

## Магистерская программа

### «Квантовые и оптические технологии»

#### 1. Руководитель программы.

Снигирев Олег Васильевич, доктор физ.-мат. наук, профессор, заведующий кафедрой физики полупроводников и криоэлектроники физического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова.

#### 2. Кафедры, реализующая магистерскую программу.

Данная магистерская программа реализуется кафедрой физики полупроводников и криоэлектроники совместно с кафедрой квантовой электроники физического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова.

#### 3. Краткая аннотация магистерской программы.

Курсы программы являются неотъемлемой частью обучения специалистов по квантовым и оптическим технологиям. Целью программы является подготовка специалистов, обладающих навыками и компетенциями, необходимыми для разработки современных квантовых вычислительных устройств на основе одноатомных центров в твердотельных структурах, а также устройств нанофотоники, интегральной оптики, и использования современных оптических методов диагностики в области квантовых технологий.

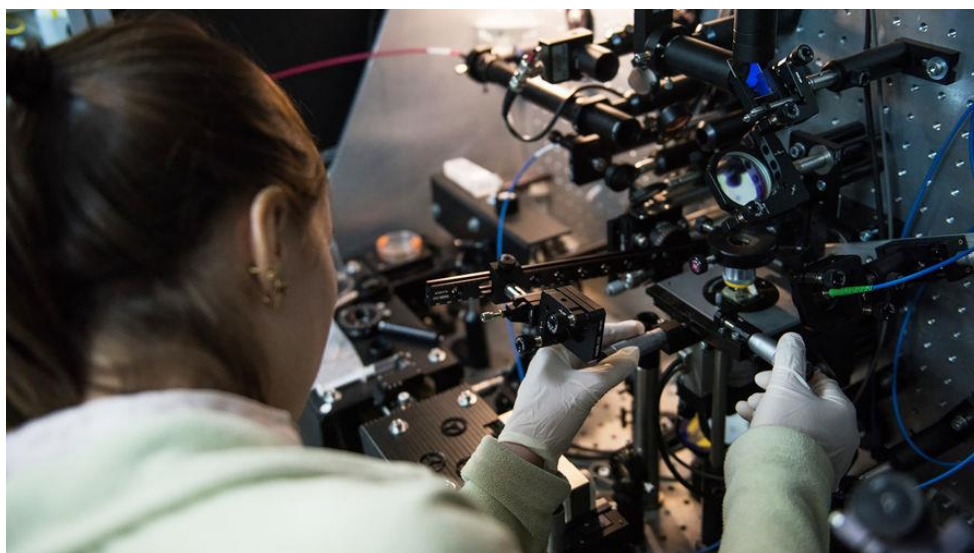
Возможность использования одиночных примесных атомов в твердотельных структурах для создания соответствующих квантовых электронных устройств появилась совсем недавно, немногим более 5 лет назад – эта область квантовых технологий очень молода и находится в «мэйнстриме» мировых исследований. Одиночные примесные атомы, размещенные в необходимой конфигурации в твердотельных кристаллических структурах, обладают высокими значениями характерной кулоновской энергии и энергии размерного квантования одиночных электронов, а также дают возможность манипулировать отдельными электронами, отдельными одночастичными энергетическими состояниями и спинами отдельных электронов. Сочетание столь необычных физических свойств открывает новые возможности для создания уникальных электронных вычислительных квантовых устройств, таких, например, как резервуарные вычислительные сети.

Способность управлять распространением света на субволновых масштабах является необходимым условием для миниатюризации оптических схем, необходимых в том числе и для задач квантовой оптики. В настоящее время разрабатывается платформа для интегральной нанофотоники на основе поверхностных электромагнитных волн в одномерных фотонных кристаллах. Изучаются методы возбуждения таких волн, способы управления их распространением и их взаимодействие с веществом. Исследуются физические основы для создания устройств нанофотоники, реализующих активное и пассивное управление оптическим излучением на субволновом

масштабе при помощи Ми-резонансных полупроводниковых наноструктур и метаповерхностей на их основе. Также проводятся исследования применимости нейроморфных нанофотонных систем для вычислительных задач.



Слева – установка для печати трехмерных наноструктур методом двухфотонной лазерной литографии, справа – установка для изучения сверхбыстрых процессов в наноструктурах при взаимодействии с фемтосекундными лазерными импульсами методом накачка-зонд.

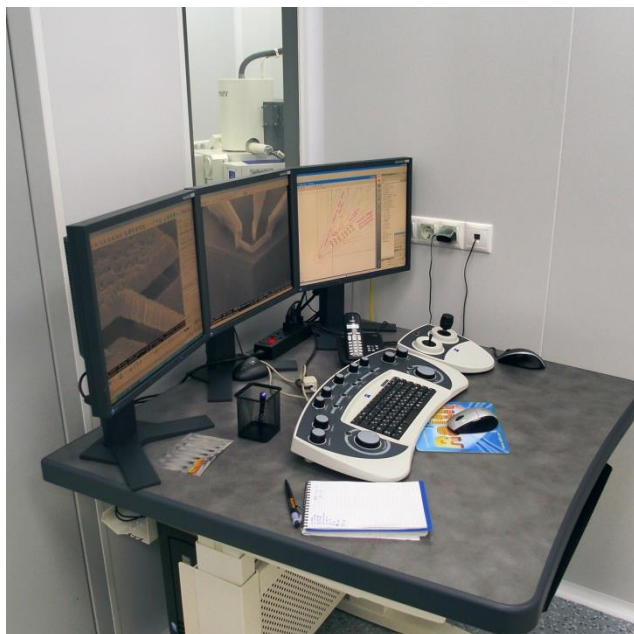


Процесс юстировки двухлучевого оптического пинцета, позволяющего захватывать микрочастицы в жидкой или газовой среде и изучать их физические свойства и механизмы взаимодействия. Для повышения стабильности оптическая схема собирается на вертикальном стенде.

Магистерские программы предполагают выполнение курсовых и дипломных работ в рамках основных направлений работы центра. Теоретические работы будут проводиться под руководством высококвалифицированных сотрудников базовых кафедр, владеющих современными методами анализа и расчетов свойств атомов в условиях окружающей полупроводниковой матрицы.

Для выполнения экспериментальных работ будут использованы технологические возможности Учебно-методического центра литографии и

микроскопии, созданного на физическом факультете МГУ, современных измерительных установок, таких как рефрижератор растворения «Тритон», позволяющий проводить измерения характеристик создаваемых устройств в диапазоне температур от десятых долей градусов Кельвина до комнатных, практикум по созданию элементов квантовых вычислительных устройств и измерению их характеристик на современном оборудовании.



Автоэмиссионный растровый электронный микроскоп Supra 40 (Carl Zeiss), Получение изображений во вторичных и упруго рассеянных электронах (детекторы In Lens, SE и AsB), Пространственное разрешение 1.5 нм при ускоряющем напряжении 15 кВ. Система электронной литографии Elphy Quantum (Raith) - 16-битный аппаратный модуль, позволяющий работать на скоростях цифро-аналоговых преобразователей вплоть до 6 МГц.



Ламинарно-вытяжные шкафы Felcon 880F для работы с органической (справа) и неорганической (слева) химией. Предустановленное оборудование: центрифуга для нанесения фото- и электронных резистов Easyline EL, печка для сушки образцов Solar-Semi, стереомикроскоп Stemi 508 на гибкой настольной подставке, ультразвуковая ванна Ultrawave IND, термо-стабилизированная ванна Betta-Tech CU. В шкафах осуществлена подача особо чистой воды от системы Milli Q.

Отдельной важной частью образовательного направления будет программа стажировок и трудоустройства выпускников в организациях – интеллектуальных партнерах центра. Участие интеллектуальных партнеров в образовательном направлении позволит обеспечить эти организации квалифицированными сотрудниками для развития и применения технологий, создаваемых в рамках деятельности Центра.

#### **4. Области науки и профессии, где может применить свои знания выпускник программы.**

Программа по квантовым оптическим технологиям готовит специалистов, обладающих уникальными навыками на стыке физики полупроводников, сверхпроводников, криоэлектроники, современных технологий наноэлектроники, нанофотоники, интегральной оптики, и использования современных оптических методов диагностики в физических исследованиях. Эта программа готовит «квантовых инженеров» широкого профиля, обладающих уникальными компетенциями как в области современного оптического эксперимента, так и в области нанотехнологий и проектирования устройств наноэлектроники, интегральной оптики и нанофотоники. Эти специалисты обеспечат необходимый кадровый ресурс для создания

разнообразных сопутствующих технологий, служащих основой для построения квантовых вычислительных систем и систем квантовой связи.

## 5. Перечень обязательных дисциплин магистерской программы

1.	Экспериментальные основы квантовых оптических технологий
2.	Современные проблемы нелинейной оптики
3.	Современные методы оптической наноскопии и микроскопии
4.	Методы локальной диагностики наноструктур и нанобъектов
5.	Резонансная интегральная нанофотоника
6.	Взаимодействие излучения с веществом
7.	Физика полупроводниковых мезоскопических систем
8.	Основы квантовой оптики
9.	Практикум по квантовой оптике и методам генерации и измерения неклассических состояний света
10.	Фундаментальные основы квантовых технологий
11.	Практикум по квантовым технологиям
12.	Одноатомная одноэлектроника
13.	Физические модели квантовых вычислений
14.	Аддитивные технологии
15.	Нейроинформатика

## 6. Предприятия, научные организации, на которых обучающийся может проходить научно-исследовательскую практику.

Научно-исследовательская практика будет проводится как в научных группах, выполняющих исследования по программе Центра квантовых технологий физического факультета МГУ, так и в институтах РАН и университетах, тесно связанных с деятельностью консорциума при Центре:

- Физико-технологическом институте РАН имени К.А. Валиева;
- Университете г. Ланкастер, Великобритания;
- Исследовательском центре Самсунг, Москва;
- Технологическом университете г. Тойохаши, Япония;
- Австралийском национальном университете, Австралия;
- Католическом университете г. Лёвен, Бельгия;
- Йенском университете имени Фридриха Шиллера, Германия.

## **7. Контактные данные для вопросов**

1) Снигирев Олег Васильевич, доктор физ.-мат. наук, профессор, заведующий кафедрой физики полупроводников и криоэлектроники физического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова, ком. 3-79.

e-mail: [oleg.snigirev@phys.msu.ru](mailto:oleg.snigirev@phys.msu.ru)

тел.: 8 (495) 939-59-35

2) Андрей Анатольевич Федянин, доктор физ.-мат. наук, профессор кафедры физики квантовой электроники физического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова, , ауд. 1-40б Центра коллективного пользования физического факультета.

e-mail: , [fedyanin@nanolab.phys.msu.ru](mailto:fedyanin@nanolab.phys.msu.ru)

тел.: +7(495)939-39-10