

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по научной работе  
Университета ИТМО  
д.т.н., профессор

  
« 3 » сент 2018 г.  
В. Г. Гусев



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики (Университет ИТМО)  
Министерства образования и науки Российской Федерации

Диссертация «Манипулирование нанообъектами и модификация материалов с помощью сфокусированного электронного пучка для создания функциональных наноструктур» выполнена на кафедре Нанопотоники и Метаматериалов.

В период подготовки диссертации соискатель Комиссаренко Филипп Эдуардович работал в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики» Министерства образования и науки Российской Федерации, кафедра НиМ, на должности инженера.

В 2014 г. окончил федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики» Министерства образования и науки Российской Федерации по специальности/направлению 200100 «Приборостроение».

В 2018 г. окончил очную аспирантуру федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики» Министерства образования и науки Российской Федерации, кафедра НиМ, по специальности 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики».

Диплом об окончании аспирантуры № 107824 4188289,  
выдан в 2018 г. федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики» Министерства образования и науки Российской Федерации.

Научный руководитель – Голубок Александр Олегович, доктор физико-математических наук, основное место работы: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики» Министерства образования и науки Российской Федерации, кафедра НиМ, профессор кафедры НиМ.

По итогам рассмотрения принято следующее заключение:

1. Личный вклад соискателя заключается в ключевой роли при получении всех представленных в диссертации результатов. Все эксперименты проводились лично соискателем, либо при его непосредственном участии. Моделирование и расчеты также проводились лично соискателем. Соискатель принимал участие в выдвижении гипотез, постановке задач, предлагал пути их достижения, активно обсуждал полученные результаты, интерпретировал и обрабатывал данные.

2. Достоверность научных достижений соискателя обеспечивается корректной постановкой задач, многократным проведением экспериментов с воспроизводимыми результатами, применением современных средств и методов диагностики наноструктур, а также хорошим соответствием результатов численного моделирования и экспериментальных данных. Результаты работы были представлены на 13 конференциях, в том числе и международных.

3. Новизна и практическая значимость результатов исследования заключается в том, что:

- Впервые экспериментально показана возможность подхватывать на острие микроманипулятора, переносить и контролируемо сбрасывать одиночные наноразмерные объекты под действием сфокусированного электронного пучка.
- Построена физическая модель процесса манипулирования одиночными нанообъектами под действием электронного пучка.
- Впервые с помощью метода прецизионного манипулирования под действием сфокусированного электронного пучка созданы функциональные наноструктуры, представляющие собой наноразмерные антенны. Представленный соискателем в работе метод манипулирования одиночными нанообъектами может найти практическое применение при исследовании свойств одиночных наноразмерных объектов, а так же при создании функциональных наноструктур и устройств, основанных на одиночных нанообъектах и сборках из них.
- Предложен новый способ создания специализированных зондов для сканирующей зондовой микроскопии с одиночными нанообъектами на острие.
- Предложены механизмы формирования наноструктур на поверхности ионно-обменного стекла, натрий-силикатного стекла, кварцевого стекла и оксидной пленки кремния под действием сфокусированного электронного пучка
- Впервые экспериментально показана возможность создания наноструктур на поверхности ионно-обменного стекла, натрий-силикатного стекла, кварцевого стекла и оксидной пленки кремния под действием сфокусированного электронного пучка. Предложенный метод формирования наноструктур на поверхности диэлектрических материалов может найти применение при создании различных устройств на их основе.

4. Ценность научных работ соискателя заключается прежде всего в том, что представленные методы манипулирования нанообъектами и модификации диэлектрических материалов обладают широкими возможностями в области решения задач по созданию функциональных наноструктур. Публикации соискателя демонстрируют высокую востребованность данных методов при проведении различных исследований в областях нанофотоники, зондовой микроскопии, наномеханики, материаловедения. Представленные соискателем методы открывают новые возможности для создания приборов, основанных на наноразмерных структурах, в то время как изучение процессов, лежащих в основе данных методов позволяет их развивать и совершенствовать.

Диссертация соответствует научной специальности: 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики», а также требованиям, установленным п. 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. (ред. от 28.08.2017).

5. Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем.

Основное содержание диссертации опубликовано в 27 печатных трудах, из них 14 публикаций в изданиях, рецензируемых Web of Science или Scopus, 3 статьи в журналах, входящих в перечень российских рецензируемых журналов ВАК, 1 патент на изобретение, 9 публикаций в иных изданиях. Материалы диссертации изложены в работах соискателя [1-18]. В работах [1,16,17] диссертантом представлен и описан метод манипулирования одиночными нанообъектами под действием сфокусированного электронного пучка. В данных работах также рассматривается модель процесса перемещения наночастицы под действием сил и зарядов, возникающих под действием электронного пучка. В работе [2] представлен обзор существующих методов манипулирования отдельными нанообъектами, реализуемых в электронных микроскопах. Также рассматриваются силы, влияющие на процесс манипулирования. В работах [3-8, 12-14] представлены примеры применения метода прецизионного манипулирования одиночными наночастицами для создания функциональных наноструктур. В работах [3,4,6,12,13] с помощью разработанного метода манипулирования были созданы структуры для проведения исследований в области нанофотоники, в работах [5,7] с помощью метода манипулирования были созданы специализированные функциональные зонды для сканирующей зондовой микроскопии, а в работах [8,14] с использованием метода манипулирования осуществлялась калибровка наномеханического сенсора массы. Работы [9-11,15] посвящены созданию наноструктур на поверхности диэлектрических материалов. В работах [9,11,15] рассматривается метод создания металлических наноструктур на поверхности натрий-силикатного стекла, в работе [10] продемонстрировано формирование металлических наностроек различной формы на поверхности ионно-обменного стекла. Публикация [18] представляет собой патент на изобретение, заключающееся в способе получения металлических пленок заданной формы на поверхности диэлектрических материалов.

5.1. Научные издания, входящие в международные реферативные базы данных и системы цитирования

1. Denisyuk A.I., Komissarenko F.E., Mukhin I.S. Electrostatic pick-and-place micro/nanomanipulation under the electron beam // *Microelectronic Engineering* — 2014, Vol. 121, pp. 15-18 (0,45/0,2 п.л.)
2. Denisyuk A.I., Krasavin A.V., Komissarenko F.E., Mukhin I.S. Mechanical, electrostatic, and electromagnetic manipulation of microobjects and nanoobjects in electron microscopes // *Advances in Imaging and Electron Physics* — 2014, Vol. 186, pp. 101-140 (2,25/0,5 п.л.)
3. Sinev I.S., Iorsh I.V., Bogdanov A.A., Permyakov D.V., Komissarenko F.E., Mukhin I.S., Samusev A.K., Valuckas V., Kuznetsov A.I., Luk'Yanchuk B.S., Miroshnichenko A.E., Kivshar Y. Polarization control over electric and magnetic dipole resonances of dielectric nanoparticles on metallic films // *Laser and Photonics Reviews* — 2016, Vol. 10, No. 5, pp. 799–806 (0,46/0,1 п.л.)
4. Sinev I.S., Bogdanov A.A., Komissarenko F.E., Frizyuk K.S., Petrov M.I., Mukhin I.S., Makarov S.V., Samusev A.K., Lavrinenko A.V., Iorsh I.V. Chirality Driven by Magnetic Dipole Response for Demultiplexing of Surface Waves // *Laser & Photonics Reviews* — 2017, Vol. 11, No. 5, pp. 1700168 (0,45/0,1 п.л.)
5. Makarov S.V., Sinev I.S., Milichko V.A., Komissarenko F.E., Zuev D.A., Ushakova E., Mukhin I.S., Yu Y.F., Kuznetsov A.I., Belov P.A., Iorsh I.V., Poddubny A.N., Samusev A.K., Kivshar Y.S. Nanoscale Generation of White Light for Ultrabroadband Nanospectroscopy // *Nano Letters* - 2018, Vol. 18, No. 1, pp. 535-539 (0,3/0,08 п.л.)
6. Polubavkina Y.S., Kryzhanovskaya N.V., Moiseev E.I., Kulagina M.M., Mukhin I.S., Komissarenko F.E., Zadiranov Y.M., Maximov M.V., Krasnok A.E., Bogdanov A.A., Zhukov A.E., Shelaev A.V. Improved emission outcoupling from microdisk laser by Si nanospheres // *Journal of Physics: Conference Series* — 2016, Vol. 741, No. 1, pp. 012158 (0,29/0,12 п.л.)
7. Zhukov M.V., Sapozhnikov I.D., Golubok A.O., Chubinskiy-Nadezhdin V.I., Komissarenko F.E., Lukashenko S.Y. Scanning ion-conductance and atomic force microscope with specialized sphere-shaped nanopipettes // *Journal of Physics: Conference Series* — 2017, Vol. 917, No. 4, pp. 042022 (0,3/0,1 п.л.)
8. Lukashenko S.Y., Komissarenko F.E., Mukhin I.S., Lysak V.V., Averkiev D.A., Sapozhnikov I.D., Golubok A.O. Precise mass detector based on "W needle - C nanowire" nanomechanical system // *Journal of Physics: Conference Series* — 2016, Vol. 741, No. 1, pp. 012207 (0,28/0,12 п.л.)
9. Komissarenko F.E., Mukhin I.S., Golubok A.O., Nikonov N.V., Prosnikov M.A., Sidorov A.I. Effect of electron beam irradiation on thin metal films on glass surfaces in a submicrometer scale // *Journal of Micro/ Nanolithography, MEMS, and MOEMS* — 2016, Vol. 15, No. 1, pp. 013502 (0,75/0,5 п.л.)

10. Komissarenko F.E., Zhukov M.V., Mukhin I.S., Golubok A.O., Sidorov A.I. Formation of metallic nanostructures on the surface of ion-exchange glass by focused electron beam // Journal of Physics: Conference Series — 2015, Vol. 643, pp. 012113 (0,22/0,17 п.л.)
11. Komissarenko F.E., Zhukov M.V., Mukhin I.S., Golubok A.O., Sidorov A.I. Formation of metallic nanoislands in the process of electron irradiation of a thin gold film on glass // Technical Physics - 2017, Vol. 62, No. 2, pp. 334-337 (0,2/0,16 п.л.)
12. Bogdanov A.A., Sinev I.S., Iorsh I.V., Permyakov D.V., Komissarenko F.E., Mukhin I.S., Samusev A.K., Miroshnichenko A.E., Kivshar Y.S. From high-Q magnetic dipole scattering to broadband electric field localization by silicon nanoparticle on metal // Conference on Lasers and Electro-Optics, CLEO 2016 - 2016, pp. 7787646 (0,16/0,07 п.л.)
13. Sinev I.S., Bogdanov A.A., Komissarenko F.E., Petrov M.I., Frizyuk K.S., Makarov S.V., Mukhin I.S., Samusev A.K., Lavrinenko A.V., Iorsh I.V. Demultiplexing surface waves with silicon nanoantennas // AIP Conference Proceedings - 2017, Vol. 1874, pp. 030035 (0,4/0,13 п.л.)
14. Lukashenko S.Y., Komissarenko F.E., Mukhin I.S., Sapozhnikov I.D., Veniaminov A.V., Lisak V., Golubok A.O. Precise mass detector based on carbon nanooscillator // AIP Conference Proceedings - 2016, Vol. 1748, pp. 050002 (0,29/0,13 п.л.)

## 5.2. Научные издания, входящие в перечень российских рецензируемых журналов ВАК

15. Комиссаренко Ф.Э., Жуков М.В., Мухин И.С., Голубок А.О., Сидоров А.И. Формирование металлических nanoостровков при электронном облучении тонкой пленки золота на стекле // Журнал технической физики - 2017. - Т. 87. - № 2. - С. 306-309 (0,34/0,25 п.л.)
16. Денисюк А.И., Комиссаренко Ф.Э. Прецизионное перемещение микро- и наночастиц под воздействием электронного пучка // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики - 2013. - № 6(88). - С. 118-122 (0,375/0,3 п.л.)
17. Комиссаренко Ф.Э., Денисюк А.И. Исследование эффекта перемещения наночастиц под действием полей и зарядов, создаваемых сфокусированным электронным пучком // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики - 2012. - № 5(81). - С. 120-123 (0,25/0,2 п.л.)

## 5.3. Публикации, которые приравниваются к рецензируемым научным изданиям.

18. Способ получения металлических пленок заданной формы : пат. 2597373 Рос. Федерация : МПК В 05 D 1/00 / Просников М.А., Никоноров Н.В., Сидоров А.И., Голубок А.О., Комиссаренко Ф.Э., Мухин И.С.; заявитель и

патентообладатель Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (Университет ИТМО). - № 2015116555/05 ; заявл. 29.04.2015 ; опубл. 10.09.2016 , Бюл. № 25. - 8 с. (0,375/0,15 п.л.)

;

#### 5.4. Публикации в иных изданиях

19. Komissarenko F.E., Lukashenko S.Y. Electrostatic pick-and-place manipulation for single nanoparticles transfer // Тезисы конференции "V International Scientific conference STRANN 2016", - 2016, pp. 102-104
20. Komissarenko F.E., Lukashenko S.Y. Precise mass detector based on "W needle - C nanowire" nanomechanical system // Тезисы конференции International School and Conference "Saint-Petersburg OPEN 2016", - 2016, pp. 550-551
21. J. Polubavkina, N.V. Kryzhanovskaya, E.I. Moiseev, M.M. Kulagina, I.S. Mukhin, F.E. Komissarenko, Yu.M. Zadiranov, M.V. Maximov, A.E. Krasnok, A.A. Bogdanov, A.E. Zhukov. Improved emission outcoupling from microdisk laser by Si nanospheres // Тезисы конференции International School and Conference "Saint-Petersburg OPEN 2016", - 2016, pp. 448-449
22. S.Y. Lukashenko, F.E. Komissarenko, I.S. Mukhin, I.D. Sapozhnikov, A.V. Veniaminov, A.O. Golubok. Precise mass detector based on "W needle - C nanowire" nanomechanical system // Тезисы конференции V International Scientific conference STRANN 2016. - 2016. - P. 50-52.
23. Zhukov M.V., Sidorov A.I., Golubok A.O., Komissarenko F.E., Mukhin I.S. Formation of metallic nanostructures on the surface of ion-exchange glass by focused electron beam // Тезисы конференции International School and Conference "Saint-Petersburg OPEN 2015", - 2015, pp. 358-359
24. Mukhin I.S., Komissarenko F.E., Golubok A.O. FIB/SEM advanced nanofabrication // Тезисы конференции 4th International Scientific Conference STRANN '14, - 2014, pp. 29-30
25. Комиссаренко Ф.Э., Мухин И.С. Электростатическое манипулирование микро- и наночастицами под действием электронного пучка // Тезисы докладов XXV-й Российской конференции по электронной микроскопии (РКЭМ-2014). - Черногловка. - 2014. - т.2. - С. 400
26. Комиссаренко Ф.Э., Денисюк А.И. Прецизионное перемещение микро- и наночастиц под электронным пучком // Тезисы докладов Российской молодежной конференции по физике и астрономии "Физика.СПб" - 2013. - С. 193-195
27. Denisyuk A.I., Komissarenko F.E., Mukhin I.S. Precise manipulation of micro- and nanoparticles under the electron beam // Тезисы конференции 39th International Conference on Micro and Nano Engineering (MNE-2013) - London, 2013, pp. 322

;

Диссертация «Манипулирование нанообъектами и модификация материалов с помощью сфокусированного электронного пучка для создания функциональных наноструктур» Комиссаренко Филиппа Эдуардовича соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. (ред. от 28.08.2017) и пунктам 1,8 Паспорта специальности ВАК по специальности 01.04.01 Приборы и методы экспериментальной физики.

Диссертация рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики».

Заключение подготовлено на заседании кафедры Нанопотоники и Метаматериалов.

Присутствовало на заседании 36 чел.

Результаты голосования: «за» - 36 чел., «против» - 0 чел., «воздержалось» - 0 чел., протокол № 6 от «11» мая 2018 г.

Руководитель подразделения



(доктор физико-математических наук, профессор,  
Заведующий кафедрой Нанопотоники и Метаматериалов)

Белов П.А.

Заключение утверждено на заседании государственной экзаменационной комиссии.

Председатель ГЭК



(доктор физико-математических наук, профессор)

Яшин В.Е.

ОТДЕЛ ПО РАБОТЕ  
С ДИССЕРТАЦИОННЫМИ  
СОВЕЩАНИЯМИ УНИВЕРСИТЕТА  
ИТМО