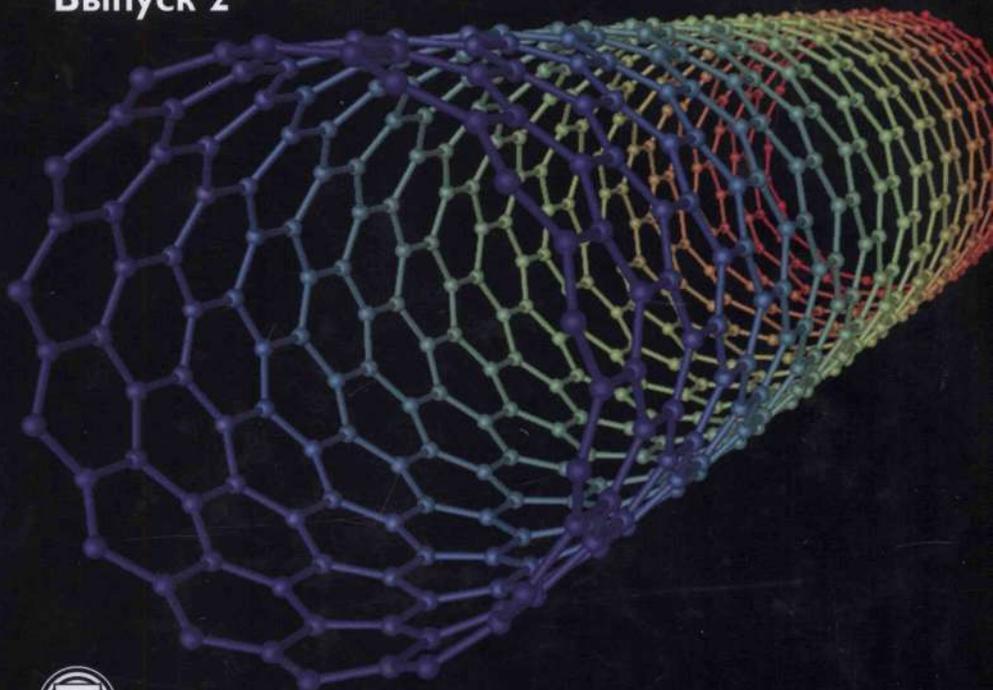


M

Под редакцией
Ю.А. ЧАПЛЫГИНА

НАНОТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРОНИКЕ

Выпуск 2



ТЕХНОСФЕРА



МИР **электроники**

**Нанотехнологии
в электронике**

Выпуск 2

**под редакцией
члена–корреспондента РАН
Ю.А. Чаплыгина**

ТЕХНОСФЕРА

Москва

2013

УДК 620.3
ББК 32.85
Н25



М-14063

Рецензент: академик РАН Ю.В. Гуляев

Н25 Нанотехнологии в электронике

Выпуск 2

Под редакцией чл.-корр. РАН Ю.А. Чаплыгина

Москва: Техносфера, 2013. – 688с. ISBN 978-5-94836-353-0

Настоящее издание – второй выпуск книги «Нанотехнологии в электронике», вышедшей несколько лет назад. Каждую из частей книги представляет группа авторов, активно развивающих данное направление в Национальном исследовательском университете «МИЭТ».

Коллектив авторов старался осуществить частичную преемственность материала, содержащегося в первом выпуске, однако структура книги существенно изменилась: группировка статей по условным разделам (теоретико-экспериментальные работы, методы исследований, технологии, приборы и устройства) представляется более правильной с точки зрения понимания общего направления работ в МИЭТ.

Каждая из работ представляет собой законченный научный труд обзорного или обобщающего характера, либо является частью оригинальных исследований, полученных в последние 3-5 лет.

Книга представляет интерес для специалистов, аспирантов и студентов, работающих в области нанотехнологий и смежных областях.

УДК 620.3
ББК 32.85

© 2013, МИЭТ

© 2013, ЗАО «РИЦ «Техносфера», оригинал-макет, оформление

ISBN 978-5-94836-353-0

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|-----|
| Введение | 7 |
| Глава 1. Резонансно-туннельные гетероструктуры: физика и приборные применения | 13 |
| 1.1. Особенности одномерной задачи рассеяния и новые типы резонансов в полупроводниковых наногетероструктурах | 17 |
| 1.2. Коллапс резонансов в резонансно-туннельных гетероструктурах | 22 |
| 1.3. Моделирование динамических характеристик резонансно-туннельных гетероструктур на основе численного решения нестационарного уравнения Шредингера | 34 |
| 1.4. Резонансно-туннельные диоды и интегральные схемы на их основе | 46 |
| Литература | 58 |
| Глава 2. Электрофизические характеристики неоднородных диэлектриков микро- и нанoeлектроники | 63 |
| 2.1. Электрофизические характеристики диэлектриков | 63 |
| 2.2. Методы описания свойств неоднородных диэлектриков | 70 |
| 2.3. Частотная дисперсия эффективных диэлектрических характеристик | 77 |
| 2.4. Эффективные характеристики диэлектрических наноструктур | 84 |
| Литература | 90 |
| Глава 3. Моделирование элементов интегральной нанoeлектроники | 93 |
| 3.1. Наноразмерные транзисторы в КМОП ИС | 94 |
| 3.2. Модели наноразмерных МДП-транзисторов с непланарным затвором | 101 |
| 3.3. Тепловые эффекты в тонкопленочных транзисторных структурах | 105 |
| 3.4. Моделирование интегральных наноструктур в среде TCAD | 111 |
| Авторы | 125 |
| Литература | 126 |
| Глава 4. Размерный эффект плавления в пленочных структурах нанoeлектроники | 136 |
| 4.1. Физико-химическое обоснование размерного эффекта плавления тонкой пленки | 137 |
| 4.2. Размерный эффект плавления в алюминиевой металлизации интегральных схем | 155 |

| | |
|---|------------|
| 4.3. Размерный эффект плавления в медной металлизации интегральных схем | 158 |
| 4.4. Использование размерного эффекта плавления тонкой пленки для заполнения медью узких траншей в технологии damascene | 163 |
| 4.5. Использование размерного эффекта плавления тонкой пленки для формирования массива нанокластеров | 165 |
| 4.6. Использование размерного эффекта плавления тонкой пленки для сращивания подложек | 170 |
| Автор | 174 |
| Литература | 175 |
| Глава 5. Исследование наноразмерных областей методами просвечивающей электронной микроскопии | 178 |
| 5.1. Основы электронной микроскопии | 180 |
| 5.2. Дифракция электронов и электронно-микроскопический контраст | 194 |
| 5.3. Идентификация структуры аморфного материала вблизи границы с кристаллом | 206 |
| 5.4. Электронная микроскопия пироуглеродных материалов | 212 |
| Литература | 221 |
| Глава 6. Рентгеновские методы исследования наноструктур и нанообъектов электроники | 227 |
| Введение | 227 |
| 6.1. Современные задачи рентгеновской метрологии в микро- и нанoeлектронной технологии | 229 |
| 6.2. Основные конструктивные и исследовательские возможности современного многофункционального рентгеновского исследовательского оборудования | 233 |
| 6.3. Двухволновая относительная рентгеновская рефлектометрия скользящего падения | 236 |
| 6.4. Дифракция и малоугловое рассеяние рентгеновских лучей | 254 |
| 6.5. Повышение эффективности решения обратных рентгеновских задач при использовании параллельных вычислений на графических процессорах | 257 |
| 6.6. Организация удаленного массового доступа к уникальному рентгеновскому оборудованию, сопряженному с виртуальной обучающей системой | 261 |
| Заключение | 263 |
| Авторы | 264 |
| Литература | 264 |
| Глава 7. Наноструктуры на основе метода локального зондового окисления | 268 |
| 7.1. Метод локального зондового окисления | 271 |
| 7.2. Физико-химическая модель процесса локального зондового окисления, учитывающая приборное ограничение величины тока | 273 |

| | |
|---|------------|
| 7.3. Исследование влияния конструктивных параметров проводящих кан- тилерверов на параметры процесса локального зондового окисления. | 275 |
| 7.4. Исследование влияния фотоактивации на кинетику локального зондового окисления. | 285 |
| Авторы | 289 |
| Литература | 289 |
| Глава 8. Плазменные методы создания наноструктур. | 292 |
| Введение. | 292 |
| 8.1. Применение технологии плазменного травления для формирования наноразмерных элементов. | 293 |
| 8.2. Современные методы формирования функциональных слоев нано- структур с применением низкотемпературной газовой плазмы. | 317 |
| 8.3. Перспективы развития плазменной технологии | 327 |
| Авторы | 329 |
| Литература | 330 |
| Глава 9. Наноструктурированные оксиды металлов в техно- логии устройств функциональной электроники | 332 |
| 9.1. Пористый анодный оксид алюминия | 334 |
| 9.2. Наноструктурированный оксид титана | 342 |
| 9.3. Нанокристаллический оксид цинка | 350 |
| Авторы | 355 |
| Литература | 355 |
| Глава 10. Функциональные некристаллические покрытия для микро- и нанoeлектроники | 361 |
| 10.1. Технологии получения некристаллических материалов. | 362 |
| 10.2. Импульсное осаждение дуговой электроэрозционной плазмы | 365 |
| 10.3. Морфология поверхности | 369 |
| 10.4. Применение функциональных некристаллических покрытий | 377 |
| Литература | 404 |
| Глава 11. Лазерный метод создания биосовместимых композиционных наноматериалов с углеродными нанотрубками | 407 |
| 11.1. Технология получения биосовместимых объемных композиционных наноматериалов с углеродными нанотрубками. | 409 |
| 11.2. Механические свойства композиционных наноматериалов. | 415 |
| 11.3. Электропроводящие свойства композиционных наноматериалов | 423 |
| 11.4. Лазерная сварка композиционных наноматериалов | 426 |
| 11.5. Биосовместимость композиционных наноматериалов. Рост клеточных структур на матриксе из композиционных наноматериалов | 431 |
| Авторы | 443 |
| Литература | 444 |

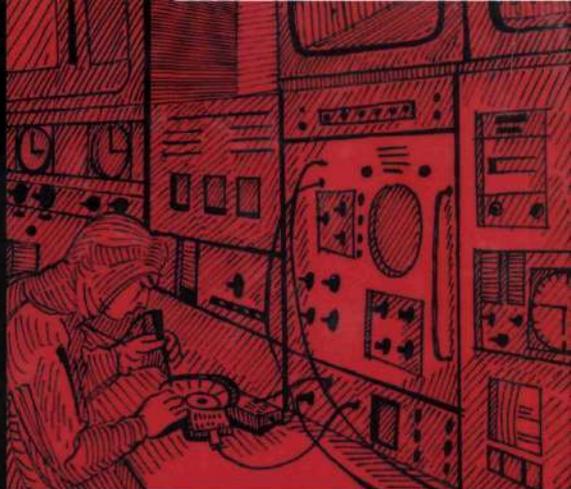
| | |
|--|-----|
| Глава 12. Микро- и наноэлектромеханические системы и устройства | 449 |
| 12.1. Разработка преобразователей линейного ускорения | 452 |
| 12.2. Разработка преобразователей угловой скорости | 468 |
| 12.3. Разработка микромеханического зеркала на основе балочного микроактюатора | 478 |
| Литература | 490 |
| Глава 13. Элементы наноэлектроники на основе высокотемпературного сверхпроводника состава $(\text{Bi,Pb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ | 495 |
| 13.1. Свойства сверхпроводника состава $(\text{Bi,Pb})\text{SrCaCuO}$. Внутренний эффект Джозефсона в сверхпроводниках на основе висмута | 496 |
| 13.2. Технология получения тонких слоев высокотемпературного сверхпроводника состава $(\text{Bi,Pb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ | 502 |
| 13.3. Технология изготовления и свойства магниточувствительных структур | 513 |
| 13.4. Приемники электромагнитного излучения инфракрасной области спектра | 522 |
| 13.5. Перспективные электронные приборы | 526 |
| Литература | 528 |
| Глава 14. Магниторезистивные структуры в устройствах наноэлектроники и микросистемной техники | 540 |
| 14.1. Физические процессы в магниторезистивных структурах | 542 |
| 14.2. Материалы, методы формирования и электрофизические свойства магниторезистивных структур | 566 |
| 14.3. Применение магниторезистивных структур | 579 |
| Авторы | 594 |
| Литература | 595 |
| Глава 15. Кремниевые биполярные гетероструктуры и проектирование СВЧ интегральных схем на их основе | 601 |
| 15.1. СВЧ гетеропереходная полупроводниковая элементная база | 602 |
| 15.2. Состояние и перспективы технологии кремниевых гетеропереходных биполярных транзисторов для СВЧ-применений | 611 |
| 15.3. Особенности проектирования СВЧ интегральных устройств с использованием гетеропереходных транзисторов | 616 |
| 15.4. Защита интегральных SiGe БиКМОП-микросхем от электростатического напряжения | 627 |
| 15.5. Проектирование СМЛ масштабируемой библиотеки | 637 |
| 15.6. Примеры проектирования СВЧ ИМС на гетеропереходных биполярных транзисторах с SiGe-базой для сверхскоростных систем передачи данных | 648 |
| Литература | 677 |

мир

электроники

НАНОТЕХНОЛОГИИ
В ЭЛЕКТРОНИКЕ
ВЫПУСК 2

Под редакцией
Ю.А. ЧАПЛЫГИНА



В КНИГЕ ПРЕДСТАВЛЕНЫ
РАБОТЫ ВЕДУЩИХ УЧЕНЫХ
НАЦИОНАЛЬНОГО
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА МИЭТ

НОВЕЙШИЕ ДОСТИЖЕНИЯ
И РАЗРАБОТКИ В ОБЛАСТИ
ВНЕДРЕНИЯ
НАНОТЕХНОЛОГИЙ
В ЭЛЕКТРОНИКУ



ТЕХНОСФЕРА

ISBN 978-5-94836-353-0



9 785948 363530

