

**«УТВЕРЖДАЮ»**

Проректор по научной работе и инновационно-коммуникационным технологиям, к.т.н.



С.А. Матвеев

2014г.

**ОТЗЫВ**

**ведущей организации**

***Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования***

***«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»  
им. Д.Ф.Устинова»***

на диссертационную работу Буравлева Алексея Дмитриевича  
«МОЛЕКУЛЯРНО-ПУЧКОВАЯ ЭПИТАКСИЯ И СВОЙСТВА  
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАГНИТНЫХ НАНОСТРУКТУР»,

представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по  
специальностям 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики  
и 01.04.10 – физика полупроводников.

Актуальность темы

Пристальное внимание, проявляемое в последнее время к таким наноструктурным объектам как полупроводниковые нитевидные нанокристаллы и квантовые точки, связано с их уникальными физическими свойствами, которые могут быть использованы для создания целого ряда новых приборов нано- и оптоэлектроники, а также спинтроники. Известно, что одной из основных проблем современной полупроводниковой спинтроники является поиск новых материалов обладающих свойствами ферромагнетиков и полупроводников. Использование степеней свободы связанных со спином носителей заряда может привести к кардинальному изменению существующей элементной базы современной электроники. В связи с вышесказанным тематика представленной диссертационной работы, которая

посвящена исследованию процессов синтеза и свойств полупроводниковых магнитных наноструктур, несомненно, актуальна.

### Новизна

Диссертационная работа Буравлева А.Д. была направлена на разработку технологических способов формирования нитевидных нанокристаллов на основе (Ga,Mn)As и MnP соединений, а также (In,Mn)As квантовых точек с использованием метода молекулярно-пучковой эпитаксии и детальное изучение их физических свойств.

В ходе выполнения работы было получено много новых результатов мирового уровня. Укажем лишь некоторые из них:

- впервые показано, что с помощью метода молекулярно-пучковой эпитаксии при использовании крекингового источника для получения потока димеров фосфора могут быть синтезированы Ge, Mn<sub>2</sub>P, MnP, а также гибридные MnP/InP нитевидные нанокристаллы;
- обнаружен принципиально новый метод формирования ННК, при котором источником материала для их роста служит сама подложка;
- впервые показано, что использование в качестве катализатора роста Mn позволяет синтезировать нитевидные нанокристаллы на основе разбавленных магнитных полупроводников типа (Ga,Mn)As с помощью метода молекулярно-пучковой эпитаксии при условии стабилизации по элементам металлической группы, проявляющие ферромагнитное упорядочение вплоть до 70К;
- показано, что возбуждение механических колебаний одиночных нитевидных нанокристаллов и их непосредственная регистрация с помощью растрового электронного микроскопа позволяет определить значение модуля упругости исследуемых нитевидных нанокристаллов;
- впервые предложен и реализован метод эпитаксиального выращивания магнитных квантовых точек, основанный на селективном легировании атомами Mn только их центральных частей, который позволил получить структуры с высоким кристаллическим качеством.

### Обоснованность и достоверность результатов

Использование различных экспериментальных методик, тщательный контроль условий эксперимента, цельность и последовательность всего полученного экспериментального материала и его интерпретация позволяют считать все научные положения, вынесенные на защиту, и выводы, приведенные в диссертационной работе, надежно обоснованными.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в реферируемых российских и международных журналах, неоднократно докладывались на международных и российских конференциях, а также на семинарах в различных организациях.

Научная и практическая значимость работы высока и не вызывает сомнений. Особо следует отметить то, что в ней разработаны научные основы технологии формирования нитевидных нанокристаллов на основе Ge, MnP, (Ga,Mn)As соединений и (In,Mn)As квантовых точек, которые могут быть использованы для создания принципиально новых приборов спинтроники и нано- и оптоэлектроники, а также получены новые знания о фундаментальных свойствах нового класса полупроводниковых магнитных наноструктур.

Результаты диссертации могут быть непосредственно использованы:

в спецкурсах по физике полупроводников в Санкт-Петербургском государственном университете, Московском государственном университете, Санкт-Петербургском Академическом университете – Научно-образовательном центре нанотехнологий РАН, Санкт-Петербургском государственном политехническом университете, Санкт-Петербургском государственном электротехническом университете;

при исследованиях и разработке технологических процессов, связанных с получением полупроводниковых магнитных наноструктур в Физико-Техническом Институте им. А.Ф.Иоффе РАН, Институте аналитического приборостроения РАН, Институте Физики Полупроводников СО РАН, Институте Физики Твердого Тела РАН, Институте Физики Микроструктур РАН и других организациях.

#### Замечания:

1. Во второй главе диссертации приведены данные изучения только структурных и магнитных свойств нитевидных нанокристаллов на основе германия. Результаты измерений их оптических свойств отсутствуют, несмотря на то, что они представляют большой интерес.
2. Третья глава диссертации посвящена синтезу с помощью метода молекулярно-пучковой эпитаксии (Ga,Mn)As нитевидных нанокристаллов с использованием в качестве катализатора Mn. В работе не обсуждается возможность использования других металлов в качестве катализаторов для роста таких наноструктур.
3. Из результатов, полученных в четвертой главе диссертации, следует, что методом селективного легирования могут быть получены (In,Mn)As квантовые точки. Однако в диссертации не приводятся результаты измерений их магнитных свойств.

Сделанные замечания не снижают высокой оценки диссертации А.Д. Буравлева., которая является завершенной научно-исследовательской работой, выполненной на высоком уровне, и свидетельствует о научной квалификации соискателя. Автореферат и опубликованные печатные работы достаточно полно отражают содержание диссертации. Тема диссертации и ее содержание соответствуют специальностям 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики и 01.04.10 – физика полупроводников.

По характеру и объему выполненных исследований, актуальности поставленных задач, научной новизне и практической значимости полученных результатов диссертационная работа Буравлева А.Д. «Молекулярно-пучковая эпитаксия и свойства полупроводниковых магнитных наноструктур» полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым ВАК к докторским диссертациям, а ее автор, Буравлев Алексей Дмитриевич, несомненно заслуживает присуждения искомой ученой степени доктора физико-математических наук по специальностям 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики и 01.04.10 – физика полупроводников.

Диссертация доложена и одобрена на Объединенном семинаре кафедры физики и кафедры нанoeлектроники и нанoфотоники ФГБОУ ВПО «Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф.Устинова» 20 февраля 2014 года (Протокол №1 от 20 февраля 2014 года).

Зав. кафедрой физики  
д.ф-м.н, профессор



Д.Л. Федоров

Зам. Зав. кафедрой  
нанoeлектроники и нанoфотоники  
к.ф-м.н, профессор



В.В. Лентовский

Ученый секретарь БГТУ  
к.т.н., доцент



М.Н.Охочинский

«25» февраля 2014 г.