периодических наноструктур

<i>С.А. Гаврилов, М.Г. Путря, В.И. Шевяков</i>	99
Введение	99
4.1. Литографические методы формирования поверхностных периодических наноструктур	101
4.2. Нелитографические методы создания периодических структур	102
4.2.1. Самоорганизующиеся упорядоченные пористые материалы	103
4.2.2. Упорядоченные пористые материалы в технологии фотонных кристаллов	105
4.2.3. Упорядоченный пористый анодный оксид алюминия. Получение и применение в нанотехнологии	110
4.3. Плазменные методы в технологии поверхностных периодических наноструктур	117
4.3.1. Специфика используемого плазменного оборудования	119
4.3.2. Технологические проблемы обеспечения высокого аспектного отношения наноструктур	121
4.3.3. Анализ особенностей травления диэлектрических слоев субмикронных наноструктур	124
4.4. Контроль параметров наноструктурированных поверхностей с помощью атомно-силовой микроскопии	127
Заключение	130
Литература	131

Глава 5

Самоорганизованные имплантированные наноразмерные структуры в полупроводниках

<i>Н.Н. Герасименко</i>	135
Введение	135

5.1. Наноструктурированные слои дисилицида кобальта на поверхности кремния, образующиеся при внедрении ионов Co^+ в кремниевую подложку	137
5.1.1. Силициды, их свойства и применение	138
5.1.2. Особенности дисилицида кобальта.....	139
5.1.3. Методы формирования силицидов.....	140
5.1.4. Тенденции развития интегральных схем	140
5.1.5. Особенности процесса ионного синтеза	141
5.1.6. Возможности применения ионного синтеза	141
5.1.7. Ионный синтез дисилицида кобальта	142
5.1.8. Самоорганизация приповерхностного слоя дисилицида кобальта	143
5.1.9. Фрактальный анализ самоорганизованных полупроводниковых структур	146
5.2. Имплантированные квантовые точки в структуре SiGe.....	153
5.2.1. Свойства самоорганизованных SiGe-наноструктур, полученных методом ионной имплантации	154
5.2.2. Механизм вязкого течения аморфного материала при наличии радиационных дефектов.....	161
5.2.3. Энергонезависимая память на нанокристаллах, синтезированных ионными пучками.....	164
Заключение	168
Литература.....	169

Глава 6

Полупроводниковые гетероструктуры и приборы на их основе

<i>А.А. Горбацевич, Б.Г. Налбандов, В.И. Старосельский, С.С. Шмелев</i>	172
Введение	172
6.1. Основные типы полупроводниковых приборных гетероструктур	174
6.2. Методы описания и проектирования приборных гетероструктур	188
6.3. Гетероструктурные полевые транзисторы	195
6.4. Интегральные микросхемы на гетеропереходных полевых транзисторах.....	206
6.5. Интегральные схемы на основе резонансно-туннельных гетероструктур	217
6.6. Особенности технологического маршрута изготовления интегральных схем на основе GaAs и полупроводниковых гетероструктур соединений группы A^3B^5	226
Литература.....	234

Глава 7

Элементная база нанoeлектроники на основе зондовых нанотехнологий

<i>В.К. Неволин, Ю.А. Чаплыгин</i>	243
Введение	243
7.1. Зондовые нанотехнологии: взгляд на развитие.....	243

7.2. Квазиодномерные проводники как активные элементы нанoeлектроники.....	246
7.3. Зондовое формирование полимерных микропроводников	255
7.4. Методы формирования металлических квазиодномерных микроконтактов на подложках.....	259
7.5. Металлическая нанoeлектроника	263
7.6. Нанотранзисторы на основе углеродных нанотрубок. Инверторы....	267
7.6.1. Метод приготовления проводников на основе пучка углеродных нанотрубок	268
7.6.2. Репозиционирование и модифицирование углеродных нанотрубок на подложках.....	271
7.6.3. Исследование характеристик макетов нанотранзистора и инвертора на основе углеродных нанотрубок	275
7.7. Углеродная нанoeлектроника	277
Заключение	282
Литература	282

Глава 8

Фотоника волноводных наноразмерных структур

<i>Ю.Н. Коркишко, В.А. Федоров, С.М. Кострицкий</i>	286
Введение	286
8.1. Оптические волокна с фотонно-кристаллической структурой.....	287
8.1.1. Типы фотонно-кристаллических волокон.....	288
8.1.2. Технология изготовления и основные свойства оптических волокон с фотонно-кристаллической структурой	293
8.2. Формирование фотонной запрещенной зоны с помощью субмикронных брэгговских решеток	294
8.2.1. Интегральные волноводные структуры с распределенными брэгговскими отражателями (РБО)	296
8.2.2. Волоконные световоды с брэгговскими решетками	301
8.2.3. Основные методы изготовления брэгговских решеток в световодах.....	303
8.3. Сенсоры на основе оптических волноводов с фотонно-кристаллической структурой.....	305
8.4. Периодические доменные структуры в сегнетоэлектрических кристаллах.....	307
8.4.1. Методы формирования индуцированных доменов и периодических доменных структур в сегнетоэлектриках	310
8.4.1.1. Образование сегнетоэлектрических доменов в электрических полях.....	311
8.4.1.2. Образование ПДС во внутренних полях	312
8.4.1.3. Оптически индуцированные домены и периодические доменные структуры.....	312
8.4.2. Распространение и генерация оптических волн в ПДС.....	313
8.4.3. Нелинейные оптические эффекты в ПДС.....	315

8.4.3.1. Генерация оптических гармоник	315
8.4.3.2. Параметрическое преобразование.....	317
Литература.....	319

Глава 9

Наноконпозиты и нанокерамики как основа функциональной электроники

<i>В.Б. Яковлев, В.М. Роцин</i>	323
Введение	323
9.1. Классификация композиционных материалов.....	323
9.2. Керамика в современной технике	327
9.3. Нанокристаллические материалы (нанокерамики и наноконпозиты).....	331
9.4. Применение наноразмерных сегнетоэлектрических материалов	334
9.5. Пористая пьезокерамика.....	338
9.6. Высокочастотные диэлектрические свойства наноразмерных пленок титаната-цирконата свинца	343
9.7. Структурно-чувствительные свойства наноконпозитов	346
Литература.....	358

Глава 10

Высокотемпературные сверхпроводники в нанoeлектронике

<i>Ю.Е. Григорашвили</i>	361
Введение	361
10.1. Методы создания наноразмерных сверхпроводниковых структур	362
10.1.1. Метод получения монокристаллического слоя $Zr(Y)O_2$ на сапфире	362
10.1.2. Метод формирования пленок $Y_1Ba_2Cu_3O_7$	365
10.1.3. Получение тонких пленок системы $(Bi,Pb)_2Sr_2Ca_2Cu_3O_x$	367
10.1.4. Формирование топологического рисунка	370
10.1.5. Формирование наноразмерной планарной активной зоны ...	371
10.2. Электронные элементы на основе высокотемпературных сверхпроводников	373
10.2.1. Датчики магнитного поля	373
10.2.2. Датчик ИК-излучения болометрического типа	375
10.2.3. Исследование сверхпроводниковых структур в условиях космического полета	377
Литература.....	380

Глава 11

Микро- и нанoeлектромеханические системы

<i>С.П. Тимошенко, Ю.А. Чаплыгин</i>	381
11.1. Тенденции развития микро- и наносистемной техники.....	381
11.2. Микро- и нанoeлектромеханические приборы и устройства.....	385
11.3. Основные технологические процессы изготовления элементов микромеханики.....	396

11.4. Создание структур кремний на изоляторе для формирования микро- и наносистем	401
11.4.1. Перспективы развития технологии кремний на изоляторе	403
11.4.2. Синтез высокодисперсных материалов для структур КНИ и МЭМС	407
11.5. Изготовление многоуровневых структур.....	409
11.6. Формирование чувствительных элементов	412
11.7. Микромеханические гироскопы и акселерометры	416
Заключение	420
Литература.....	420

Глава 12

Интеграция макро-, микро- и нанотехнологий миокарда

<i>С. В. Селищев</i>	422
Введение	422
12.1. Макро-, микро-, нанообъекты сердца.....	425
12.2. Биочипы.....	428
12.3. Биомедицинские наносенсоры и бионаносенсоры	430
12.4. Внутрисосудистые нано- и микророботы	433
12.5. Системы визуализации.....	435
12.6. Электрокардиостимуляторы/дефибрилляторы	436
12.7. Искусственное сердце	437
Заключение	438
Литература.....	440
Сведения об авторах	444