

Министерство образования и науки Российской Федерации
Ярославский государственный университет им. П. Г. Демидова

С. П. Зимин
Е. С. Горлачев

НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ ХАЛЬКОГЕНИДЫ СВИНЦА

Ярославль 2011

УДК 539.21:541.182
ББК В 379
3 62

*Рекомендовано
Редакционно-издательским советом университета
в качестве научного издания.*

Рецензенты:

Гременок В. Ф., д-р физ.-мат. наук, заведующий лабораторией физики твердого тела ГО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению»; кафедра физики и прикладной математики Владимирского государственного университета имени А. Г. и Н. Г. Столетовых

Зимин, С. П. Наноструктурированные халькогениды свинца:
3 62 монография / С. П. Зимин, Е. С. Горлачев; Яросл. гос. ун-т им. П. Г. Демидова. – Ярославль: ЯрГУ, 2011. – 232 с.
ISBN 978-5-8397-0861-7

В монографии излагается современное состояние науки о формировании, исследовании и свойствах наноструктурированных полупроводников халькогенидов свинца PbX (X = Te, Se, S). Рассмотрены размерные эффекты в изучаемых материалах, подробно обсуждены новые подходы создания низкоразмерных систем на основе электрохимических и плазменных процессов.

Книга предназначена для специалистов в области микро- и нанoeлектроники, полупроводникового материаловедения, физики твердого тела, для студентов и аспирантов соответствующих специальностей.

Ил. 105. Библиогр.: 353 назв.

*Издание осуществлено при финансовой поддержке Аналитической ведомственной целевой программы
«Развитие научного потенциала высшей школы
на 2009–2011 годы (проекты 2.1.1/466 и 2.1.1/13083)».*

УДК 539.21:541.182
ББК В 379

ISBN 978-5-8397-0861-7

© Ярославский государственный
университет им. П. Г. Демидова, 2011

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	7
Глава 1. Физические характеристики халькогенидов свинца в объемном состоянии. Методы синтеза нанокристаллов и нанонитей	11
1.1. Свойства объемных полупроводников PbTe, PbSe, PbS	11
1.2. Методы формирования низкоразмерных систем на основе халькогенидов свинца.....	15
1.2.1. Формирование монодисперсных нанокристаллов халькогенидов свинца.....	16
1.2.1.1. Синтез квантовых точек в матрицах на основе полимеров	17
1.2.1.2. Синтез квантовых точек в стеклянных матрицах.....	22
1.2.1.3. Формирование квантовых точек в пористых матрицах (цеолиты, золь-гели).....	27
1.2.1.4. Синтез квантовых точек гидротермальным методом	29
1.2.1.5. Получение коллоидных монодисперсных нанокристаллов халькогенидов свинца в водных растворах.....	32
1.2.1.6. Получение коллоидных монодисперсных нанокристаллов халькогенидов свинца методом высокотемпературного синтеза	34
1.2.1.7. Выращивание квантовых точек халькогенидов свинца методом молекулярно-лучевой эпитаксии	45
1.2.2. Формирование нанонитей халькогенидов свинца	53
1.2.2.1. Коллоидный синтез нанонитей.....	54
1.2.2.2. Гидротермальный метод формирования нанонитей	60
1.2.2.3. Химическое осаждение	61

1.2.2.4. Эпитаксиальный рост нанонитей халькогенидов свинца по механизму «пар – жидкость – кристалл»	64
1.2.2.5. Электрохимическое осаждение	66
1.2.2.6. Принц-технология	68

Глава 2. Размерные эффекты при переходе халькогенидов свинца в нанометровый диапазон 71

2.1. Величина боровского радиуса экситона в халькогенидах свинца	73
2.2. Ширина запрещенной зоны наноструктурированных халькогенидов свинца	79
2.3. Изменение знака температурной зависимости ширины запрещенной зоны	87
2.4. Изменение диэлектрической функции для халькогенидов свинца.....	89
2.5. Теплопроводность наноструктурированных халькогенидов свинца	90
2.6. Осцилляции кинетических коэффициентов в квантовых ямах.....	95
2.7. Изменение постоянной решетки	98
2.8. Размерный эффект в испарении и кристаллизации	101
2.9. Размерный эффект в просветлении.....	103
2.10. Другие размерные эффекты в халькогенидах свинца	105
2.11. Области применения наноструктурированных халькогенидов свинца	108
2.11.1. Устройства альтернативной энергетики.....	109
2.11.2. Применение в устройствах опто- и наноэлектроники	119
2.11.3. Применение в медицине и биологии	129

Глава 3. Электрохимические и плазменные методы наноструктурирования халькогенидов свинца	132
3.1. Формирование наноструктурированных пористых слоев халькогенидов свинца методом анодной электрохимической обработки	132
3.1.1. Методика проведения анодной электрохимической обработки слоев халькогенидов свинца на кремниевых подложках	134
3.1.2. Морфология пористых пленок и нанопористых многослойных систем PbX на кремнии	138
3.1.2.1. <i>Пористые слои PbTe</i>	139
3.1.2.2. <i>Пористые слои PbSe</i>	143
3.1.3. Структурные и физические параметры наноструктурированных пористых слоев халькогенидов свинца.....	148
3.1.3.1. <i>Величина пористости и геометрические параметры пор</i>	148
3.1.3.2. <i>Модификация элементного состава, электрических и оптических характеристик при формировании нанопористых халькогенидов свинца с низкоразмерными структурами</i>	154
3.2. Формирование наноструктурированных халькогенидов свинца методами плазменной обработки	162
3.2.1. Методика плазменной обработки пленочных структур со слоями халькогенидов свинца.....	162
3.2.2. Скорости распыления халькогенидов свинца в аргоновой плазме	164
3.2.3. Эффект микромаскирования при плазменной обработке эпитаксиальных пленок PbX.....	174
3.2.4. Морфологические свойства наноструктур PbX, формируемых при обработке в аргоновой плазме.....	182
3.2.5. Исследование влияния внешних воздействий на параметры наноструктур халькогенидов свинца, получаемых методом плазменной обработки	186

3.2.5.1. Влияние термического отжига на морфологические параметры наноструктур халькогенидов свинца.....	187
3.2.5.2. Влияние электронного облучения на процессы наноструктурирования поверхности поликристаллических пленок халькогенидов свинца в плазме	189
3.2.6. Формирование массивов нанонитей халькогенидов свинца под маской травления методом плазменной обработки	192
Заключение	199
Литература	200