

А. С. Борухович, А. В. Трошин

ПОЛУПРОВОДНИК И ФЕРРОМАГНЕТИК МОНООКСИД ЕВРОПИЯ В СПИТРОНИКЕ



А. С. БОРУХОВИЧ,
А. В. ТРОШИН

ПОЛУПРОВОДНИК
И ФЕРРОМАГНЕТИК
МОНООКСИД
ЕВРОПИЯ
В СПИНТРОНИКЕ

Монография



· САНКТ-ПЕТЕРБУРГ ·
· МОСКВА · КРАСНОДАР ·
2017

ББК 32.852

Б 83

Борухович А. С., Трошин А. В.

Б 83 Полупроводник и ферромагнетик монооксид европия в спинтронике: Монография. — СПб.: Издательство «Лань», 2017. — 288 с.: ил. — (Учебники для вузов. Специальная литература).

ISBN 978-5-8114-2479-5

В монографии обобщены и систематизированы имеющиеся достижения в исследованиях классического магнитного полупроводника — монооксида европия. В хронологическом порядке излагаются все пройденные этапы изучения его выдающихся электронных и магнитных характеристик, особенности их проявления во внешних полях в зависимости от нестехиометрии, степени легирования, как в монокристаллическом, так и в компактном, и тонкопленочном состояниях. Особое внимание уделено возможности нетрадиционного для магнитного полупроводника использования этого монооксида или его твердых растворов (композитов) в деле создания структур спиновой электроники. Как сверхпроводящей, в том числе, и высокотемпературной, так и способной работать в нормальных условиях.

Для научных работников и специалистов, занимающихся разработкой устройств полупроводниковой спиновой электроники и информатики, технологов и физиков-теоретиков, и магнитологов, занимающихся расчетами, разработкой и созданием устройств спиновой памяти для квантового компьютера. Рекомендуется студентам старших курсов и аспирантам физических специальностей университетов для углубления своих физических знаний.

ББК 32.852

Рецензент

И. О. ВАСЬКОВСКИЙ — доктор физико-математических наук, профессор, зав. кафедрой магнетизма и спинтронных материалов Уральского федерального университета им. первого Президента России Б. Н. Ельцина.

Обложка

Е. А. ВЛАСОВА

© Издательство «Лань», 2017

© А. С. Борухович, А. В. Трошин, 2017

© Издательство «Лань»,

художественное оформление, 2017

Введение.....	5
---------------	---

Часть I. EuO — ферромагнетик и полупроводник

Глава 1. Особенности формирования электронно-зонной структуры и физические свойства ферромагнитного полупроводника EuO	
1.1. Зонная структура и магнетизм.....	14
1.2. Электрические и фотооптические характеристики.....	20
1.3. Магнитные характеристики.....	25
1.4. Влияние высокого давления на магнитные и электрические параметры.....	29
1.5. Магнитооптические и СВЧ параметры.....	30
1.6. Ферромагнитный и электронный парамагнитный резонансы.....	32
1.7. Критическое поведение магнитных и термодинамических параметров.....	35
1.8. Магнитный полярон и переход металл–изолятор.....	48
Глава 2. Методы синтеза монооксида европия	
2.1. Термический анализ системы $\text{Eu}_2\text{O}_3\text{:C}$ и метод углетермического восстановления Eu_2O_3	60
2.2. Металлотермическое восстановление Eu_2O_3	71
2.3. Термические характеристики монооксида европия.....	73
2.4. Синтез монокристаллов EuO	77
2.5. Получение тонких пленок EuO	80
2.6. Катионное состояние пленок EuO	85
2.7. Диаграмма состояния европий–кислород.....	88
2.8. Монооксид европия как фаза переменного состава.....	92
2.9. Термодинамические параметры и теплоемкость EuO	97

Глава 3. Повышение температуры Кюри ферромагнитного полупроводника EuO	
3.1. Физические принципы повышения температуры Кюри магнитного полупроводника и их реализация.....	104
3.2. Магнитные примесные состояния и магнитные квазимолекулы в легированном магнитном полупроводнике.....	107
3.3. Повышение температуры Кюри и свойства невырожденных твердых растворов $\text{Eu}_{1-x}\text{Sm}_x\text{O}$	112
3.4. Магнитные квазимолекулы в ферромагнитном полупроводнике с невырожденным типом электропроводности.....	120
3.5. Магнитотермодинамическое исследование твердых растворов $\text{Eu}_{1-x}\text{Gd}_x\text{O}$ с квазиметаллическим характером электропроводности.....	124
3.6. Особенности критического поведения теплоемкости твердых растворов $\text{Eu}_{1-x}\text{Gd}_x\text{O}$	128
3.7. Влияние высокого давления на температуру Кюри и намагниченность твердых растворов $\text{Eu}_{1-x}\text{R}_x\text{O}$	129

Часть II. EuO как спинтроник

Глава 4. Теоретические предпосылки осуществления эффекта Джозефсона в сверхпроводящем туннельном переходе с ферромагнитным барьером	
4.1. Магнитные примеси в сверхпроводящих электродах.....	134
4.2. Метод туннельного гамильтониана.....	137
4.3. Зависимость критического тока Джозефсона от концентрации парамагнитных примесей в сверхпроводниках.....	139

4.4. Парамагнитные примеси в диэлектрическом барьере.....	144
4.5. Упорядоченные магнитные примеси в диэлектрическом барьере.....	150
4.6. Магнитные примеси в металлической прослойке С/М/С–перехода.....	153
4.7. Сверхпроводящие переходы с ферромагнитной прослойкой.....	158
4.8. Возможные механизмы парного туннелирования сквозь Ф-барьер и возникновение спин-поляризованного токопереноса.....	160
Глава 5. Создание и исследование свойств мультислоев и сверхпроводящих туннельных переходов с участием EuO	
5.1. Создание мультислоистых планарных структур с участием пленок EuO.....	168
5.2. Исследование вольтамперных характеристик туннельных переходов NbN/EuO/Pb.....	173
5.3. Структура NbN/EuO/Pb во внешнем магнитном поле.....	179
5.4. Намагничивание мультислоев С/EuO.....	182
5.5. Намагничивание мультислоев ВТСП/EuO.....	187
Примечание.....	191
Глава 6. Создание, исследование и применение гетероструктур металл/ферромагнитный полупроводник (EuO) и ферромагнитный полупроводник (EuO)/полупроводник	
6.1. Структура металл/ферромагнитный полупроводник (EuO) как твердотельный источник спин-поляризованных электронов.....	194
6.2. Структура металл/ферромагнитный полупроводник (EuO) как магнитоуправляемый (спиновый) диод.....	199

6.3. Структура ферромагнитный полупроводник (EuO)/полупроводник как основа субмиллиметровой спиновой электроники	201
6.4. Создание гетероструктур ферромагнитный полупроводник (EuO)/полупроводник и методика проведения частотных измерений.....	209
6.5. Наблюдение микроволнового и субмикроволнового излучения при спиновом транспорте в гетероструктурах ФП(EuO)/П и ФМ/П.....	212
6.6. Оценки возможности стимулированного микроволнового излучения ФП/П гетероструктур.....	217
6.7. Образование стоячей волны излучения и оценки тепловых и квантовых шумов ФП/П-гетероструктур.....	222

Глава 7. Создание высокотемпературного спинового инжектора и спин-волнового транзистора на основе EuO

7.1. Поиск и создание спиновых инжекторов на основе композиционных материалов.....	228
7.2. Синтез и свойств композита EuO:Fe — высокотемпературного спинтроника.....	231
7.3. Исследования спинтроника EuO:Fe методом мессбауэровской спектроскопии.....	241
7.4. Электронная зонная структура твердого раствора $\text{Eu}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}$. Расчет и сравнение с экспериментальными данными для композита EuO:Fe.....	245
7.5. Спинтроник EuO:Fe в контакте с немагнитным полупроводником.....	255
7.6. Решаемые задачи при создании спинового транзистора с инжектором EuO:Fe.....	258
Заключение.....	263
Список литературы.....	267