



В специализированный совет
Д 002.034.01 при ФГБУН ИАП РАН

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет»
(ФГБОУ ВПО «СПбГПУ»)

Отзыв
официального оппонента

о диссертационной работе 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. Магнитные материалы являются важной частью повседневной жизни. Широкое их применение в системах памяти, которое начало бурно развиваться после открытия эффекта гигантского магнитосопротивления, требует создания и исследования новых эффективных материалов. Одним из существенных требований является совместимость технологии магнитных материалов с существующими технологиями полупроводниковой микроэлектроники. В связи с этим весьма перспективными материалами, сочетающими свойства ферромагнетиков и полупроводников, являются т.н. разбавленные магнитные полупроводники (РМП), формирующиеся, например, при легировании полупроводников марганцем. К сожалению, до сих пор не существует универсальной модели, описывающей магнитные свойства таких материалов, в связи с этим исследования в этом направлении представляют значительный интерес с фундаментальной точки зрения. Исследование низкоразмерных структур на основе РМП представляет особенный интерес, поскольку, как известно, в структурах с пониженной размерностью возможно наблюдение физических явлений, которые невозможны в объемных материалах. В то же время технологические процессы создания таких наноструктур, как нитевидные нанокристаллы (ННК) и квантовые точки нельзя считать разработанными в полной степени. Это в полной мере касается и технологии создания магнитных наноструктур. Именно таким исследованиям посвящена настоящая работа, в связи с этим тема диссертационной работы, несомненно, является актуальной, а сама работа представляется необходимой и своевременной.

Новизна и достоверность результатов. В работе получен ряд новых научных результатов. Укажем лишь некоторые из них, по нашему мнению наиболее важные и интересные.

Детально исследованы процессы выращивания ННК на основе соединений Ge-Mn-P. Изучены условия выращивания ННК различного химического состава, получены ННК с высокой температурой Кюри.

Значительное внимание в работе уделено синтезу и исследованию ННК на основе (GaMn)As. Подробно исследовано влияние потока мышьяка на параметры ННК,

экспериментально продемонстрировано, что с увеличением потока мышьяка зависимость длины ННК от диаметра меняется с монотонно возрастающей на монотонно убывающую. Полученные результаты хорошо описываются в рамках теоретических моделей. Проведенные исследования позволили разработать технологию выращивания (GaMn)As ННК с использованием марганца в качестве катализатора роста и определить оптимальные параметры формирования нитевидных нанокристаллов. Было продемонстрировано, что ННК на основе (GaMn)As демонстрируют значения температуры Кюри до 70 К.

Обнаружено, что при выращивании на подложке GaAs квантовых точек InAs, легирование точек магнитной примесью марганца оказывает существенное влияние на процессы формирования квантовых точек. Предложен метод селективного легирования марганцем центральной части точек, позволяющий получить структуры с высоким кристаллическим качеством.

Достоверность основных результатов работы не вызывает сомнений. Технологические результаты получены с помощью современной высокоточной и воспроизводимой методики молекулярно-пучковой эпитаксии. Исследования электрофизических свойств выращенных структур проводились с использованием надежных методик СКВИД магнитометрии, фотолуминесценции, атомно-силовой и электронной микроскопии. Наряду с феноменологическим описанием, в работе представлены микроскопические модели исследуемых эффектов. Основные выводы работы подтверждаются хорошим согласием результатов расчетов и экспериментов.

Научная и практическая значимость работы высока и несомненна. Она отражена в предыдущих разделах отзыва. Добавим, что автором была разработана оригинальная методика определения упругих параметров нитевидных нанокристаллов с помощью растрового электронного микроскопа, разработан метод нанесения электрических контактов к одиночным нитевидным нанокристаллам. Интересным и практически важным результатом является обнаруженная автором возможность выращивать MnP/InP гибридные нанокристаллы с использованием подложки InP в качестве источника индия. Некоторые явления, обнаруженные в настоящей работе, например, необычные полевые зависимости намагниченности (GaMn)As ННК, несомненно, будут стимулировать дальнейшие экспериментальные и теоретические исследования в этой области.

Замечания и вопросы.

1. В диссертации говорится, что изучение оптических свойств образцов проводилось с помощью метода горячей фотолуминесценции. Однако обычно в спектрах горячей люминесценции видны пики, близкие к энергии возбуждения и фоновые повторения, связанные с релаксацией высокоэнергичного электрона по зоне. В спектрах люминесценции, приведенных в работе, видны лишь особенности, связанные с излучательной рекомбинацией термализованных электронов. Что автор вкладывает в понятие "горячая люминесценция"?

2. При анализе спектров фотолуминесценции образца с ННК (Ga,Mn)As сдвиг линии, связанной с переходом электрона на нейтральный акцептор марганца, объясняется эффектами квантового ограничения в ННК. Проводились ли соответствующие оценки влияния размерного квантования на энергетический спектр? Дополнительный вопрос в связи с этим: проявляются ли и насколько сильно эффекты размерного квантования в исследованных ННК?

3. Автором была разработана технология работы с одиночными ННК. Насколько эта технология является уникальной? Может ли она быть использована для исследования других ННК?

Указанные замечания не являются принципиальными и не влияют на общую высокую оценку работы.

Оценивая диссертацию в целом, следует отметить высокий научно-методический уровень выполнения работы, большой объем проведенных исследований, новизну полученных результатов. Работа является цельным и законченным исследованием. Необходимо отметить сочетание технологических исследований с экспериментальными исследованиями параметров структур и расчетами характеристик наблюдаемых явлений. Несомненно, эта работа открывает новые перспективы создания и исследования полупроводниковых магнитных наноструктур. Совокупность опубликованных работ автора представляет собой крупное достижение в области технологии и физики полупроводниковых наноструктур, имеющее большое научное и прикладное значение.

Автореферат и опубликованные статьи правильно и достаточно полно отражают содержание диссертации.

Таким образом, диссертация Буравлева Алексея Дмитриевича полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальностям 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики и 01.04.10 - физика полупроводников, а он сам, несомненно, заслуживает присуждения искомой научной степени.

Заведующий кафедрой физики полупроводников
и нанoeлектроники, доктор физ.-мат. наук, профессор

04.04.2014



Подпись Д.А. Буравлева
работавшего в
ФГБОУ ВПО «СПбПУ»
Специалист по кадровым



Д.А. Фирсов

Заведующего
кафедрой
И.А. Горюхиной

04 АПР 2014