

ОТЗЫВ

ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Комиссаренко Филиппа Эдуардовича «Манипулирование нанообъектами и модификация материалов с помощью сфокусированного электронного пучка для создания функциональных наноструктур» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики».

Актуальность темы

Представленная диссертационная работа посвящена одному из самых актуальных направлений в современных нанотехнологиях: созданию и исследованию функциональных наноразмерных структур для применения в приборах и устройствах нового поколения. Традиционные методы создания нанообъектов: фотолитография, электронно-лучевая литография, ионная фрезеровка и др., имеют ряд ограничений для этих целей, например, ввиду необходимости использования резистивных материалов, химической стадий травления, нанесения металлов, которые негативно влияют на качество и химическую чистоту создаваемых наноструктур. В этом смысле, например, актуальной представляется решаемая в диссертации задача является разработка метода прямого формирования наноструктур на поверхности диэлектрических материалов без применения электронных резистов и жидкостной химии.

Диссертация ориентирована на рассмотрение различных подходов к манипулированию наночастицами. Одним из основных методов, разработанных и запатентованных авторами, является перемещение диэлектрических частиц на незаземленном острие наноманипулятора при облучении пучком электронов. В работе рассматриваются теоретические аспекты захвата и отпускания частиц на поверхность подложки с точки зрения действующих на частицу внешних сил, таких как: диэлектрофоретическая сила, силы Ван-дер-Ваальса, силы тяжести, трения. На основе математического моделирования делаются выводы о преобладании, и необходимости учета той или иной силы для успешного переноса частиц в необходимую точку поверхности.

Научная новизна диссертационной работы связана, прежде всего с построением физической модели процесса манипулирования одиночными нанообъектами, созданием с помощью разработанного метода функциональных наноструктур, представляющих собой наноразмерные оптические антенны, а также способа создания специализированных нанозондов с одиночными нанообъектами на острие для исследования биообъектов

методом сканирующей зондовой микроскопии. Отдельного внимания заслуживает экспериментально продемонстрированная методика создания под действием сфокусированного электронного пучка наноструктур на поверхности стекол. Автор предложил механизм формирования таких структур, а сам подход, ввиду своей простоты, является перспективным для создания устройств нанофотоники.

Достоверность основных положений и результатов диссертации не вызывает сомнений и подтверждается корректностью постановки задач для компьютерного моделирования, согласием полученных результатов с базовыми положениями и теоретически обоснованными закономерностями электродинамики, а также с результатами экспериментальных исследований, в том числе, проведенных другими научными коллективами.

Практическая ценность работы заключается в подробном описании методических подходов, условий их применения, материалов и параметров нанообъектов, которые можно с пониманием реализовывать везде, где имеется аналогичное оборудование. Внедрение предложенных в диссертации подходов может значительно сократить затраты на создание новых широкого круга приборов фотоники.

Общая характеристика работы

Представленная диссертация объемом 156 страниц состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы из 159 наименований. Текст диссертации богато иллюстрирован: содержит 93 рисунка и 2 таблицы.

Чтение обзора литературы, представленного на более чем 50 страницах, вызывает особое положительное впечатление. Автор подробно рассматривает исчерпывающий список подходов и методов к манипулированию нанообъектами, а также к их созданию с использованием пучков электронов.

Анализ литературных данных позволил логично сформулировать цель работы и определить последовательность решения основных задач.

Вторая глава посвящена созданию физической модели, описывающей процесс манипулирования одиночными нанообъектами, представлению метода прецизионного манипулирования одиночными нанообъектами, а также исследованию механизмов формирования наноструктур на поверхности диэлектрических материалов под действием сфокусированного электронного пучка.

В третьей главе представлены конкретные примеры использования разработанных методов для создания функциональных наноструктур, для задач нанофотоники, наномеханики, зондовой микроскопии и материаловедения.

В заключении приведены основные результаты и выводы работы:

1. Предложена модель, описывающая процесс манипулирования одиночными нанообъектами с помощью металлической иглы, экспонируемой сфокусированным электронным пучком, учитывающая зарядку иглы первичным пучком, её разрядку за счет вторичных и автоэмиссионных 20 электронов и силы, удерживающие нанообъект на подложке. С помощью численного моделирования произведен расчет диэлектрофоретической силы, действующей на объект манипулирования со стороны заряженного электронным пучком острия.
2. Предложен и реализован метод манипулирования одиночными наночастицами с помощью сфокусированного электронного пучка. Показана возможность применения метода для перемещения частиц, состоящих из различных материалов, имеющих различные формы и размеры с одной подложки на другую в заданное место.
3. С помощью метода манипулирования одиночными наночастицами под действием электронного пучка созданы различные функциональные наноструктуры, в том числе наноантенны, наносборки, специализированные СЗМ-зонды.
4. Предложены и реализованы методы создания металлических наноструктур на поверхности ионно-обменного и натрий-силикатного стекла.
5. Предложены и реализованы методы создания диэлектрических наноструктур на поверхности кварцевого стекла и на поверхности оксидной пленки кремния.

В целом диссертационная работа оформлена аккуратно, грамотно, хорошо структурирована. Каждая глава изложена связно и логично. Можно сказать, что Диссертация носит преимущественно методический, хорошо проработанный характер.

Однако, несмотря на общее положительное впечатление от анализа диссертационной работы, необходимо сделать ряд существенных на мой взгляд замечаний:

1. На стр. 92 снизу автор упоминает о возможном образовании ионов алюминия в приповерхностной области стекла при облучении образца пучком электронов, при этом условий реализации такого процесса не изучаются совсем. Заявление выглядит голословным.
2. Не очевиден механизм формирования наноструктур на поверхности стекол в результате облучения электронным пучком и последующего травления металлической пленки. По идее, при таком механизме, на поверхности стекла вряд ли что-то может оставаться, иначе следовало бы предположить, что при облучении электронами происходит какая-то модификация самой пленки алюминия на интерфейсе со стеклом. Например, это может быть обогащение ионами серебра или Na? Что кажется сомнительным. Прошу подробнее разъяснить механизм формирования наночастиц после смывания в жидком травителе.

3. Не аккуратным выглядит заявление автора об «островковой, гранулированной» структуре пленки золота. По мнению автора, такая структура пленки может приводить к большему значению удельного сопротивления пленки золота, чем у «макросizeрного золота». Хочется все же указать, что островковый и гранулированный характер пленки являются принципиально различными по своим физическим свойствам, а в случае толщины золота 50 нм говорить об островковой структуре не приходится. В этом случае хочется попросить автора сначала представить электронно-микроскопическое изображение, демонстрирующее ту или иную морфологию пленки.

4. Замечание, вытекающее из предыдущего. Основываясь на выводе о высоком сопротивлении, автор приводит изображение № 2.29, на котором схематично изображает возможность зарядки (!) слоя золота пучком электронов. Всегда считалось, что золото — один из лучших проводников и оно используется для снятия заряда с диэлектриков в СЭМ. Исходя из зарядки золота, автор предлагает механизм формирования наноструктур. Прошу разъяснить каким образом пленка золота, используемая обычно для снятия заряда с диэлектриков в СЭМ, в данных экспериментах не приводит к снятию заряда.

На основании этих замечаний хочется сделать вывод, что, используя недостаточно обоснованную модель зарядки стекол, покрытых проводящими металлическими покрытиями, автор предложил весьма противоречивую модель формирования наноструктур на поверхности металлических пленок, а также на интерфейсе металл-диэлектрик.

В качестве альтернативного механизма, который позволил бы объяснить наблюдаемые эффекты, могу предложить формирование на поверхности металла тонкой углеродной пленки в результате так называемой контаминации. Даже в безмаслянных системах откачки микроскопов вакуум в камере имеет конкретные значения, а кроме того, возможны эффекты переосаждения углеродных компонентов с поверхности облучаемых образцов, особенно при высоких плотностях тока. В этом случае адсорбированные атомы будут играть роль маски при травлении, а также выглядеть как выросшие наноструктуры золота на поверхности.

В целом, отмеченные недостатки носят частный или рекомендательный характер, не затрагивают существа выносимых на защиту положений и не могут изменить общей высокой оценки работы.

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой на основе выполненных автором исследований решена актуальная задача, имеющая большое практическое значение, а именно, на основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований предложена модель, описывающая

процесс манипулирования одиночными нанообъектами широкой природы и различных размеров с помощью металлической иглы, экспонируемой сфокусированным электронным пучком с учетом зарядки иглы, а также предложен и реализован метод манипулирования одиночными наночастицами с помощью сфокусированного электронного пучка.

Диссертация полностью отвечает всем требованиям ВАК РФ, изложенным в п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней РФ, а её автор, Комиссаренко Филипп Эдуардович, несомненно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики».

Официальный оппонент

кандидат физико-математических наук,

старший научный сотрудник

ФТИ им. А.Ф. Иоффе



А.В. Нащекин

Подпись официального оппонента Нащекина Алексея Викторовича заверяю:

Начальник ОК ФТИ им. А.Ф. Иоффе



И.Н. Киселева