

Отзыв

на автореферат диссертации Мухина Ивана Сергеевича на тему «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

Развитие различных видов нанотехнологических процессов вносит заметный вклад в совершенствование и повышение эксплуатационных характеристик материалов и изделий самого разнообразного функционального назначения. Одними из наиболее востребованных областей применения современных прецизионных методов создания и исследования нанотразмерных объектов являются такие, как элементы в изделиях альтернативной энергетики, микро и наносистемная техника, относящиеся к нанофотонике, наноэлектронике, фотовольтаике, наномеханике и др. Указанные продукты представляют собой достаточно сложные по составу и структуре наноконструкции, что требует при их изготовлении и идентификации использования различных синтетических приемов в сочетании с современными физическими или иными способами оценки и контроля их свойств. При этом правильный выбор программы формирования материалов и изделий особенно важен на стадии отработки и оптимизации состава, строения и структуры целевых продуктов.

С учетом изложенного, а также на основании сформулированных в автореферате цели работы, основных решаемых задач, не вызывает сомнений актуальность выполненных в рамках диссертации исследований и полученных результатов.

Диссертационная работа по своему содержанию и структуре включает два самостоятельных, но, безусловно, взаимосвязанных, раздела, суть которых заключается в получении пленочных и иных наноструктур, во-первых, для наноэлектроники, нанофотоники и смежных областей, а во-вторых, применительно к наномеханике и нанофлюидике. В работе для решения поставленных задач использованы такие физические приемы формирования нанобъектов, как сфокусированные пучки электронов, ионов и лазера, молекулярно-лучевая (пучковая) эпитаксия, сканирующая зондовая микроскопия в сочетании с современными способами переноса изображения (электронная и ионная литография), травление поверхности. Фактически, в зависимости от целевого назначения конечного продукта, в работе предлагается соответствующая программа реализации синтеза, включающая указанные методы и (или) их сочетания, последовательность выполнения операций при заданных режимах.

К основным научным результатам, полученным соискателем при выполнении исследований, следует отнести следующие:

- предложены и экспериментально обоснованы подходы к созданию различных видов наноструктур (пленки, вискеры, в том числе, массивы на их основе, нанотрубки и др.);

- одним из наиболее интересных и важных результатов является методика переноса отдельных микро- и наночастиц на поверхности подложки с помощью зонда манипулятора в присутствии сфокусированного пучка электронов в камере сканирующего электронного микроскопа (см. рис. 3 в автореферате);

- оригинальным представляется решение задачи создания подвешенного листа графена, находящегося между двумя металлическими контактами;

- формирование наноструктур в каналах микрофлюидных чипов, позволяющих селективно захватывать биообъекты в широком диапазоне размеров;

- формирование под действием сфокусированного пучка электронов сложных углеродных наноструктур в виде «щеток» (или «вилки», как указано в автореферате), формирование которых коррелирует с предложенной математической моделью процесса.

Следует отметить, что изложенное характеризует лишь основные научно значимые результаты из огромного массива полученных в работе данных.

Таким образом, безусловно, диссертационная работа содержит целый ряд новых научно значимых результатов.

Отмечая практическую ценность проведенных исследований и полученных автором экспериментальных данных, следует также оценить ее положительно. Соискателем представлены реальные объекты, созданные с применением сочетаний различных приемов синтеза, разработанных при выполнении диссертационных исследований. К таким продуктам можно отнести обладающий высокой подвижностью заряда лист графена, зафиксированный между металлическими электродами; элементы солнечных батарей на основе нитевидных нанокристаллов нитрида галлия как одиночных, так и в виде массива; прототипы зондов для СЗМ; наноструктуры, регулирующие характеристики каналов микрофлюидных чипов, и др.

Учитывая быстрое развитие не только фундаментальных, но и прикладных разработок в выбранных автором направлениях исследований, можно полагать, что уже в ближайшее время некоторые из полученных в работе результатов будут востребованы в реальных научно-технических и промышленных секторах экономики.

По содержанию автореферата и представленным в нем результатам имеется несколько вопросов и пожеланий.

1. В работе использованы для решения поставленных задач, действительно, современные, в основном, физические методы формирования наноструктур. В то же время хорошо известно, что при реализации нанотехнологических процессов широкое применение находят различные варианты химических подходов. К сожалению, автор, судя по содержанию автореферата, практически, не рассматривает достаточно широкий спектр различных химических нанотехнологий: золь-гель процессы, химическое осаждение из газовой фазы, метод молекулярного наслаивания (в зарубежных публикациях имеет название Atomic Layer Deposition – ALD) и близкий к нему по сути комбинаторный синтез твердофазных полипептидов по Меррифильду, технология пленок Ленгмюра-Блоджетт, темплатный синтез. Указанные методы имеют ряд преимуществ перед рассматриваемыми в диссертации приемами как с точки зрения простоты аппаратного оформления и «мягких» технологических режимов (низкие температуры, проточная система при атмосферном давлении или небольшом вакууме), так и по качеству получаемых нанопокрывтий (конформность, адгезия и др.). Также при рассмотрении методов прецизионного травления целесообразно было оценить такое активно развивающееся в последние 10-15 лет направление, как атомно-слоевое травление (Atomic Layer Etching – ALE).

2. Современные объекты нанофотоники, наноэлектроники, фотовольтаики, микро- и наносистемной техники представляют собой сложные как по составу, так и по структуре композиции. Получать такие материалы или изделия с использованием какого-то одного приема синтеза невозможно. Часто требуется сочетание технологий синтеза, переноса изображения, травления. Классическим примером может служить современная планарная технология интегральных схем. И в этом плане важным представляется научно обоснованный подбор и последовательность применения в технологическом цикле требуемых приемов, оптимизация режимов процессов на разных стадиях. И автор успешно решает поставленные задачи, применяя указанные подходы, т.е., фактически, предлагая программу создания целевого продукта, которая может быть использована в дальнейшем на практике как основа для разработки маршрутной карты для создания материалов или изделий (см., например, текст к рисункам 1, 2, 4, 11, 13 и др. в автореферате). Поэтому, как представляется, при употреблении термина «комбинированный метод» (см., например, положения, выносимые на защиту – п.п. 1, 2, 4, 5, некоторые разделы заключения) необходимо не просто перечислять состав входящих в

него процессов, а значительное внимание уделять научному обоснованию их необходимости и выявляемые при этом элементы новизны.

3. Есть некоторые не очень удачные словосочетания. Например, на стр. 4 автореферата автор пишет «Среди основных технологий можно выделить коллоидную химию...». Более правильно сказать о технологиях, в основе которых заложены коллоидно-химические подходы.

4. Можно было существенно сократить по объему обоснование актуальности работы (стр. 2 – 6 автореферата) за счет удаления из текста подробного изложения достаточно хорошо известных вопросов.

Высказанные пожелания не снижают положительного мнения о работе в целом, а ответы на часть из них, по-видимому, отражены в тексте диссертационной работы. Автором выполнен значительный объем экспериментальных исследований, результаты которых представляют как научный, так и практический интерес.

На основании изложенного, считаю, что диссертационная работа соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор Мухин Иван Сергеевич достоин присуждения ученой степени доктора физико - математических наук по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики.

Доктор химических наук,
профессор, заведующий кафедрой
химической нанотехнологии и
материалов электронной техники
Санкт-Петербургского государственного
технологического института
(технического университета)

А.А. Малигин
18.06.2019 А.А. Малигин

Адрес: 190013, Санкт-Петербург,
Московский проспект, дом 26, СПбГТИ(ТУ);
адрес электронной почты: malygin@lti-gti.ru
телефон/факс: 8 (812) 4949239

За *Малигин* *Васильева Л.К.*
Печатать *Малигин* *Васильева*
Алексеев
Начальник п/о

