

С | зин.

ОТЗЫВ

На автореферат диссертации **Кавеева Андрея Камильевича “Синтез и структурно-стимулированные особенности эпитаксиальных гибридных магнитных наносистем”**, представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.11 – Физика полупроводников

Диссертационная работа Андрея Камильевича Кавеева представляет собой экспериментальное исследование, направленное на развитие методов эпитаксиального формирования новых функциональных материалов диэлектрической и полупроводниковой “спинtronики”, а также изучение новых физических явлений, обусловленных модификацией кристаллической структуры, состоянием поверхности или межслоевыми взаимодействием в эпитаксиальных гетероструктурах.

Одним из наиболее актуальных направлений современной физики конденсированного состояния является поиск и исследование свойств материалов, поддерживающих симметрийно защищенные электронные поверхностные состояния, например, таких, как топологические изоляторы (ТИ). Принципиальная возможность реализации транспорта носителей заряда с высокой степенью спиновой поляризации без диссиpации в подобных системах, открывает возможности создания ряда новых устройств полупроводниковой “спинtronики” (спиновые транзисторы, логические элементы и пр.). Так, в первой главе диссертации впервые продемонстрирована возможность раскрытия энергетической щели в области точки Дирака ТИ BiSbTeSe_2 за счет упорядоченного встраивания атомов Со в приповерхностный слой ТИ, с целью реализации квантового аномального эффекта Холла. Во второй главе представлены новые научные результаты, демонстрирующие возможность формирования на Si подложках эпитаксиальных слоев ТИ $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$ с высоким структурным совершенством, предложены методы подавления объемной проводимости ТИ. В третье главе продемонстрирована возможность создания гибридных эпитаксиальных гетероструктур ферромагнетик (ФМ) / ТИ на основе кристаллических ТИ ($\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$, Bi_2Te_3) и структурно упорядоченных слоёв ФМ металлов (Co, CoFe, CoFeB). В системе

ФМ/ТИ экспериментально продемонстрирован эффект гигантского магнитосопротивления. В четвертой главе показана возможность реализации топологических поверхностных состояний путем контролируемой модификации стехиометрии поверхности BiTeI(0001).

Другой актуальной задачей настоящей работы, лежащей уже в области диэлектрической “спинtronики”, является создание эпитаксиальных структур на основе материалов способных поддерживать спин-волновые возбуждения с низким затуханием, магнитных тунNELьных эпитаксиальных гетероструктур, демонстрирующих высокую степень спиновой инжекции, а также гетероструктур с межслоевым магнитным взаимодействием с контролируемой магнитной анизотропией. В пятой главе работы исследованы процессы формирования эпитаксиально ориентированных слоев ФМ металлов (Co, Fe, Ni, CoFeB) и магнитоупорядоченных оксидов железа (Fe_3O_4 , α - и γ - Fe_2O_3) на поверхностях (001) и (111) MgO , пригодных для создания магнитных тунNELьных переходов. Шестая глава работы посвящены исследованию структурных и магнитных свойств ферритов со структурой шпинели (NiFe_2O_4) и гранта ($\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$). Показано, что на поверхности SrTiO_3 (001) могут быть созданы эпитаксиальные магнитоупорядоченные гетероструктуры на основе отдельных пленок, а также систем материалов $\text{NiFe}_2\text{O}_4\text{-CoFe}_2\text{O}_4$ и $\text{NiFe}_2\text{O}_4\text{-CoFeB-MgO}$, демонстрирующие значения намагниченности насыщения и ширины линии ферромагнитного резонанса близкие к таковым в объёмных кристаллах. Показана возможность формирования функциональных поликристаллических слоев феррит-гранта $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ на поверхности (0001) широкозонного полупроводника GaN. В седьмой, заключительной главе работы, впервые продемонстрированы эффекты эпитаксиальной стабилизации антиферромагнитной ромбической структурной модификации в эпитаксиальных слоях MnF_2 , а также гранецентрированной кубической структуры в ФМ эпитаксиальных наночастицах Co, выращенных на поверхности буферных слоев CaF_2 на Si.

В работе использован широкий спектр как ростовых (лазерная и “обычная” молекулярно-лучевая эпитаксии), так и взаимодополняющих диагностических

методик, в том числе основанных на использовании синхротронного излучения (электронная и рентгеновская дифрактометрия, рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия, рентгеновская спектроскопия глубоких уровней и др.). Следует отметить широкий охват исследуемых объектов и значительный объем проведенной работы: развиты оригинальные подходы к решению проблемы эпитаксиального формирования и модификации поверхностных свойств новых гибридных гетероструктур для задач диэлектрической и полупроводниковой “спинtronики”, изучено влияние интерфейсных эффектов на особенности зонной структуры, магнитные и магнитотранспортные свойства новых функциональных материалов. Полученные экспериментальные результаты описаны в рамках существующих теоретических моделей. Работа в целом подтверждает высокий уровень квалификации автора в областях экспериментальной физики полупроводников и конденсированного состояния. Новизна и достоверность полученных результатов подтверждена рядом публикаций в высокорейтинговых реферируемых научных изданиях (39 шт.), в том числе входящих в первый quartile.

Представленное в автореферате лаконичное и подробное содержание материалов диссертационного исследования позволяет судить о достаточной обоснованности выдвигаемых научных положений, научной новизне и значимости достигнутых результатов. В автореферате достаточно подробно освещены актуальность и степень разработанности выбранной темы, степень достоверности и апробация результатов, а также личный вклад автора.

Ознакомление с содержанием автореферата позволило сформулировать следующее замечание:

- При обсуждении механизмов эпитаксиальной ориентации ТИ на поверхности Si и буферных слоев BaF₂/CaF₂ на кремни, для удобства читателя, стоило бы привести параметр рассогласования решёток данных соединений. Это же замечание можно отнести и к обсуждениям механизмов эпитаксиальной стабилизации других систем материалов, рассматриваемых в работе.

Представленное замечание является незначительным и не влияет на общую положительную оценку автореферата. Можно утверждать, что полученные научные результаты вносят существенный вклад в области диэлектрической и полупроводниковой спинtronики и будут востребованы при проведении дальнейших, как фундаментальных, так и прикладных исследований. Выполненная диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, а её автор, Кавеев Андрей Камильевич, заслуживает присвоения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.11 – “Физика полупроводников”.

Кандидат физ.-мат. наук,

Старший научный сотрудник

Лаб. Возобновляемых Источников Энергии

Санкт-Петербургского национального

исследовательского Академического университета им.

Ж. И. Алфёрова РАН

Федоров Владимир Викторович

Адрес: улица Хлопина, 8, к. 3, лит.А, Санкт-Петербург, 194021

Телефон: +7(911) 029-84-87

E-mail: vfedorov@fl.ioffe.ru

адрам
2023.