

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Федорова Владимира Владимировича  
**«Изучение процессов роста, структуры и магнитных свойств эпитаксиальных гетероструктур на основе фторидов ( $\text{CaF}_2$ ;  $\text{MnF}_2$ ) и металлов ( $\text{Co}$ ;  $\text{Ni}$ )»**,  
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния

Получение новых низкоразмерных материалов и структур является одной из основных задач современной науки и имеет не только фундаментальное, но и широкое прикладное значение для микроэлектроники, спинтроники, магнетоэлектроники и т.д. Важным технологическим направлением является разработка методов роста многослойных наноразмерных гетероструктур, проявляющие ферромагнитные, антиферромагнитные, магниторезистивные, магнитооптические и другие известные и новые физические свойства. В частности, гетеросистема на основе ферромагнитных нанослоев с антиферромагнитной прослойкой представляет из себя спиновый клапан. Обменное взаимодействие, отвечающее за свойства этой структуры во многом определяется величиной магнитной анизотропии ферромагнитных слоев. Многие явления, протекающие в таких наноразмерных системах, и их связь с размерами и реальной структурой объектов до конца еще не изучены. Поэтому изучение процессов роста, структуры и магнитных свойств эпитаксиальных гетероструктур делает тему диссертационной работы актуальной и своевременной

Диссертационная работа В.В. Федорова посвящена задачам, связанным с развитием технологии роста методом молекулярно-лучевой эпитаксии упорядоченных одномерных массивов наночастиц кобальта и никеля, и расположенных вдоль атомных ступеней вицинальной поверхности  $\text{CaF}_2/\text{Si}$ . Выбор подложки и буферного слоя был наиболее подходящим, как по размерам элементарной ячейки веществ, так и по возможности получения за счет самоорганизации наночастиц  $\text{Co}$  и  $\text{Ni}$  различной одноосной анизотропии слоев. В качестве антиферромагнетика и для изучения эффектов обменного взаимодействия были выращены гетероструктуры  $\text{Co}/\text{MnF}_2$  и  $\text{Ni}/\text{MnF}_2$  различной кристаллографической ориентации. Для изучения структурных свойств был использован целый арсенал современных методов: атомно-силовой микроскопии, дифракционных на основе использования электронного, рентгеновского и синхротронного излучения. Магнитные свойства систем были изучены вибрационной магнитометрией, магнитооптикой и рентгеновским магнитным циркулярным дихроизмом и резонансной рефлектометрией. Такой обширный арсенал применяемых методов позволил провести исследования, достоверность результатов которых не вызывает сомнения.

Заслуживает внимания бесспорная научная и практическая ценность основных результатов и выводов, заключающихся в следующем:

- Разработана методика получения эпитаксиальных слоев фторида марганца с контролируемым характерным масштабом рельефа поверхности (100), (110) и (111) на подложке  $\text{CaF}_2/\text{Si}$ .
- Методом Вольмера – Вебера выращены гетероструктуры ферромагнетик/антиферромагнетик с рекордными толщинами (2-15 нм) эпитаксиальных слоев металлов кобальта и никеля на поверхности слоев  $\text{MnF}_2$  с различной кристаллографической ориентацией. Впервые показана

возможность роста совершенных наночастиц кобальта на эпитаксиальных слоях  $\text{MnF}_2(100)$ .

- Показано, что одноосная анизотропия эпитаксиальных слоев  $\text{Co}$  и  $\text{Ni}$ , выращенных на  $\text{CaF}_2(110)$ , связана с анизотропией формы и ориентации отдельных частиц. Это позволяет для описания магнитных свойств системы  $\text{Co}(\text{Ni})/\text{CaF}_2$  использовать модель Стонера-Волфарта.
- Впервые обнаружены для системы  $\text{Co}(\text{Ni})/\text{MnF}_2(111)$  эффекты «близости», обусловленные обменным взаимодействием ферромагнетик /антиферромагнетик на их границе и определены критические толщины слоев для наблюдения эффекта.

В целом, диссертационная работа Владимира Викторовича Федорова, насколько позволяет судить содержание автореферата, выполнена на высоком научно-техническом уровне с применением обширного комплекса методов исследования, содержит ряд принципиально новых положений и идей, характеризуется практической значимостью и является целенаправленным и завершенным исследованием, удовлетворяющим требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ему степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 - физика конденсированного состояния.

Ведущий научный сотрудник

ФАНО ФГБУН Физико-технологического института РАН

доктор физ.-мат. наук Андрей Александрович Ломов

Ученый секретарь

ФАНО ФГБУН Физико-технологического института РАН

кандидат технических наук

В. А. Кальнов

e-mail lomov@ftian.ru

117218, г. Москва, Нахимовский проспект, 36/1, ФТИАН РАН

Тел: 8(499)129-68-10