

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Мухина Ивана Сергеевича «КОМБИНИРОВАННЫЕ МЕТОДЫ СОЗДАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ НАНОСТРУКТУР ДЛЯ НАНОФОТОНИКИ И НАНОМЕХАНИКИ» представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики».

Диссертация Мухина Ивана Сергеевича посвящена одному из актуальных и динамично развивающихся направлений современной физики конденсированного состояния и нанотехнологий - разработке методов создания и исследования низкоразмерных структур для нанофотоники, наноэлектроники и наномеханики, и фотовольтаики на основе объединения методов современных нанотехнологий, включая технологии сфокусированных электронных, ионных и лазерных пучков, электронную и ионную литографию, зондовую микроскопию и силовую литографию, наноманипулирование, осаждение материала под действием сфокусированных пучков, осаждение и травление тонких слоев металлов и диэлектриков, а также молекулярно-пучковую эпитаксию и исследование атомных процессов на поверхности твердого тела.

В последнее время это направление привлекает все возрастающий интерес исследователей с фундаментальной и практической точек зрения в связи с яркими научными результатами и возможными технологическими применениями в микроэлектронике и нанотехнологии.

В представленной работе проведены детальные исследования в области разработки методов создания и исследования низкоразмерных структур для нанофотоники, наноэлектроники и наномеханики. В работе также изучены возможности управления морфологией и структурой нанообъектов на поверхности. Принимая во внимание тот факт, что современные технологии базируются, как правило, на планарных технологиях в наномасштабе, понимание процессов протекающих на поверхности очень важно, а поэтому актуальность темы диссертации не вызывает сомнений.

Одно из главных достоинств проведенных в диссертации исследований и заключается в использовании комплексного подхода в разработке методик создания и исследования структур нанофотоники, наноэлектроники, наномеханики, микрофлюидики и фотовольтаики на основе методов физики поверхности и современных нанотехнологий. Следует также отметить, что исследования были выполнены в контролируемых условиях

сверхвысокого вакуума, что придает особую ценность полученным экспериментальным результатам.

Комплексные исследования, проведенные автором диссертации с применением современных экспериментальных и расчетных методов, позволили получить целый ряд важных и интересных результатов, среди которых можно особо отметить следующие:

1. Развита методика контролируемого прецизионного манипулирования одиночными микро- и наноструктурами с помощью твердотельного острия с точностью позиционирования порядка 50 нм, что позволяет создавать наноструктуры для широкого класса задач.

2. Создана методика подвешивания над поверхностью подложки листов двумерных Ван-дер-Ваальсовых материалов, зажатых между металлическими контактами. В подвешенных листах графена экспериментально получена рекордная подвижность носителей заряда $2 \cdot 10^6$ см²/В·с.

3. Разработана методика создания металлических и диэлектрических наноструктур для элементов нанопотоники на оптически прозрачных непроводящих подложках с помощью электронной литографии.

4. Разработана методика, на основе объединения методов сфокусированных электронных и ионных пучков, позволяющая проводить модификацию резонаторов микродисковых лазеров на основе массивов полупроводниковых квантовых точек для управления модовым составом и направленностью лазерного излучения.

5. Разработана методика создания одиночных металл-углеродных нановискеров и 2D, 3D наноструктур под действием сфокусированного электронного пучка и апробированы СЗМ зонды на основе метал-углеродных наноструктур, обладающие улучшенными характеристиками по сравнению с Si зондами.

6. Разработаны методы формирования микрофлюидных чипов, обеспечивающих захват и селекцию по размерам одиночных объектов.

7. Создана новая методика синтеза массивов GaN нитевидных нанокристаллов и нанотрубок на поверхности Si подложек с применением молекулярно-пучковой эпитаксии и реализована методика формирования солнечных элементов на основе нитевидных нанокристаллов GaN на Si подложках.

В качестве замечаний по автореферату можно указать:

- В главе 4 представлены результаты по формированию отдельных вискеро- и многомерных наноструктур на их основе. Однако не приведено никаких данных об их кристаллической структуре.

- На рис.2 представлены изображения нанодисков кремний-золото. Из фотографий следует, что после лазерной модификации период наноструктуры изменился, что, по-видимому, связано с неправильным указанием масштаба.

- На стр.24, помимо стилистических замечаний при описании колебаний вискера, возникает неясность в объяснении влияния адсорбции на изменение АЧХ, в частности добротности. На наш взгляд, стоило бы проиллюстрировать более детально модельные расчеты в сравнении с экспериментальными данными.

Сделанные замечания, однако, не влияют на высокую оценку диссертации.

Рассматривая автореферат и диссертацию в целом, можно сказать, что они представляют собой самостоятельное и завершённое исследование, выполненное с применением современных экспериментальных и расчетных методов. Высказанные замечания не затрагивают каким-либо серьёзным образом ни одно из защищаемых положений. Достоверность и обоснованность результатов диссертационной работы не вызывает сомнений и подтверждается использованием комплекса современных экспериментальных методов, согласием результатов анализа образцов независимыми методами исследования, воспроизводимостью полученных экспериментальных данных, а также сопоставлением некоторых данных с результатами работ других авторов, выполненных для подобных систем и публикациями автора в таких журналах как Nano Letters, Nanoscale, Applied Physics Letters и Physics-Uspekhi.

Результаты диссертации представляют несомненный интерес для многих специалистов, работающих в этой области.

Оценивая диссертацию Мухина Ивана Сергеевича, следует признать, что она удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики. Диссертация и автореферат Мухина Ивана Сергеевича «КОМБИНИРОВАННЫЕ МЕТОДЫ СОЗДАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ НАНОСТРУКТУР ДЛЯ НАНОФОТОНИКИ И НАНОМЕХАНИКИ» удовлетворяют всем требованиям, предъявляемым ВАК к докторским диссертациям, Положению о присуждении ученых степеней от 24 сентября 2013 года №842, а также паспорту специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики по пункту 1, а ее автор, **Мухин Иван Сергеевич**, безусловно, заслуживает присвоения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности по специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики.

Отзыв составлен доктором физико-математических наук, ведущим научным сотрудником Андреем Михайловичем Ионовым и кандидатом физико-математических наук, старшим научным сотрудником Сергеем Ивановичем Божко.



/А.М.Ионов/



/С.И.Божко/

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт физики твердого тела Российской академии наук (ИФТТ РАН), 142432,
МО, г. Черноголовка, ул. Академика Осипьяна, д. 2,
e-mail: adm@issp.ac.ru телефон: 8 (496) 522-81-60

Подписи А.М. Ионова и С.И. Божко заверяю,

Ученый секретарь ИФТТ РАН

В.Н.С., к.ф.-м.н.



Терещенко А.Н.