



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ АКАДЕМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ —
НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР НАНОТЕХНОЛОГИЙ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

ул. Хлопина, 8, корп. 3, С.-Петербург, 194021

Телефон (факс): (812) 448-69-80 доб. 5740

<http://www.spbau.ru>

ОКПО 59503334, ОГРН 1027802511879

ИНН/КПП 7804161723/780401001

07 АПР 2014

№

11217 / 09 / 201

На № _____ от _____

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по высшему образованию
Академического университета,
директор Центра высшего образования

член-корр. РАН А.Е. Жуков



ОТЗЫВ

Ведущей организации на диссертацию Крупина Андрея Викторовича «ПРОЦЕССЫ РОСТА И СВОЙСТВА ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ГЕТЕРОСТРУКТУР СО СЛОЯМИ ДИФТОРИДОВ НИКЕЛЯ И КАДМИЯ», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Диссертационная работа Крупина А.В. посвящена изучению процессов роста методом молекулярно-лучевой эпитаксии наноразмерных гетероструктур на основе дифторидов никеля и кадмия, а также исследованию их свойств различными методами. На данный момент эти материалы относительно мало изучены, в связи с чем работа представляется практически значимой, в особенности, с точки зрения исследования механизмов эпитаксиального роста и кристаллической структуры новых твердотельных гетероструктур.

Актуальность темы:

Исследования процессов формирования и свойств различных гетероструктур представляют интерес в связи с возможностью получения материалов с новыми свойствами, полезными для их широкого применения в различных областях науки и техники, таких, как оптика, магнитооптика, микро-, наноэлектроника и т.д. Особый интерес представляют гетероструктуры со слоями фторидов.

Известно, что фториды металлов второй группы, в число которых входит и рассматриваемый в данной работе CdF_2 , обладают кубической гранцентрированной структурой флюорита, близкой к структуре кремния. Сходная структура и малое различие в постоянных решетки делают возможным псевдоморфный эпитаксиальный рост фторида кадмия на кремнии с высоким кристаллическим качеством. Вместе с тем, электронные свойства CdF_2 , несмотря на сходство кристаллической структуры с остальными фторидами из этой группы, сильно различаются из-за специфических особенностей кадмия. При довольно большой ширине запрещенной зоны у CdF_2 (8eV) легирование трехвалентными примесями позволяет превратить этот материал в полупроводник **n**-типа с мелкими донорами. Кроме того, зонная структура на гетерогранице $\text{CdF}_2/\text{CaF}_2$ такова, что, внедряя во фторид кальция редкоземельные примеси, при оптическом возбуждении примесных ионов можно наблюдать важные для практических применений нестационарные эффекты фотолюминесценции. Изучение процессов формирования ярко выраженного рельефа в эпитаксиальных слоях CdF_2 вследствие кинетических явлений на его поверхности позволяет вплотную приблизиться к пониманию особенностей электронных процессов, происходящих в гетероструктурах на основе CdF_2 .

Фториды группы железа, имея при нормальных условиях структурную модификацию рутила, являются антиферромагнетиками, однако NiF_2 выделяется из их ряда тем, что имеет ось антиферромагнитного упорядочения перпендикулярную направлению короткой стороны элементарной ячейки. Кроме того, магнитные моменты, находящиеся в двух подрешетках, не полностью компенсируют друг друга, а наклонены на угол около 1° относительно оси

антиферромагнитного упорядочения. Таким образом, NiF_2 представляет собой антиферромагнетик со слабым ферромагнетизмом, что является его интересной особенностью. Известно, что у NiF_2 , помимо стабильной кристаллической фазы рутила также имеется и метастабильная орторомбическая фаза типа CaCl_2 , которая наблюдалась в порошках при высоких давлениях и температурах. В этой связи представляет интерес изучение возможностей стабилизации этой фазы в гетероструктурах со слоями фторида никеля, а также связи магнитного порядка с кристаллической структурой этой метастабильной при нормальных условиях фазы.

Новизна исследований:

Методом молекулярно-лучевой эпитаксии были созданы новые гетероструктуры со слоями NiF_2 и CdF_2 . Все результаты по технологии и проведенным измерениям в данной работе были получены впервые, в частности:

1. В структурах $\text{NiF}_2/\text{CaF}_2/\text{Si}(111)$ наблюдается ярко выраженный эффект стабилизации метастабильной орторомбической фазы NiF_2 со структурой типа CaCl_2 . Были установлены эпитаксиальные соотношения между исследуемым слоем и подложкой, в том числе было показано, что ось $[100]_{\text{NiF}_2}$ параллельна нормали к поверхности слоя $\text{CaF}_2(111)$.
2. Установлено, что в отличие от системы $\text{NiF}_2/\text{CaF}_2(111)$ при росте фторида никеля на фасетированной поверхности $\text{CaF}_2(110)$ происходит формирование стабильной тетрагональной фазы. При этом минимизация полной энергии системы происходит за счет отклонения оси $[100]_{\text{NiF}_2}$ от нормали к граням $(111)_{\text{CaF}_2}$ в плоскости перпендикулярной оси гофров на угол около 1° .
3. Показано, что морфология поверхности слоев $\text{CdF}_2(111)$ обуславливается важной ролью кинетических явлений, происходящих в процессе эпитаксиального роста. Были изучены и оценены зависимости среднего размера и угла наклона тетраэдрических пирамидальных особенностей на поверхности $\text{CdF}_2(111)$ от толщины слоя и скорости роста соответственно. Экспериментально измеренная зависимость среднего латерального размера

тетраэдрических пирамидальных особенностей от толщины слоя CdF_2 находится в хорошем соответствии с ожидаемой по теории, развитой Зигертом и Плишке.

Значимость для науки и производства:

Результаты, полученные в настоящей работе, в первую очередь представляют интерес в научном плане, но также и в плане их практического применения. Научная значимость заключается в получении новых фундаментальных данных о свойствах материалов и гетероструктур, исследуемых в настоящей работе. Практическая значимость связана с возможностью применения полученных в ходе диссертационной работы данных об изучаемых процессах и материалах для разработки новых приборов микроэлектроники и спинтроники.

Замечания:

1. В работе не указано, к какому роду относится описываемый фазовый переход NiF_2 из структуры рутила в орторомбическую модификацию.
2. В работе отсутствует сравнение экспериментальных результатов по зависимости морфологии и кристаллической структуры слоев фторида никеля от угла падения молекулярного пучка с результатами подобных работ, выполненных на других системах.
3. В четвертой главе по росту NiF_2 на фасетированной поверхности CaF_2 стоило бы провести эксперимент по исследованию поведения доменов, меняя ширину гофров CaF_2 .
4. Из данных, приведенных в пятой главе в эксперименте по исследованию зависимости угла наклона тетраэдрических пирамидальных особенностей CdF_2 от скорости роста видна важная роль кинетических эффектов, представляло бы интерес получить значение высоты барьера Швёбеля, существующего при формировании поверхности $\text{CdF}_2(111)$.
5. Диссертация также содержит некоторое количество стилистических ошибок и опечаток, список которых был передан автору.

Сделанные замечания не носят принципиального характера и не влияют на значимость работы. Работа выполнена на высоком уровне с использованием новейших методов исследования.

В заключении следует отметить, что диссертационная работа Крупина А.В. является законченным исследованием, содержит новые и интересные результаты. Достоверность выводов подтверждается повторяемостью и непротиворечивостью результатов, всесторонним анализом с помощью различных методик, а также соответствием экспериментальных и теоретических оценок. Работа удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор – Крупин Андрей Викторович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Результаты диссертационной работы представлены и обсуждены на семинаре СПбАУ НОЦНТ РАН № 01/14 от 25 марта 2014г.

Зав. лаборатории физики наноструктур

СПб АУ НОЦНТ РАН

д.ф.-м.н., профессор,

Владимир Германович Дубровский

Тел.: 448-6982

e-mail: dubrovskii@spbau.ru

Секретарь семинара,

Старший научный сотрудник лаборатории нанофотоники

СПб АУ НОЦНТ РАН

к.ф.-м.н.,

Наталья Владимировна Крыжановская