Уникальные разработки ученых ИФНиТ поддержаны Министерством образования и науки РФ

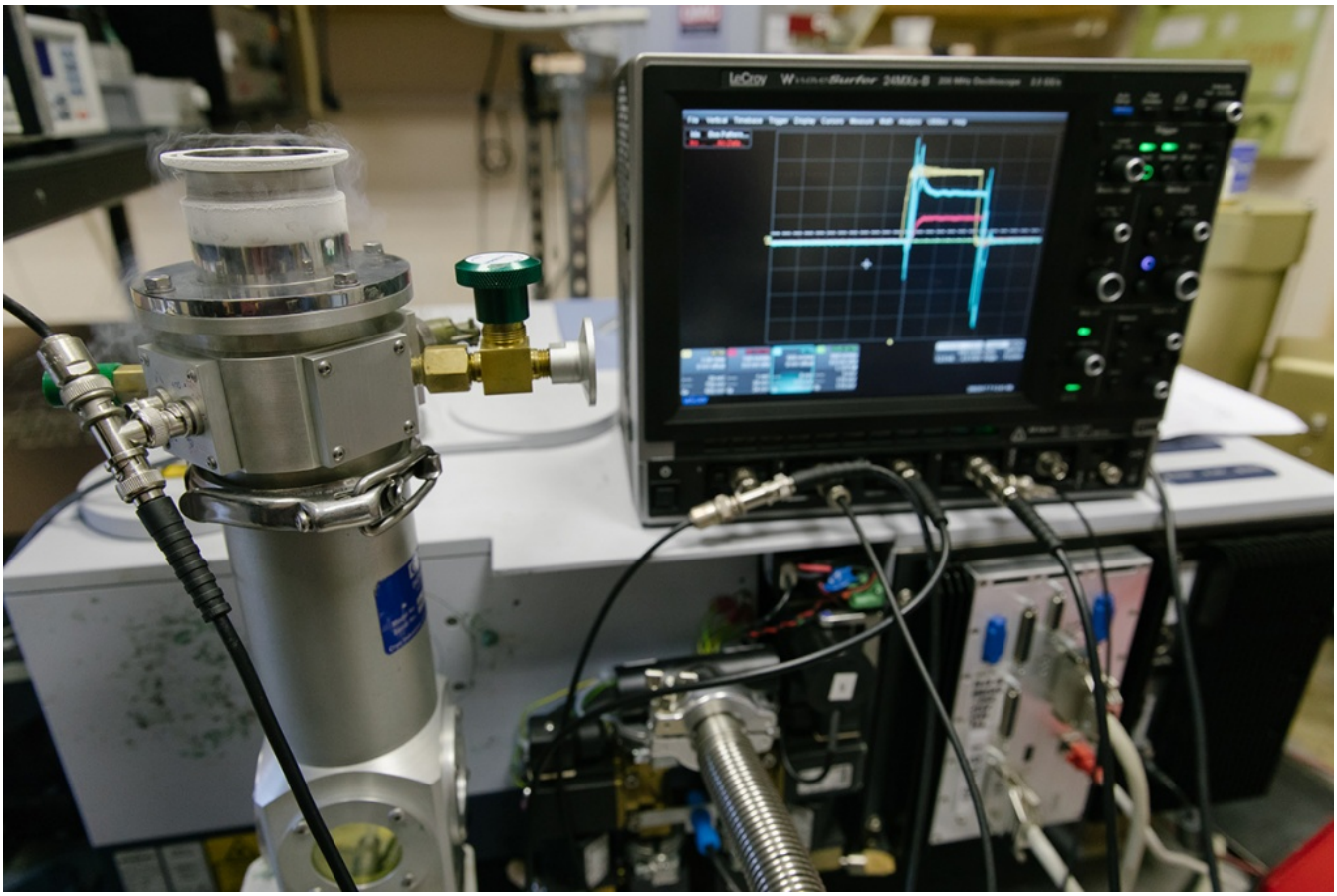
Развивать науку и инновации, создавать новые экспериментальные и вычислительные технологии, формировать знания будущего – важные задачи современной научно-исследовательской отрасли, наиболее перспективные проекты которой в этом году в очередной раз поддержало Министерство образования и науки РФ, в том числе выделив 16 работ Политехнического университета. Одним из них стал проект «Взаимодействие излучения терагерцового диапазона с легированными нано- и микроструктурами», кафедры «Физика полупроводников и наноэлектроника» ИФНиТ. О том, в чем задача, уникальность и перспективность этих исследований, рассказали заведующий кафедрой, проф., д.ф.-м.н. Дмитрий Анатольевич ФИРСОВ и руководитель проекта, проф., д.ф.-м.н. Леонид Евгеньевич ВОРОБЬЕВ.

– Чему посвящено ваше исследование?

– Наш проект посвящен исследованию оптических явлений терагерцового спектрального диапазона (пропускания, отражения, эмиссии излучения) в полупроводниковых микро- и наноструктурах для создания новых источников

и детекторов терагерцового излучения. Терагерцовый диапазон электромагнитных волн расположен между оптическим и радиоволновым диапазонами, и сложность его использования и исследования заключается в том, что в этом диапазоне затруднительно применять как оптические, так и радиочастотные методы.

Работать над проектом мы планируем по двум быстроразвивающимся в последние годы направлениям физики полупроводников: взаимодействие излучения с примесными центрами в условиях межзонной оптической и токовой накачки полупроводниковых структур, а также взаимодействие излучения с поверхностными и двумерными плазмонами в легированных микро- и наноструктурах.



Интерес к подобным исследованиям связан с тем, что на их основе планируется разработать физические основы детекторов и источников излучения терагерцового диапазона, чей круг возможных применений очень широк – от лабораторных исследований до систем контроля и безопасности, от экологического мониторинга и космических исследований до медицины.

Примесные центры в полупроводниках чрезвычайно интересны для применений в оптоэлектронных приборах терагерцового диапазона, поскольку характерные энергии электронных переходов в примесях совпадают с энергиями фотонов терагерцового диапазона. Поэтому

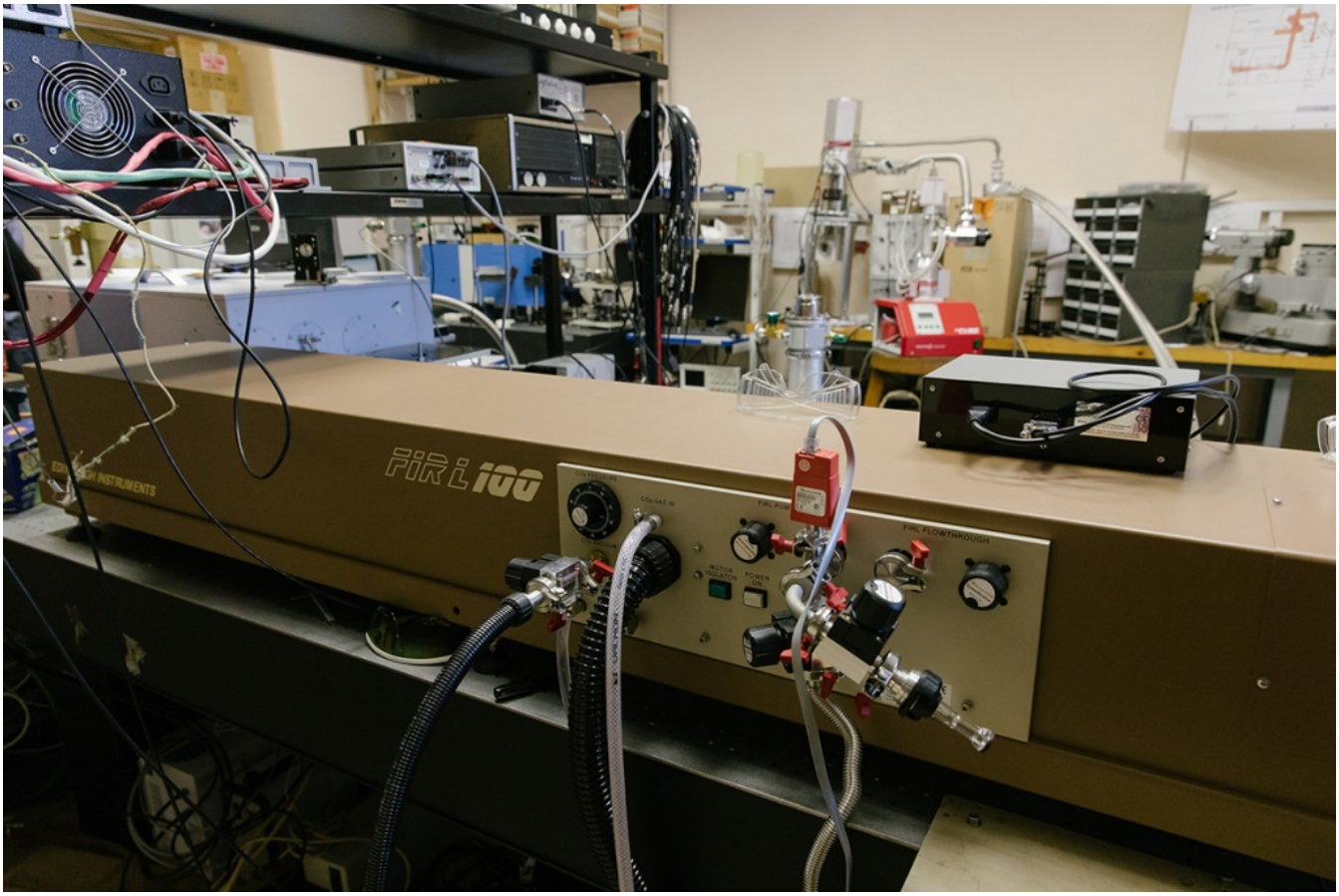
терагерцовое излучение может инициировать электронные переходы в примесях, изменяя их свойства, что может быть использовано для детектирования излучения. С другой стороны, если мы каким-либо другим образом заставим электроны переходить между примесными уровнями, то эти переходы могут сопровождаться испусканием фотонов терагерцового диапазона, то есть служить источником электромагнитных волн.

Поверхностные и двумерные плазмоны – это особые возбуждения в твердом теле, или квазичастицы. Оказалось, что в полупроводниковых структурах энергия этих квазичастиц также может лежать в терагерцовом диапазоне, что приводит к интенсивному взаимодействию плазмонов и терагерцовых фотонов. Обязательным условием такого взаимодействия является периодическое возмущение поверхности образца, например, созданная на ней дифракционная решетка. В наших исследованиях мы планируем сравнить свойства образцов с решеткой и без нее.

– Группа проекта – науки будущего. Насколько эти исследования отражают потребности науки и жизни завтрашнего дня?

– Терагерцовая плазмоника и оптика открывают богатые перспективы использования и изучения абсолютно новых оптических явлений. Сейчас эти исследования только начинают проводиться, поэтому в данном смысле они как нельзя лучше подходят к направлению наук завтрашнего дня, в рамках которого еще предстоит совершить фундаментальные открытия. Их приложениями в нашем случае должны стать новые оптоэлектронные приборы терагерцового диапазона частот.

Безусловно, сегодня источники терагерцового излучения существуют и успешно используются. Тем не менее не все так просто. Например, квантово-каскадный лазер, который считается наиболее совершенным источником в этой спектральной области, до сих пор малодоступен из-за своей дороговизны и чрезвычайной сложности изготовления. Другие же источники терагерцового излучения, которые более доступны, либо требуют установки громоздких систем для своей работы, либо имеют ограничения по выходной мощности.



Источники излучения, разработкой которых мы будем заниматься, довольно компактны, не требуют значительной мощности накачки и самое главное – могут быть изготовлены с использованием доступных и отработанных технологий наноэлектроники. Одна из проблем, которую мы стремимся решить, связана с низкими рабочими температурами источников, которые нам пока удалось разработать – 4-10 K (или -269-263°C). Преодолеть это ограничение мы пытаемся за счет создания новых механизмов эффективной работы с целью повышения рабочей температуры до комнатной или хотя бы до температуры жидкого азота (-195°C). Поскольку системы охлаждения в последнее время успешно развиваются, прибор, работающий при температуре жидкого азота, также сможет найти широкое применение.

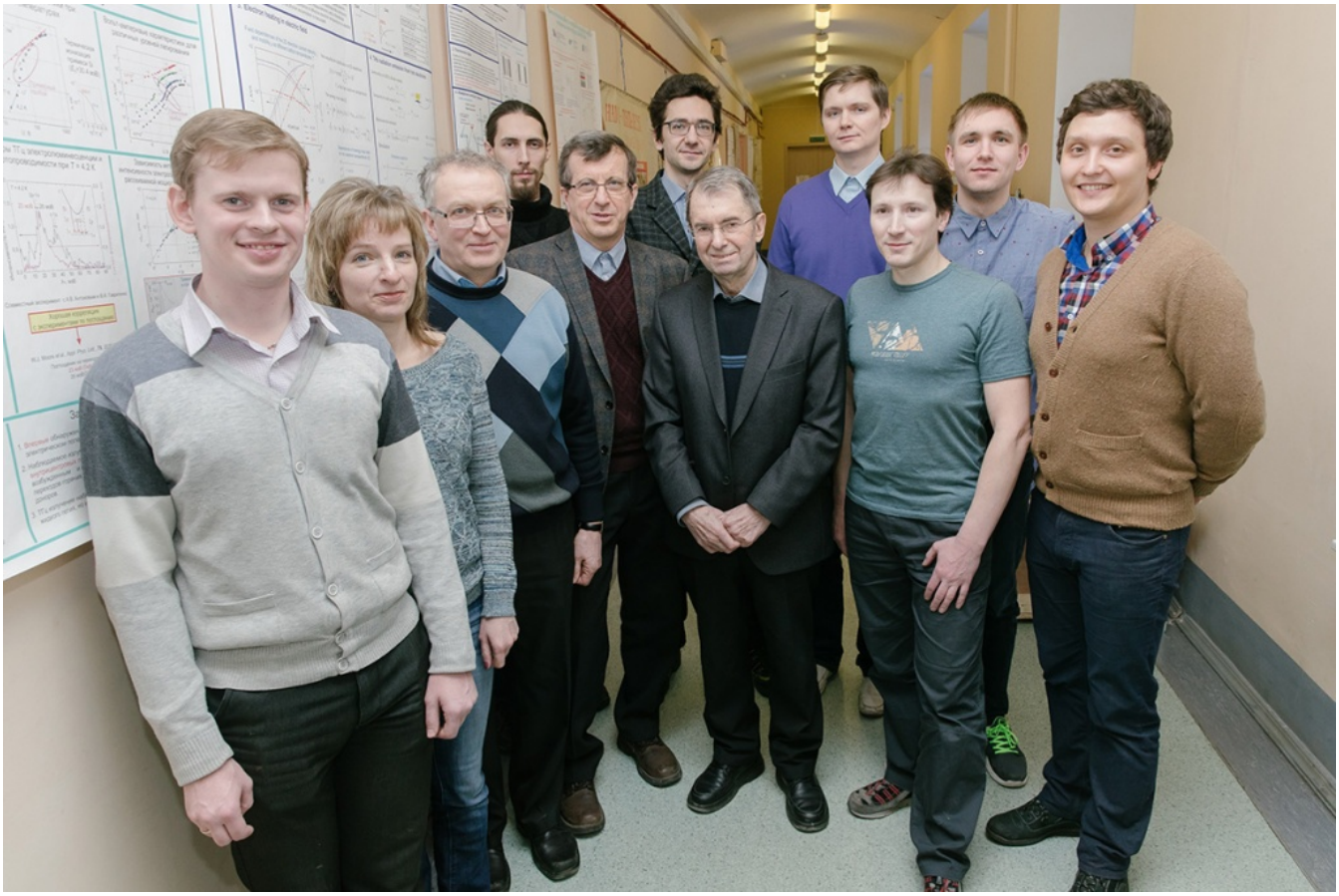
Уникальность нашего проекта заключается в том, что большая часть запланированных исследований еще не проводилась не только в России, но и за рубежом, а те эксперименты, которые уже осуществлялись, будут серьезно нами модифицированы с точки зрения используемых структур, данных и условий. Поэтому мы считаем, что в плане развития и осуществления научных прорывов в области физики наш проект имеет большой потенциал.

– Вы сказали, что на основе результатов вашего исследования могут быть созданы новые источники излучения, применение которых очень широко – от медицины до систем безопасности. В чем их особенность

и чем они отличаются от существующих сегодня?

– Как мы уже говорили, диапазон потенциальных применений терагерцового излучения очень широк. Значительная его часть связана с тем, что оно возбуждает внутренние колебания органических молекул. Это позволяет использовать терагерцовое излучение для распознавания различных органических веществ. В медицине одним из примеров применения терагерцового излучения является диагностика раковых опухолей за счет различных оптических свойств здоровой и больной тканей в терагерцовой области спектра. Терагерцовое излучение не обладает таким сильным воздействием на живые организмы, как рентгеновское, поэтому можно ожидать, что оно активнее будет использоваться и в системах безопасности. Интересным применением терагерцового излучения является анализ содержимого электронных микросхем без вскрытия их корпуса.

Необходимым условием успешного использования терагерцового излучения является наличие удобных источников излучения, желательно лазеров. Как мы уже говорили, существующие сегодня и доступные источники излучения имеют различные недостатки. Разрабатываемые нами приборы должны будут исправить эту ситуацию, обеспечив достаточную мобильность, компактность, мощность и доступность источников терагерцового излучения. На заключительных стадиях выполнения проекта мы надеемся получить не только спонтанное, но и стимулированное излучение, то есть реализовать лазерную генерацию. Это важно, поскольку применение большинства существующих терагерцовых источников ограничивается спонтанным характером их излучения.



В случае успешного выполнения проекта использование результатов наших работ позволит внести существенный вклад не только в теоретическую физику и лабораторные исследования, но и на практике обеспечить системы безопасности, медицинские учреждения, системы связи более мощными и эффективными ресурсами.

– Ваша научная группа будет первой, кто проведет подобные исследования. Что вам позволило стать первопроходцами?

– Начать стоит с того, что сама идея проведения таких исследований была впервые выдвинута в нашей лаборатории руководителем этого проекта Леонидом Евгеньевичем Воробьевым, профессором, Лауреатом Государственной премии и Заслуженным деятелем науки РФ, который создал и развивает в Политехе успешную научную школу исследований в области оптики неравновесных электронов в полупроводниках. Ее высокий уровень подтверждают более 200 статей, опубликованных нашей научной группой в ведущих мировых журналах, которые рецензируются в базах Scopus и Web of Science.

Кроме того, для проведения таких высокотехнологичных исследований нужна современная прецизионная аппаратура, которая не производится большими партиями и является достаточно дорогостоящей. При поддержке руководства университета и института, а также Проекта «5-100» за

последние годы мы смогли существенно обновить наш парк лабораторных исследовательских установок, получив в распоряжение действительно уникальную технику: фурье-спектрометр Bruker Vertex 80v с набором детекторов на широкий спектральный диапазон, включающий и терагерцовый диапазон частот (насколько нам известно, в России приборов с такими характеристиками – единицы); газовый лазер терагерцового диапазона с оптической накачкой, который, возможно, является единственным в России, а в зарубежных лабораториях их также насчитывается очень ограниченное количество; современный автоматизированный решеточный монохроматор фирмы Horiba и оптические криостаты замкнутого цикла, которые позволяют достигать гелиевых (криогенных) температур.

– Кто входит в состав вашей рабочей научной группы? Привлекаете ли вы студентов к работе над проектом?

– Безусловно. Мы всегда стараемся максимально привлекать нашу молодежь, которая интересуется научными исследованиями и стремится к работе на сложных современных экспериментальных установках. Когда у студентов нашей кафедры начинается научно-исследовательская работа, мы отмечаем ребят, у которых есть хороший научный потенциал, начинаем привлекать их к реальным исследованиям, которые многие из них продолжают, поступая в магистратуру и аспирантуру и после – оставаясь на преподавательских должностях. Поэтому наша группа достаточно молодая, ее средний возраст 40 лет.

При этом в нее входят опытные исследователи, профессора, доктора физико-математических наук – Д.А. Фирсов, Л.Е. Воробьев, В.А. Шалыгин, доценты и старшие научные сотрудники со степенью кандидата наук, старшие преподаватели – А.Н. Софронов, М.Я. Винниченко, В.Ю. Паневин, М.Д. Молдавская, и, конечно же, наши ассистенты, аспиранты и магистранты – Г.А. Мелентьев, И.С. Махов, Р.М. Балагула, А.В. Селиванов и Д.А. Пашнев.

– Исследованием каких проектов еще занимается ваша лаборатория?

– Стоит сказать, что этот проект у нас далеко не первый из поддержанных Минобрнауки. Мы регулярно получаем поддержку на конкурсной основе от министерства, Российского фонда фундаментальных исследований и различных международных фондов – INTAS, CRDF, NSF. Сейчас, кроме настоящего проекта, мы работаем также по двум грантам РФФИ и двум грантам Президента для молодых ученых. В 2010-2015 годах наша группа получала финансирование в рамках Постановления Правительства РФ № 218 о кооперации российских высших учебных заведений и производственных предприятий.

В рамках этого постановления по заказу ЗАО «Полупроводниковые приборы», малого предприятия, занимающегося производством полупроводниковых лазеров и медицинских аппаратов на их основе, мы успешно реализовали два проекта: «Разработка и организация серийного

производства высокотехнологичного комплекса для диагностики, профилактики и лечения онкологических заболеваний различных локализаций методом фотодинамической терапии» и «Разработка лечебно-диагностического стоматологического лазерного комплекса», предназначенного для диагностики и лечения основных заболеваний полости рта и пародонта методами лазерной коагуляции и фотодинамической терапии с применением отечественных материалов.

Исследования, проводимые нашей научной группой, не ограничиваются только разработкой новых принципов создания источников терагерцового излучения. Тематики исследований, характеризующие нашу работу, можно определить основными ключевыми словами: неравновесные электроны, полупроводниковые наноструктуры, эмиссия и поглощение излучения, терагерцовый и инфракрасный диапазоны, плазмоника, оптические свойства квантовых точек.

– Большое спасибо за интервью. Мы поздравляем вас с поддержкой проекта и желаем дальнейшего развития и новых научных открытий – вам и всем сотрудникам вашей лаборатории!

Материал подготовлен Медиа-центром СПбПУ. Текст: Наталья МАХОВА

Дата публикации: 2017.02.15

>>Перейти к новости

>>Перейти ко всем новостям