

621.3

M-594

1519199

МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКА В СИСТЕМАХ РАДИОЛОКАЦИИ



Ю.В. Гуляев
А.С. Бугаев
Р.П. Быстров
С.А. Никитов
В.А. Черепенин

МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКА В СИСТЕМАХ РАДИОЛОКАЦИИ

**Ю.В. Гуляев, А.С. Бугаев, Р.П. Быстров,
С.А. Никитов, В.А. Черепенин**

**Москва
Радиотехника
2013**

УДК 621.396.967
ББК 32.95
М 59

Отзыв
академика Н.А. Кузнецова

Авторы:
Ю.В. Гуляев, А.С. Бугаев, Р.П. Быстров,
С.А. Никитов, В.А. Черепенин



**Издание осуществлено при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований
по проекту № 13-07-07001.**

Не подлежит продаже

М 59 Микро- и наноэлектроника в системах радиолокации. Монография. –
М.: Радиотехника, 2013. – 480 с.: ил.

ISBN 978-5-88070-377-7

В монографии рассмотрены вопросы применения микро- и наноматериалов в радиолокационных системах и их элементной базе. Показано нано- и микроэлектронное исполнение активных фазированных антенных решеток, приемопередающих систем и других узлов РЛС. Представлено современное исполнение на ПАВ резонаторов, фильтров, дисперсионных линий задержки, устройств дистанционной радиочастотной идентификации объектов и других СВЧ-компонентов. Освещены вопросы применения новых материалов, МЭМС- и НЭМС-устройств, принципов нано- и радиофотоники в системах радиолокации. Определены пути создания радиолокационных систем нового поколения.

Для научных работников, инженеров, преподавателей, аспирантов и студентов технических вузов.

УДК 621.396.967
ББК 32.95

ISBN 978-5-88070-377-7

© Авторы, 2013
© ЗАО «Издательство «Радиотехника», 2013

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОТЗЫВ О МОНОГРАФИИ АКАДЕМИКА РАН Н. А. КУЗНЕЦОВА	7
ОТ АВТОРОВ.....	9
ВВЕДЕНИЕ	11
<i>Литература</i>	<i>17</i>

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

Материалы, технологии и элементная база микро- и нанoeлектроники	19
---	-----------

ГЛАВА 1

Перспективные материалы и компоненты элементной базы.....	21
1.1. Компоненты твердотельной СВЧ-электроники	22
1.1.1. Особенности твердотельных СВЧ-приборов	22
1.1.2. Основные электрофизические параметры полупроводниковых материалов для СВЧ-приборов.....	24
1.1.3. Алмаз для электронных приборов СВЧ-диапазона	25
1.1.4. Физическая сущность гетероструктур и результаты исследований их свойств.....	7
1.2. Композиционные и нанокomпозиционные материалы	36
1.2.1. Структура и свойства композиционных материалов	37
1.2.2. Особенности нанокomпозиционных материалов	38
1.2.3. Свойства многофункциональных нанокomпозиционных материалов	39
1.2.4. Исследование нанокomпозитов на основе бинарных соединений	40
1.2.5. Спектральные свойства композитов на основе углеродных нанотрубок и полипропилена	42
1.2.6. Магнитные кристаллы и их природа	47
1.2.7. Нанокomпозиционные материалы для антенных систем	51
1.3. Конструкционные наноматериалы	52
1.3.1. Наноматериалы для электрически управляемых устройств	54
1.3.2. Наноматериалы для теплоотводов	56
1.3.3. Наноматериалы для радиопрозрачных устройств	57
1.3.4. Микро- и наноматериалы для размеростабильных опорных структур в условиях меняющихся температуры и влажности	57
1.3.5. Особопрочные радиационностойкие пеноматериалы с низкими потерями в СВЧ-диапазоне	59
1.3.6. Микро- и наноматериалы для высокочастотных печатных плат	60

1.4. Микро- и наноматериалы для устройств на ПАВ	64
1.4.1. Подложки устройств на ПАВ	64
1.4.2. Основные параметры материалов для устройств на ПАВ	66
1.4.3. Монокристаллические подложки	81
1.4.4. Многослойные подложки	94
1.4.5. Температурно-стабильные устройства на ПАВ	102
<i>Литература</i>	105

ГЛАВА 2

Технологии производства микро- и наноматериалов..... 114

2.1. Особенности технологий производства микро- и наноматериалов.....	114
2.2. Технологии производства микро- и наноэлектромеханических систем	115
2.2.1. Чувствительные элементы	116
2.2.2. Структуры и устройства на основе технологий МЭМС и НЭМС	118
2.3. Технология производства наноуглеродных структур	120
2.3.1. Наночастицы углерода	120
2.3.2. Структура и свойства нанотрубок	122
2.3.3. Фуллерены и фуллереноподобные структуры на основе наноуглеродных трубок	123
2.3.4. Особенности технологии производства и применения нанотрубок	128
2.4. Графены	131
2.4.1. Структура и свойства графенов	131
2.4.2. Проблемы технологии производства графенов	132
2.4.3. Возможность применения графенов в радиолокации	133
2.5. Технологии производства магнитных и магниторезистивных материалов	134
2.5.1. Наноразмерные магнитные структуры	135
2.5.2. Магнитные и магниторезистивные свойства нанопроволок	141
2.5.3. Технологические особенности нанопроволок	143
2.6. Технология производства гетероструктур	144
<i>Литература</i>	151

ГЛАВА 3

Элементная база микро- и наноэлектроники..... 157

3.1. Микросистемная техника – новые возможности	157
3.1.1. Требования к основным параметрам систем радиолокации на основе микросистемной техники	157
3.1.2. Основные позиции программы развития МЭМС	159
3.1.3. МЭМС радиочастотного диапазона	160
3.2. Приборы для систем радиолокации на основе микро- и наноэлектронных материалов	165
3.2.1. Химические датчики на базе НЭМС	165
3.2.2. Наноэлектромеханический преобразователь с подвешенной над подложкой углеродной трубкой	168
3.3. СВЧ-элементы на основе микроалмазных материалов	170
3.4. Интегральные микросхемы	184
3.4.1. Современный уровень проектирования микросхем	185
3.4.2. Сегнетоэлектрики в устройствах СВЧ-диапазона	185
<i>Литература</i>	197

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

Применение микро- и нанoeлектроники в системах радиолокации..... 203

ГЛАВА 4

Устройства на ПАВ для систем радиолокации..... 205

4.1. Тенденции развития акустоэлектроники СВЧ	205
4.1.1. Частотно-задающие и частотно-селективные акустоэлектронные устройства в коротковолновой части СВЧ-диапазона	205
4.1.2. Принципы работы акустоэлектронных СВЧ-резонаторов и фильтров на ОАВ	207
4.2. Устройства на ПАВ для формирования и сжатия сложных сигналов	213
4.2.1. Устройства на ПАВ для корреляционной обработки сложных сигналов	214
4.2.2. Устройства на ПАВ для формирования и сжатия сигналов с дисперсионными преобразователями	222
4.2.3. Дисперсионные акустоэлектронные линии задержки с отражательными структурами	231
4.3. Миниатюризация и функциональная интеграция устройств на ПАВ	246
4.3.1. Особенности миниатюризации: варианты технических решений	247
4.3.2. Типы корпусов и технологии упаковки фильтров на ПАВ. Примеры выпускаемых миниатюрных фильтров	248
4.3.3. Конструкция и примеры фильтров на упругих граничных ПАВ	254
4.3.4. Интеграция устройств на ПАВ: примеры реализации	255
4.3.5. Модульная архитектура построения и принципы интеграции устройств на ПАВ	259

Литература

ГЛАВА 5

Антенны и блоки систем радиолокации на основе радиофотоники 268

5.1. Применение устройств нанофотоники в радиолокации	269
5.1.1. Антенны РЛС	269
5.1.2. Передатчик, приемник, индикатор и другие блоки РЛС	278
5.2. Применение радиофотоники в РЛС	302

Литература

ГЛАВА 6

Микро- и нанoeлектронные функциональные узлы для РЛС..... 314

6.1. Схемы функциональных систем РЛС	315
6.2. Микроэлектронное исполнение приемопередающих систем РЛС.....	318
6.2.1. МИС на GaN – усилители приемопередающих модулей	319
6.2.2. GaN МИС – переключатели ППП	319
6.3. Микроэлектронное исполнение АФАР	324
6.3.1. АФАР с использованием МЭМС	324
6.3.2. Антенные МЭМС с управляемыми линиями задержки и их компоненты	326
6.3.3. МЭМС-генераторы	327
6.3.4. Увеличение направленности наноантенн РЛС путем применения композиционных материалов и нанотехнологий	328
6.3.5. Наноантенна на базе резонаторно-щелевого сферического излучателя	341
6.3.6. Активные ФАР на GaAs.....	345

Микро- и наноэлектроника в системах радиолокации

6.4. Микросистемные устройства в РЛС.....	346
6.4.1. Микросистемная техника	348
6.4.2. Теплоотводящие наноматериалы	352
6.4.3. Радиопоглощающие материалы	352
6.4.4. Монолитные интегральные схемы	355
<i>Литература</i>	364
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	367
ПРИЛОЖЕНИЯ	369
Приложение 1. Общие свойства материалов и приборов микро- и наноэлектроники и перспективы их применения	371
Приложение 2. Твердотельные СВЧ-приборы	388
Приложение 3. Микро- и наноэлектромеханические структуры.....	395
Приложение 4. Углеродные нанотрубки	417
Приложение 5. Графены.....	434
Приложение 6. Наноленты и нанопроволоки.....	452
Приложение 7. Физические свойства некоторых монокристаллов.....	464
Приложение 8. Материальные константы некоторых монокристаллов	465
Приложение 9. Основные параметры некоторых материалов, применяемых для подложек устройств на ПАВ.....	467
Приложение 10. Характеристики некоторых срезов монокристалла кварца	469
Приложение 11. Характеристики псевдоповерхностных акустических волн, распространяющихся в подложках устройств на ПАВ с пленками стекла	470
Приложение 12. Характеристики подложек с пьезоэлектрическими пленка- ми в устройствах на ПАВ.....	470
Приложение 13. Значения материальных констант некоторых многослойных подложек устройств на ПАВ	471
Приложение 14. Характеристики некоторых методов температурной стаби- лизации	472
MICRO AND NANOELECTRONICS IN SYSTEMS RADAR-LOCATIONS	473
Table Of Contents	475