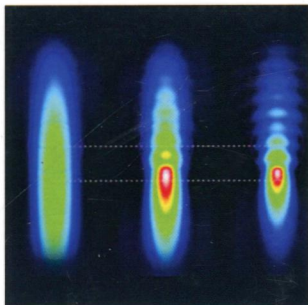


Материалов и технологий

Металл/полупроводник
содержащие
нанокompозиты

Под редакцией
Л.И. Трахтенберга,
М.Я. Мельникова



ТЕХНОСФЕРА



М И Р **м а т е р и а л о в** **и т е х н о л о г и й**

**Металл/полупроводник
содержащие
нанокompозиты**

Под редакцией Л.И. Трахтенберга,
М.Я. Мельникова

ТЕХНОСФЕРА
Москва
2019

УДК 537, 544.7, 576
ББК 22.3
М54

Рецензент: д.т.н., член-корреспондент РАН Ю.А. Чаплыгин

М54 Металл/полупроводник содержащие нанокompозиты
Под ред. Л.И. Трахтенберга, М.Я. Мельникова
М.: ТЕХНОСФЕРА, 2019. – 624с. ISBN 978-5-94836-464-3

В учебном пособии представлены различные физико-химические, электрофизические и эксплуатационные свойства композиционных материалов, содержащих металлические и полупроводниковые наночастицы. Материал можно условно разбить на несколько блоков, в которых рассматриваются строение наночастиц и их поведение при воздействии электрического, магнитного и электромагнитного полей. Также уделено внимание исследованию биологических систем и применению наноматериалов в медицине. Ряд явлений, обсуждаемых в книге, интересны не только с научной точки зрения, но и сулят заметный практический выход, а в некоторых случаях уже эффективно используются в промышленных масштабах. В заключение рассматриваются актуальные проблемы, связанные с воздействием нанообъектов на организм человека вследствие биологической активности наночастиц, обусловленной их высокой проникающей способностью и эффективным взаимодействием с живой клеткой.

Все вопросы, обсуждаемые в книге, представлены высококвалифицированными специалистами, активно работающими в разных областях нанотехнологий. Наряду с учебным и обзорным материалом, излагаются и оригинальные исследования авторов, обобщающие их работы нескольких последних лет. Предлагаемое пособие будет полезно читателям широкого круга интересов от студентов и аспирантов до преподавателей и научных сотрудников, интересующихся различными аспектами теории и практики явлений, протекающих в нанокompозитах.

УДК 537, 544.7, 576
ББК 22.3

© 2016, Трахтенберг Л.И., Мельников М.Я.
© 2019, АО «РИЦ «ТЕХНОСФЕРА», оригинал-макет, оформление

ISBN 978-5-94836-464-3

Содержание

Введение.

Трахтенберг Л.И., Мельников М.Я. 13

Список аббревиатур с расшифровкой..... 25

ГЛАВА 1. ЗАРЯДОВАЯ СТРУКТУРА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ НАНОЧАСТИЦ.

Кожушнер М.А., Посвянский В.С., Трахтенберг Л.И. 30

1.1. Свободная энергия при неоднородном распределении зарядов
в сферической наночастице 33

1.2. Методика расчета 38

1.3. Результаты расчетов и обсуждение 40

1.4. Качественное описание распределения заряда и потенциала
внутри наночастицы 45

1.5. Одноэлектронные квантовые состояния 46

1.6. Приложение 48

Заключение 49

 Авторы 50

 Литература 51

ГЛАВА 2. ПЕРКОЛЯЦИОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТАХ С ПРИСАДКОЙ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК.

Бочаров Г.С., Елецкий А.В., Книжник А.А., Потапкин Б.В. 54

2.1. Экспериментальные исследования электропроводности композитов
с присадкой УНТ 56

 Первые эксперименты 56

 Анализ экспериментальных данных по перколяционной
 проводимости 57

 Зависимость перколяционного порога от АО 63

 Перколяционная проводимость в переменном поле 64

2.2. Моделирование перколяционной проводимости композитов
с присадкой УНТ 68

 Перколяционная модель проводимости нанокompозитов 70

 Влияние параметров УНТ на положение перколяционного
 порога 71

 Неомическая проводимость композитов с присадкой УНТ 75

Заключение 80

 Авторы 81

 Литература 81

ГЛАВА 3. ПОГЛОЩЕНИЕ И РАССЕЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИМПУЛЬСОВ НА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОСФЕРАХ В ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАТРИЦЕ.

<i>Астапенко В.А., Свита С.Ю.</i>	85
3.1. Поглощение ультракоротких электромагнитных импульсов металлическими наносферами в диэлектрической матрице	87
3.2. Рассеяние электромагнитных импульсов на металлических наносферах.....	94
Общие формулы	94
Влияние среды	96
Влияние углов рассеяния	98
Зависимость вероятности рассеяния от длительности УКИ	100
Сопоставление с золотыми наносферами	103
Заключение	104
Авторы.....	106
Литература.....	106

ГЛАВА 4. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЕДИНИЧНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ И ОКИСЛЕННЫХ НАНОЧАСТИЦ.

<i>Гатин А.К., Гришин М.В., Сарвадий С.Ю., Шуб Б.Р.</i>	109
4.1. Условия проведения эксперимента.....	111
4.2. Наночастицы золота.....	115
Аморфные наночастицы золота на поверхности ВОПГ	115
Кристаллические наночастицы золота на поверхности ВОПГ	118
Кристаллические наночастицы золота на поверхности окисленного кремния.....	119
Кристаллические наночастицы золота на поверхности окисленного алюминия.....	120
Кристаллические наночастицы золота на поверхности окисленного титана	121
Результаты и выводы	121
4.3. Наночастицы никеля.....	122
Аморфные наночастицы никеля на графите	122
Кристаллические наночастицы никеля на графите	125
Кристаллические наночастицы никеля на поверхности окисленного алюминия.....	127
Кристаллические наночастицы никеля на поверхности окисленного кремния.....	127
Кристаллические наночастицы никеля на поверхности окисленного титана	128
Результаты и выводы	129

4.4. Наночастицы платины	130
Аморфные наночастицы платины на графите	130
Кристаллические наночастицы платины на графите	131
Результаты и выводы	131
4.5. Адсорбционные характеристики аморфных и кристаллических наночастиц, нанесенных на подложки различной природы	132
4.6. Взаимодействие наночастиц золота с газообразными реагентами ...	133
Аморфные наночастицы золота на графите	133
Кристаллические наночастицы золота на графите	141
Кристаллические наночастицы золота на поверхности окисленного кремния.....	143
Кристаллические наночастицы золота на поверхности окисленного алюминия.....	144
Кристаллические наночастицы золота на поверхности окисленного титана	145
Результаты и выводы	146
4.7. Взаимодействие наночастиц на основе никеля с водородом, кислородом и парами воды	147
Наночастицы никеля на графите	147
Кристаллические наночастицы никеля на поверхности окисленного алюминия.....	153
Кристаллические наночастицы никеля на поверхности окисленного кремния.....	154
Кристаллические наночастицы никеля на поверхности окисленного титана	156
Результаты и выводы	158
4.8. Взаимодействие аморфных и кристаллических наночастиц платины с газообразными реагентами.....	159
Аморфные наночастицы платины	159
Кристаллические наночастицы платины на графите	161
Результаты и выводы	162
Заключение	162
Авторы	166
Литература	166

ГЛАВА 5. СТРУКТУРА И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИ-П-КСИЛИЛЕНА.

<i>Стрельцов Д.Р., Григорьев Е.И., Чвалун С.Н.</i>	175
5.1. Низкотемпературная газофазная полимеризация п-ксилилена	177
5.2. Структура, электропроводность, оптические свойства нанокмпозитов поли-п-ксилилен-серебро	184

5.3. Оптические свойства нанокompозитов, содержащих полупроводниковые наночастицы	200
Размерное квантование энергетических уровней	200
Разделение зарядов на межфазной границе полимерная матрица-наночастица	203
Сдвиг вакуумных уровней на границе полимерная матрица-наночастица	208
Заключение	210
Авторы	210
Литература	210

ГЛАВА 6. АНОМАЛЬНОЕ ПОВЕДЕНИЕ МАГНИТНЫХ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВТСП $YBa_2Cu_3O_{6.93}$ ПОД ВЛИЯНИЕМ НАНОМАСШТАБНОГО СТРУКТУРНОГО РАЗУПОРЯДОЧЕНИЯ.

<i>Мамсурова Л.Г., Пигальский К.С., Трусевич Н.Г.</i>	218
6.1. Особенности синтеза мелкокристаллических образцов ВТСП	221
6.2. Особенности кристаллической структуры мелкокристаллических образцов $YBa_2Cu_3O_y$	223
6.3. Магнитные размерные эффекты	225
6.4. Усиление псевдощелевых аномалий под влиянием наномасштабного структурного разупорядочения в $YBa_2Cu_3O_{6.93}$	230
Детали эксперимента.....	230
Результаты и обсуждение	231
Заключение	238
Авторы	239
Литература	239

ГЛАВА 7. МАГНИТНЫЕ И МАГНИТОТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА МАГНИТНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ.

<i>Аронзон Б.А., Райхер Ю.Л.</i>	243
7.1. Получение и структура пленок нанокompозитов	246
7.2. Магнитные нанокompозиты на основе твердотельной диэлектрической матрицы. Магнитные свойства	250
Намагниченность при низких температурах	252
Намагниченность при высоких температурах	254
Намагниченность нанокompозитов с несферическими гранулами	256

Релаксация намагниченности и наноккомпозит как кластерное спиновое стекло.....	259
7.3. Магнитные наноккомпозиты на основе твердотельной диэлектрической матрицы. Электрофизические свойства.....	262
Зависимость проводимости от концентрации металлических гранул. Порог перколяции.....	262
Температурная зависимость проводимости.....	266
Магнетосопротивление. Магнитополевая зависимость проводимости.....	269
Эффект Холла.....	275
7.4. Квантоворазмерный переход металл-диэлектрик в наноккомпозитах.....	279
7.5. Особенности магнитных наноккомпозитов на основе матрицы разбавленного магнитного полупроводника.....	284
7.6. Магнитные наноккомпозиты на основе полимерной матрицы.....	290
Получение и структура пленок наноккомпозитов на основе полимеров.....	290
Магнитные свойства наноккомпозита Ni-PPX.....	292
Электрофизические свойства.....	294
7.7. Магнитополимерные микрокомпозиты: память формы и магнитоиндуцированная пластичность.....	296
Эффект магнитоиндуцированной пластичности (магнитная память формы).....	299
Качественное рассмотрение.....	300
Феноменологическая модель.....	304
Мезоскопическая магнитомеханика частиц в полимерной матрице.....	307
Заключение.....	309
Авторы.....	309
Литература.....	310

ГЛАВА 8. ИЗМЕНЕНИЕ МАГНИТНОГО МОМЕНТА

ФЕРРОМАГНИТНОЙ НАНОЧАСТИЦЫ

ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПОЛЯРИЗОВАННОГО ТОКА.

Кожушнер М.А., Гатин А.К., Гришин М.В., Шуб Б.Р., Ким В.П.,

Хомутов Г.Б., Гуляев Ю.В., Трахтенберг Л.И...... 323

8.1. Теория перемагничивания массивных наночастиц поляризованным током.....	327
Поляризованные токи через ферромагнитную наночастицу.....	327
Кинетика перемагничивания наночастицы.....	330

8.2. Синтез наночастиц магнетита	333
8.3. Перемагничивание наночастиц поляризованным током	334
Условия проведения эксперимента	335
Результаты и обсуждение	336
Заключение	340
Авторы	341
Литература	342
ГЛАВА 9. СТРУКТУРИРОВАННЫЕ НАНОКОМПОЗИТЫ ФЕРРОМАГНЕТИК/ОКСИД АЛЮМИНИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ И ИЗОЛИРУЮЩИХ ПОДЛОЖЕК.	
<i>Бугаев А.С., Веденев А.С., Напольский К.С., Рыльков В.В.</i>	
9.1. Методы синтеза структурированных наноконпозитов на основе матриц из пористого оксида алюминия.....	347
Методика формирования слоев пористого оксида алюминия	348
Методика электроосаждения металлов в поры анодного оксида алюминия.....	352
9.2. Формирование пористых слоев анодного оксида алюминия на резистивных подложках.....	354
9.3. Структурированный наноконпозит анодный оксид алюминия (кобальт) на поверхности n-GaAs/i-GaAs пластин: синтез и магнитные свойства.....	357
Заклучение	364
Авторы	365
Литература	366
ГЛАВА 10. МАГНИТНЫЕ НАНОКОМПОЗИТЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ДИФфуЗИОННОГО ТРАНСПОРТА ЛЕКАРСТВЕННЫХ ВЕЩЕСТВ: СТРУКТУРА И ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ПОВЕДЕНИЕ.	
<i>Иорданский А.Л., Бычкова А.В., Прусаков В.Е., Максимов Ю.В., Нищев К.Н., Голубьев А.В., Коварский А.Л., Роговина С.З., Крупянский Ю.Ф., Берлин А.А.</i>	
10.1. Особенности строения магнитных наноконпозитов	
ПГБ-ХТ-оксид железа	373
Динамическое светорассеяние коллоидных растворов оксида железа.....	374
Рентгеновская дифракция магнитных частиц оксида железа в конпозите.....	376
Электронные микрофотографии пленок МНК	377

10.2. Магнитная анизотропия и структура нанокомпозитов	
во внешнем поле	378
10.3. Мессбауэровская спектроскопия магнитных композитов	379
10.4. Диффузионно-сорбционные процессы в изотропных	
и анизотропных магнитных нанокомпозитах	381
Равновесное набухание изотропных и анизотропных МНК.....	382
Диффузия ЛВ в изотропных и анизотропных МНК.....	384
Кинетические профили контролируемого высвобождения	
лекарственного вещества из пленок МНК.....	387
Влияние магнитного поля на диффузионную кинетику	
высвобождения лекарственного вещества	388
Заключение	390
Авторы	390
Литература	391
ГЛАВА 11. НАНОКРИСТАЛЛИЗАЦИЯ НУКЛЕОИДА БАКТЕРИЙ	
 В УСЛОВИЯХ СТРЕССА. ВОЗМОЖНОСТИ	
 ИССЛЕДОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ РЕНТГЕНОВСКИХ	
 ЛАЗЕРОВ.	
<i>Крупянский Ю.Ф., Сеницын Д.О.</i>	397
11.1. Образование тороидальных и нанокристаллических	
структур ДНК в комплексе с белком	399
11.2. Структура кристаллов и тороидов ДНК	401
11.3. Организация ДНК в тороидах и нанокристаллах.....	403
11.4. Возможности РЛСЭ в определении структуры нанообъектов	404
11.5. Возможные конфигурации эксперимента по определению	
структуры упорядоченных комплексов ДНК-Dps на РЛСЭ	406
11.6. Ожидаемые проблемы рентгеноструктурного исследования	
нанокристаллов ДНК-Dps	408
Заклучение	409
Авторы	410
Литература	410
ГЛАВА 12. ФОТНИКА НА НАНОРАЗМЕРНОЙ ШКАЛЕ.	
 ЛАЗЕРНАЯ НАНОХИРУРГИЯ КЛЕТОК И ЭМБРИОНОВ.	
<i>Надточенко В.А., Мельников М.Я.</i>	414
12.1. Фемтосекундный лазерный скальпель	415
Физико-химические механизмы действия фемтосекундного	
лазерного скальпеля	420
Фотохимические эффекты	421

Ионизация в интенсивном лазерном поле	421
Кавитационные, паро-газовые пузырьки	424
Точечные абсорберы, плазмонные наночастицы	426
12.2. Лазерный пинцет	428
12.3. Одновременное использование фемтосекундного лазера в качестве пинцета и скальпеля	430
Заключение	434
Авторы	435
Литература	435

ГЛАВА 13. ЗАРЯДОВЫЕ ЭФФЕКТЫ И КАТАЛИТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СИСТЕМ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОЧАСТИЦ.

*Кожевин В.М., Явсин Д.А., Ильющенко Д.С., Ростовщикова Т.Н.,
Локтева Е.С., Гуревич С.А.*

13.1. Метод лазерного электродиспергирования	449
13.2. Структура покрытий, получаемых методом лазерного электродиспергирования	451
Наноструктуры меди, золота и серебра	451
Наноструктуры никеля, палладия и платины	454
13.3. Электрические свойства	457
Электрические свойства металлических наночастиц, нанесенных на диэлектрические подложки	457
Электрические свойства наноструктур, нанесенных на проводящие подложки	463
13.4. Каталитические свойства наноструктур, формируемых методом лазерного электродиспергирования	469
Катализ превращений хлоруглеводородов наночастицами Cu и Ni	469
Гидрирование и гидрохлорирование в присутствии наночастиц Ni, Au и Pd	472
Заключение	480
Авторы	481
Литература	482

ГЛАВА 14. СЕНСОРЫ НА ОСНОВЕ СМЕШАННЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ.

Герасимов Г.Н., Громов В.Ф., Трахтенберг Л.И.

14.1. Типы смешанных металлоксидных сенсоров	490
14.2. Методы получения металлоксидных наноконпозитов	493

Толсто пленочная технология с использованием нанопорошков металлоксидов	494
Метод импрегнирования	495
Метод аэрозольного напыления	497
Газофазные методы получения сенсорных пленок	498
Сенсоры на основе металлоксидных нановолокон	500
14.3. Структура и морфология нанокompозитных сенсоров	501
14.4. Проводимость и сенсорные свойства	507
Влияние состава композита на его проводимость	507
Сенсорные характеристики смешанных металлоксидных пленок	511
Влияние малых кластеров каталитически активного компонента на сенсорный отклик	520
Сенсорные нановолокна типа ядро-оболочка	525
Заключение	528
Авторы	530
Литература	530

ГЛАВА 15. КВАНТОВОРАЗМЕРНЫЕ НАПРЯЖЕННЫЕ И НЕНАПРЯЖЕННЫЕ НАНОГЕТЕРОСТРУКТУРЫ. ЛАЗЕРНЫЕ ДИОДЫ.

<i>Коняев В.П.</i>	538
15.1. Требования к составам соединений A^3B^5 для лазерных диодов	541
15.2. Влияние механических напряжений на характеристики соединений A^3B^5	546
15.3. Квантоворазмерные лазерные гетероструктуры	551
Методы формирования лазерных гетероструктур	551
Газофазное выращивание из металлоорганических соединений	551
Молекулярно-лучевая эпитаксия (MBE — molecular beam epitaxy)	552
Лазерная гетероструктура с отдельным оптическим и электронным ограничением	553
Энергетическая диаграмма квантоворазмерного активного слоя	559
15.4. Лазерные диоды с квантоворазмерными активными слоями, выпускаемые промышленностью	561
ЛД на основе гетероструктур GaAlAs-GaAs ($\lambda = 780-870$ нм)	561
ЛД на основе гетероструктур InAlGaP — GaAs ($\lambda = 620-690$ нм)	563
ЛД на основе гетероструктур InGaAs-GaAs ($\lambda = 880-1100$ нм)	564

ЛД на основе гетероструктур InGaAsP-InAlAsP-InP ($\lambda = 1300\text{—}1600$ нм).....	565
ЛД на основе нитридов A^3B^5 ($\lambda = 380\text{—}430$ нм).....	566
Квантовые каскадные полупроводниковые лазеры.....	567
Заключение	570
Автор	570
Литература	570

ГЛАВА 16. НАНОЧАСТИЦЫ В БИОСФЕРЕ.

<i>Анциферова А.А., Кашкаров П.К., Ковальчук М.В.</i>	577
16.1. Применение НЧ в индустрии	578
16.2. Механизм взаимодействия НЧ с клеткой.....	579
16.3. Постановка задачи нанобезопасности.....	583
16.4. Методы исследования токсических свойств НЧ.....	584
16.5. Методы исследования биокинетических параметров.....	585
16.6. Некоторые методологические рекомендации по проведению исследований в области нанобезопасности.....	589
16.7. НЧ серебра и их уникальные свойства	591
Перспективы применения НЧ серебра.....	591
Токсичность и транспорт наносеребра в организме	593
Эффект накопления наносеребра в головном мозге.....	595
Влияние наночастиц серебра на функции мозга.....	599
16.8. Наночастицы золота и их применение	601
16.9. Применение НЧ TiO_2 и сопутствующие проблемы	605
Методологическая основа для изучения биокинетик НЧ TiO_2	609
16.10. Биофильные НЧ, как БАД нового поколения.....	611
Заключение	614
Авторы	615
Литература	615