

ОТЗЫВ

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

Актуальность темы диссертации определяется широким использованием разнообразных наноразмерных элементов во многих областях науки и техники, что требует поиска и разработки новых методов и методик, позволяющих решать задачи по созданию наноструктур, которые невозможно решить широко используемыми в настоящее время способами, такими как фото- и электронно-лучевая литография, ионное травление, эпитаксия наногетероструктур с пониженной размерностью и т.п. В настоящее время существует лишь небольшое количество методов, позволяющих манипулировать одиночными нанообъектами и переносить их с подложки на подложку, которые, однако, не позволяют решить весь круг имеющихся задач. Поэтому разработка новых способов формирования наномасштабных структур, включая развитие новых методов манипулирования одиночными нанообъектами является актуальной научной задачей, решение которой необходимо для развития современных технологий.

Диссертация Комиссаренко Ф.Э. «Манипулирование нанообъектами и модификация материалов с помощью сфокусированного электронного пучка для создания функциональных наноструктур» посвящена созданию и развитию двух новых методов создания наноразмерных структур. Первый метод заключается в перемещении нанообъектов в пространстве под действием сфокусированного электронного пучка и металлической иглы микроманипулятора, в то время как второй метод связан с облучением поверхности различных диэлектрических материалов сфокусированным электронным пучком.

Диссертация изложена на 156 страницах, содержит 159 ссылки на оригинальную литературу, начиная с давних классических работ вплоть до последних лет. Она состоит из введения, заключения и 3 глав, из которых первая посвящена анализу современного состояния области исследований, а в двух остальных излагаются оригинальные результаты, полученные автором.

К наиболее существенным и **новым, впервые полученным автором**, результатам работы следует, на наш взгляд, отнести:

- предложенную физическую модель, описывающую процессы зарядки и автоэлектронной эмиссии металлической иглы, а также процессы поляризации наночастиц под действием сфокусированного электронного пучка, которая позволила оценить силы, действующие на наночастицы, находящиеся на поверхности проводящей подложки при экспонировании электронами в присутствии незаземленной металлической иглы.
- Предложенный оригинальный метод неразрушающего прецизионного манипулирования одиночными микро- и нанообъектами, использующий сфокусированный электронный пучок.
- Демонстрацию возможностей разработанных методов по созданию функциональных микро- и наноструктур для фотоники, нанoeлектроники и нанодиагностики путем микроманипулирования нанообъектами с использованием сфокусированного электронного пучка.
- Демонстрацию возможности создания металлических и диэлектрических микро- и наноструктур на поверхности различных стекол методом литографии электронным пучком без использования резистов.

Достоверность полученных автором результатов и выводов подтверждается их воспроизводимостью на широком наборе нанообъектов, демонстрацией функциональной работоспособности различных наноустройств, созданных с помощью разработанных методов, что отражено в научных публикациях в рецензируемых изданиях, индексируемых в базах ВАК, Web of Science, Scopus. Также достоверность результатов обеспечивается сочетанием использования современного экспериментального оборудования и программных пакетов численного моделирования.

Практическая значимость полученных результатов определяется тем, что разработанные в ходе работы методы создания наноструктур уже нашли конкретные применения при создании нескольких видов наноустройств, что отражено, в частности, в полученных автором двух патентах на изобретения. Указанные методы могут быть рекомендованы для применения при создании различных устройств, основанных на использовании наноразмерных элементов.

По диссертации имеются следующие замечания:

1. Во второй главе диссертации предложена физическая модель, описывающая процессы зарядки и автоэлектронной эмиссии металлической иглы под действием электронного пучка, и представлены результаты проведенного численного расчета. Однако, экспериментальной проверки указанных результатов проведено не было,

несмотря на простоту ее осуществления путем непосредственного измерения тока остря.

2. В третьей главе была продемонстрирована возможность создания наночастиц, интерпретируемых как состоящих из серебра, на поверхности стекла под действием сфокусированного электронного пучка. Однако прямых данных об их химическом составе предоставлено не было.
3. В той же главе были получены интересные результаты об изменении скорости травления стекла и диоксида кремния на кремнии в результате воздействия электронного облучения. При этом для указанных двух типов объектов практически одинакового состава были получены противоположные результаты – замедление травления для массивного стекла и его ускорения для тонкого слоя диоксида, что объясняется в работе различием в характере разрушения химических связей в этих материалах вследствие различия в строении их молекулярных сеток. Вместе с тем, автором не обсуждалась возможность объяснения этого различия, учитывающая процессы эмиссии вторичных электронов на интерфейсе диоксид кремния/кремний. Этим можно было объяснить отсутствие эффекта ускорения в этой структуре при больших ускоряющих напряжениях.
4. В работе не проверялось и не обсуждалось возможное влияние нарастания углеродных загрязнений под действием электронного пучка, которые, как известно, неизбежны при вакуумных условиях в обычных СЭМ. Между тем с этим явлением могут быть связаны кольцеобразные выступы по краям облученных областей, наблюдаемые после травления стекла и диоксида кремния.

Сделанные замечания не затрагивают основные положения и выводы диссертации. Разработанные в ней экспериментальные методы применимы к широкому кругу нанообъектов и открывают перспективу их дальнейшего развития и использования их в приложениях. Важным достоинством предложенных методов является возможность непосредственного наблюдения за процессом манипуляции нанообъектами, что выгодно их отличает от ранее применяемых.

Автореферат диссертации правильно и достаточно полно отражает ее содержание, которое в полной мере отражено в публикациях журналов из списка ВАК и докладывались на многочисленных научных конференциях и семинарах.

На основании знакомства с диссертацией и опубликованными работами считаю, что по научно-практическому значению, достоверности и новизне диссертация Комиссаренко Филиппа Эдуардовича «Манипулирование нанообъектами и модификация

материалов с помощью сфокусированного электронного пучка для создания функциональных наноструктур», полностью отвечает требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор, несомненно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – «Приборы и методы экспериментальной физики».



Вывенко Олег Федорович

профессор кафедры электроники твердого тела Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», доктор физико-математических наук по специальности 01.04.10 – физика полупроводников, профессор по специальности 01.04.07 – физика твердого тела.

Контактная информация:

Почтовый адрес: Старый Петергоф, ул. Ульяновская д. 1, Санкт-Петербург, 198504

Тел. (+7) 812-428-43-96

e-mail: vyvenko@nano.spbu.ru

