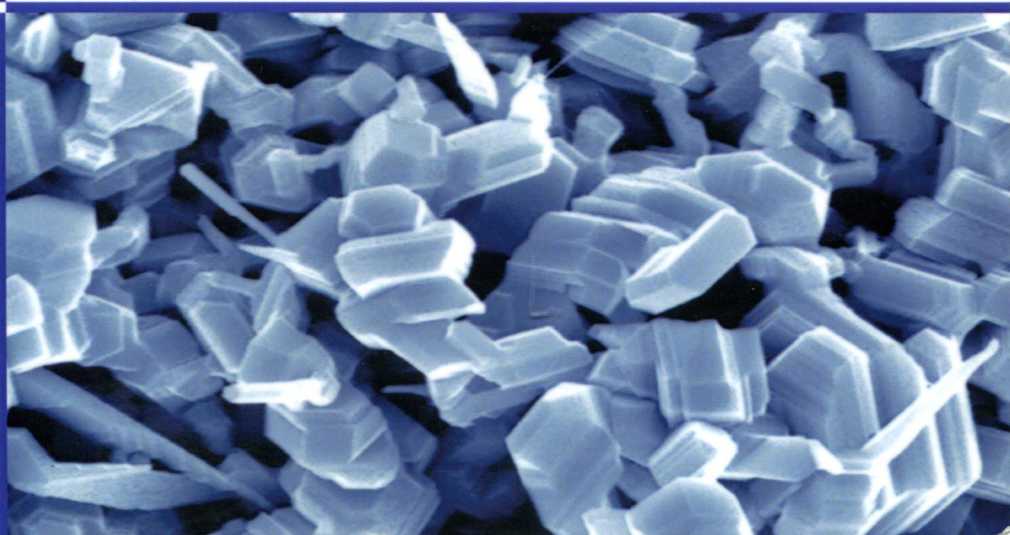


ВЛАДИМИР ТОМАЕВ  
ВЛАДИМИР ПОЛИЩУК

# ФОРМИРОВАНИЕ КОМПОЗИТНЫХ СЕНСОРНЫХ МЕТАМАТЕРИАЛОВ



Владимир Владимирович Томаев  
Владимир Анатольевич Полищук

**ФОРМИРОВАНИЕ КОМПОЗИТНЫХ СЕНСОРНЫХ  
МЕТАМАТЕРИАЛОВ**



Свое издательство  
Санкт-Петербург  
2017

УДК 544.2; 544.03; 544.7

ББК 24.5; 30.3

Т 56

**Рецензент:**

Доктор физико-математических наук, профессор, Лауреат государственной премии Российской Федерации за 1995 год, Сергей Александрович Немов, Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Томаев В.В., Полищук В.А.

Формирование композитных сенсорных метаматериалов. — Санкт-Петербург: Свое издательство, 2017. — 362 с.

Представлены современные композитные сенсорные метаматериалы, изготовленные с помощью нанотехнологий. Состав каждого состоит более чем из одной фазы и получены они с применением традиционных методов синтеза при использовании высоких температур и больших давлений. Все это вместе способствует образованию развитой межфазной области. В большинстве полученных материалов одна из фаз существует в виде частиц нанометровых размеров, а это в свою очередь стимулирует многократное увеличение объема межфазной области и еще больше повышает вероятность проявления квантовых размерных эффектов. Подобные материалы, как показано в работе, проявляют комплекс необычных физико-химических свойств, нетипичных для каждой фазы композита в отдельности.

*Часть экспериментальных работ была поддержана в рамках программы  
СПбГУ «Модернизация материально-технической базы  
фундаментальных исследований»*

*Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных  
исследований в рамках проекта №17-03-00121 А*

ISBN 978-5-4386-1292-6

© Томаев В.В., Полищук В.А., текст, 2017

© Свое издательство, 2017

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	7
ГЛАВА 1. КЛАССИФИКАЦИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ .....	10
1.1. Основные понятия и определения.....	10
1.2. Классификация наноматериалов.....	19
Литература.....	23
ГЛАВА 2. СПОСОБЫ ФОРМИРОВАНИЯ СЕНСОРНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ.....	25
2.1. Механохимический синтез .....	26
2.2. Термическое вакуумное напыление .....	30
2.3. Лазерная абляция .....	33
2.4. Химические способы .....	36
2.5. Синтез стеклообразных халькогенидных наноматериалов .....	42
2.6. Синтез коллоидных частиц.....	43
2.7. Кристаллизация из расплава .....	43
Литература.....	45
ГЛАВА 3. ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРНОГО ЭФФЕКТА В СЕНСОРНЫХ НАНОМАТЕРИАЛАХ .....	48
3.1. Трехмерные электронные системы (3D) .....	49
3.2. Двумерные электронные системы (2D) .....	52
3.3. Одномерные электронные системы (1D) .....	54
3.4. Нульмерные электронные системы (0D).....	55
3.5. Полупроводниковые сверхрешетки .....	58
3.5.1. Композиционные сверхрешетки .....	59
3.5.2. Легированные сверхрешетки.....	63
Литература.....	68
ГЛАВА 4. ПРОЯВЛЕНИЕ РАЗМЕРНОГО ОГРАНИЧЕНИЯ В НАНОМАТЕРИАЛАХ .....	72
4.1. Термодинамические свойства .....	73
4.2. Механические свойства .....	80
4.3. Электрофизические свойства.....	82
4.4. Оптические свойства.....	85
4.5. Магнитные свойства.....	87

4.6. Классификация свойств наноматериалов .....	89
Литература.....	90
ГЛАВА 5. МЕХАНОМОДИФИКАЦИЯ AgI, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , GeO <sub>2</sub> И SiO <sub>2</sub> .....	92
5.1. Механомодифицирование нанокристаллов AgI .....	92
5.2. Рентгенофазовый анализ наночастиц AgI .....	98
5.3. Дифференциальный термический анализ механомодифицированного AgI.....	100
5.4. Ионная проводимость механомодифицированного AgI .....	104
5.5. Получение наномодифицированных структур на основе иодида серебра и оксидов алюминия, германия и кремния .....	106
5.6. Механомодифицирование композитов .....	109
5.6.1. Кристаллизация .....	109
5.6.2. Структура композитов .....	110
5.6.3. Проводимость композитов .....	116
5.7. Механомодифицирование в нанопленках 0.7AgI·0.3ZnO.....	118
Литература.....	126
ГЛАВА 6. МОДИФИЦИРОВАНИЕ ИОДИДА СЕРЕБРА ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ .....	129
6.1. Тепловое воздействие электронного пучка на образец.....	130
6.2. Влияние облучения электронами на поверхность механомодифицированных частиц AgI .....	131
6.3. Рост нитевидных нанокристаллов металлического Ag на пленках AgI .....	142
6.4. Применение функциональных материалов на основе наночастиц благородных металлов.....	146
Литература.....	147
ГЛАВА 7. НАНОКОМПОЗИТЫ (1-x)PbSe·xPbSeO <sub>3</sub> .....	150
7.1. Термодинамический анализ окисления PbSe.....	151
7.2. Подготовка исходных образцов селенида свинца.....	154
7.3. Модель образования PbSeO <sub>3</sub> .....	156
7.4. Синтез селенита свинца методом окисления .....	160
7.5. Фазовый анализ окисленных частиц PbSe .....	162
7.6. Рентгеновский эмиссионный анализ	

(метод химического сдвига).....	167
7.7 Температурные измерения сопротивления поликристаллического селенида свинца на постоянном токе.....	171
7.8. Влияние температуры на электропроводность нанокompозитов (1-x)PbSe-xPbSeO <sub>3</sub> .....	175
7.9. Проявление сегнетоэлектрических свойств в соединениях A <sup>4</sup> B <sup>6</sup> .....	181
7.9.1. Особенности исследования диэлектрических и импедансных спектров в композите (1-x)PbSe-xPbSeO <sub>3</sub> .....	183
7.9.2. Приготовление двухфазных композитов .....	185
7.10. Сегнетоэлектрический фазовый переход в композите (1-x)PbSe-xPbSeO <sub>3</sub> .....	193
7.11. Измерения импеданса композита (1-x)PbSe-xPbSeO <sub>3</sub> .....	198
7.12. ИК-спектроскопия окисленных порошков PbSe.....	202
7.13. Морфология поверхности пленок PbSe и PbSeO <sub>3</sub> .....	222
Литература.....	224
<b>ГЛАВА 8. ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК ДИОКСИДА ОЛОВА .....</b>	<b>233</b>
8.1. Гидропиролитический способ получения пленок SnO <sub>2</sub> .....	233
8.2. Структура нанокompозитов, полученных гидропиролитическим методом.....	235
8.3. Температурная зависимость сопротивления металлооксидных полупроводников на основе SnO <sub>2</sub> .....	239
8.4. Поведение молекул воды и кислорода на поверхности пленок диоксида олова.....	249
8.5. Импедансная спектроскопия металлооксидных нанокompозитов .....	257
8.6. Выводы.....	277
Литература.....	278
<b>ГЛАВА 9. МНОГОСЛОЙНЫЕ ПЛЕНКИ НА ОСНОВЕ ГАЛОГЕНИДОВ И ХАЛЬКОГЕНИДОВ СЕРЕБРА .....</b>	<b>281</b>
9.1. Ионная проводимость в гетерогенных системах .....	281
9.2. Формирование пленок с чередующимися нанослоями.....	283
9.3. Электрические и структурные свойства пленок.....	285

Литература.....	289
ГЛАВА 10. СЕНСОРНЫЕ МЕТАЛЛОКСИДНЫЕ НИТЕВИДНЫЕ НАНОКРИСТАЛЛЫ.....	292
10.1. Формирование поликристаллических слоев SnO <sub>2</sub> с одномерным типом наноморфологии.....	292
10.2. Выращивание нитевидных нанокристаллов In-Se-O .....	301
10.3. История получения нитевидных кристаллов .....	302
10.4. Экспериментальная часть .....	303
10.5. Полученные результаты и их обсуждение .....	304
Литература.....	314
ГЛАВА 11. ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИТНЫХ СЕНСОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	320
11.1. Управление свойствами сенсорных наноматериалов .....	321
11.2. Проводимость композиционных наноматериалов .....	324
11. 3. Применение твердых электролитов .....	328
11.4. Сенсорные свойства композита (1-x)PbSe-xPbSeO <sub>3</sub> .....	332
11. 5. Сенсорные материалы на основе оксидов металлов .....	337
11.5.1. Методика получения нанопленок .....	339
Литература.....	348
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	358