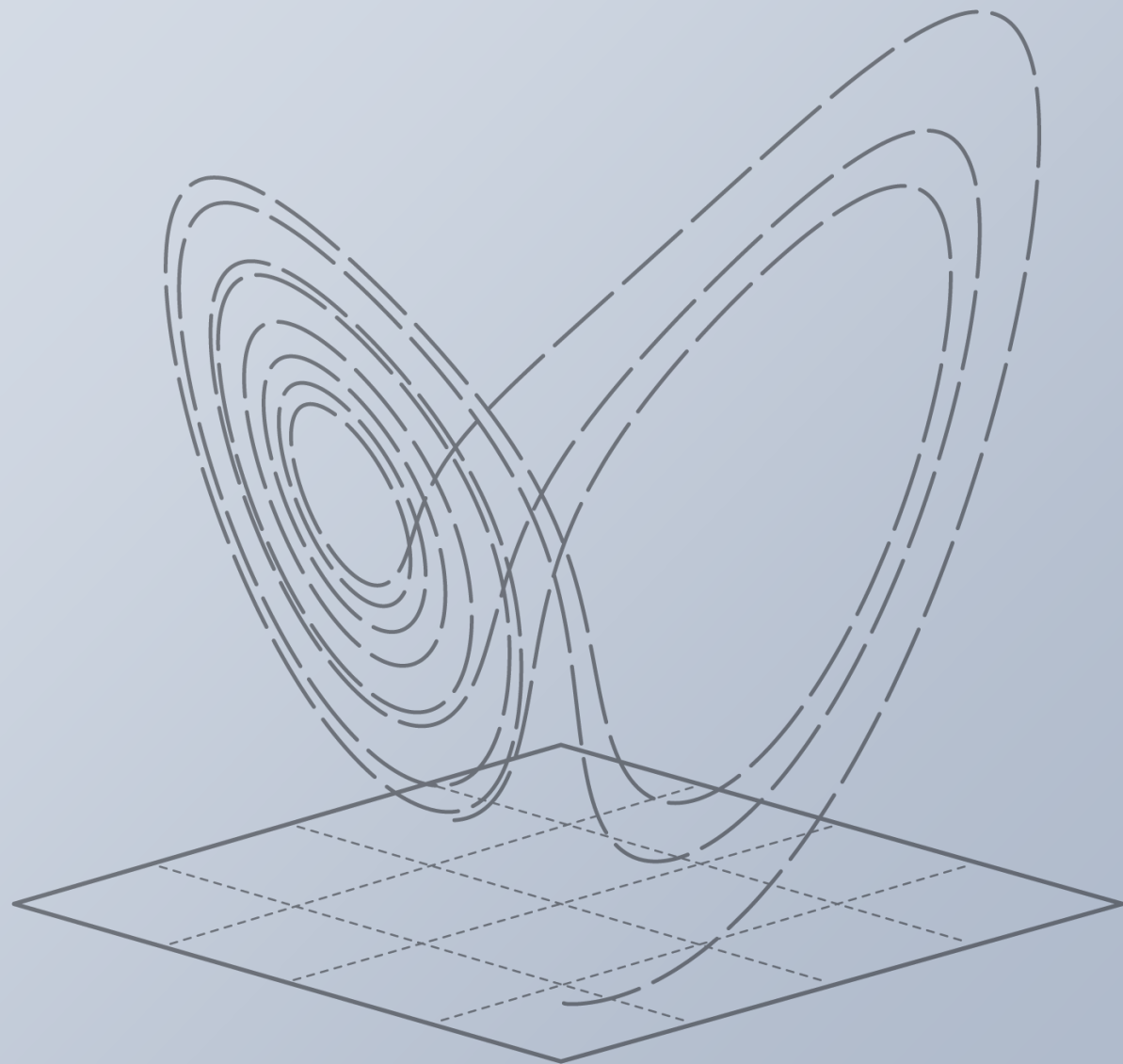


ВАЖНЕЙШИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОНИТ РАН

Красников Геннадий Яковлевич
Академик-секретарь ОНИТ РАН
Академик РАН



Программа фундаментальных научных исследований:

Результаты фундаментальных научных исследований
Отделения нанотехнологий и информационных технологий РАН
за 2020 – 2021 годы



Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН

Совместно с предприятием Экран-ФЭП

Оптический детектор спина свободных электронов на основе полупроводниковых гетероструктур с пространственным разрешением

Авторы: О.Е. Терещенко, В.А. Голяшов, В.С. Русецкий, А.В. Миронов, А.Ю. Дёмин

Впервые создан полупроводниковый спин-детектор свободных электронов с пространственным разрешением. Интегрирование детектора в метод фотоэмиссии с угловым разрешением (ARPES) приведет к увеличению эффективности, в 10^4 - 10^6 раз превышающей для существующих одноканальных спин-детекторов.

Принцип работы: инжекция свободных спин-поляризованных электронов в гетероструктуру A^3B^5 и регистрация катодолюминесценции (интенсивность, поляризация).

Впервые измерена картина распределения КЛ при инжекции двух пучков электронов с противоположными направлениями поляризации по спину в структуру GaAs/AlGaAs.

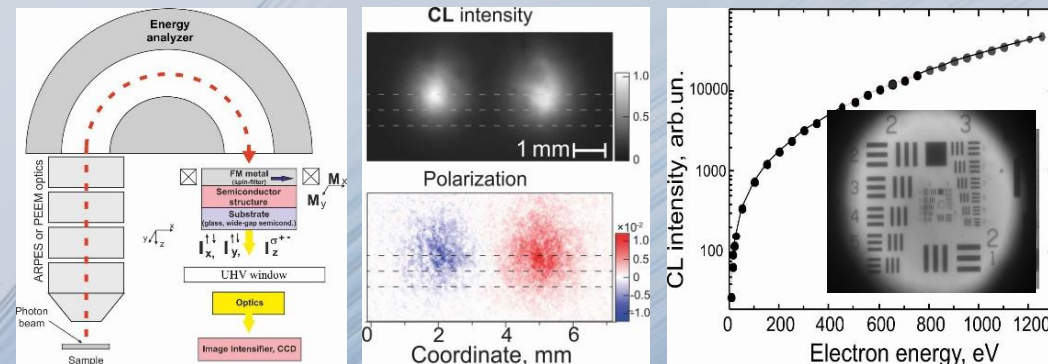


Рис.1 Схема работы детектора в ARPES.

Рис.2 Картина распределения поляризованной КЛ при инжекции двух пучков электронов.

Рис.3 Катодолюминесцентное изображение миры с пространственным разрешением ≤ 5 мкм.

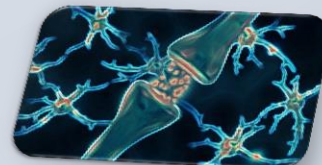
Результат важен для эффективного поиска новых квантовых материалов с необычной спиновой текстурой для решения принципиально новых фундаментальных и прикладных задач в области спинтроники и квантовых вычислений

Работа выполнена в рамках крупного научного проекта «Квантовые структуры для пост-кремниевой электроники» по гранту Минобрнауки РФ № 075-15-2020-797

Базовые элементы оптических нейроморфных систем

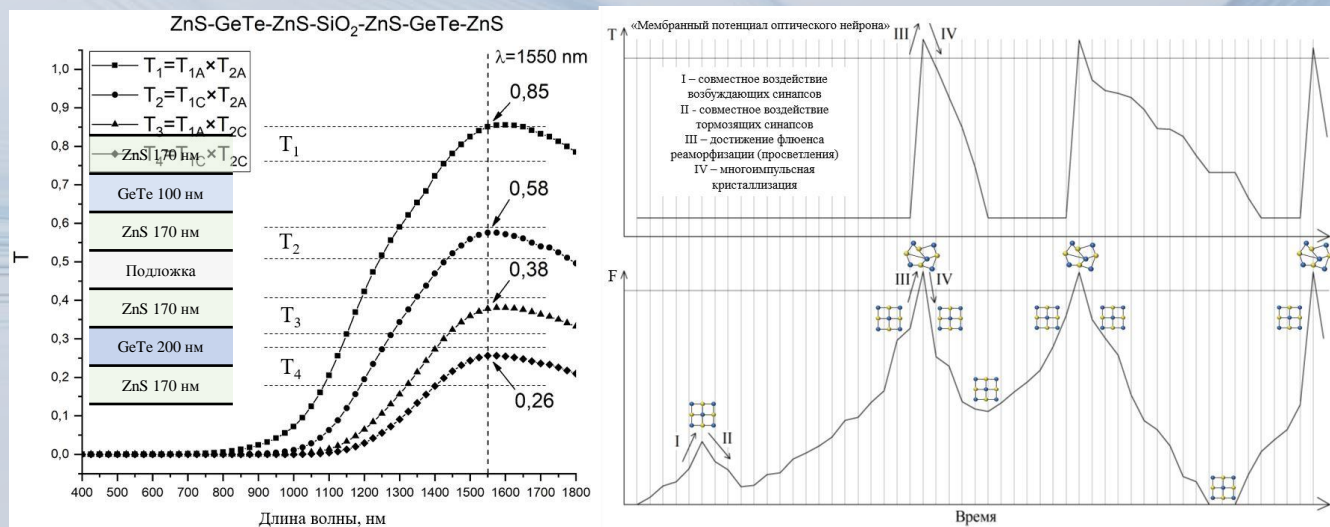


ИПЛИТ РАН — филиал
ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН



Опережающее развитие **нейроморфных систем** возможно за счет перехода к оптическим технологиям вычисления, в том числе благодаря **фазовым переходам** в тонких пленках фазоизменяемых материалов. Высокое **поглощение** в видимом диапазоне позволяет реализовать **лазерно-индуцированную** модуляцию сигналов О- и С-диапазонов.

- **Оптический искусственный синапс** модулирует лазерные импульсы в ближнем инфракрасном диапазоне, запись его **весового коэффициента** осуществляется лазерными импульсами в видимом диапазоне.
- **Оптический искусственный нейрон** выполняет функцию **пороговой фильтрации** для входных усиленных постсинаптических лазерных импульсов ближнего инфракрасного диапазона и при активации выдает «спайк», передающийся на входной пресинаптический слой следующих нейронов.



Основные результаты исследований элементов оптических нейроморфных систем

1. Реализована оптимизация **оптических характеристик** (отражение, пропускание и поглощение) оптического синапса на основе многослойных структур с **просветленными пленками фазоизменяемых материалов**. Увеличен контраст уровней пропускания модулируемого оптического сигнала и снижены плотности энергии иницирующего лазерного излучения.
2. Исследована **функция пороговой фильтрации** по модели интеграции и выстрела (LIF нейрон) в аппаратной реализации **оптического нейрона** на основе ультратонких пленок фазоизменяемых материалов.

Основные направления планируемых исследований лаборатории нейроморфных оптических систем

1. Разработка **прототипов** синапсopодобных оптических элементов и базовых логических элементов нейроморфных оптических систем.
2. Проработка **концепций** и перспективных **архитектур** нейроморфных оптических процессоров.
3. Расчет физических **свойств** фазоизменяемых материалов методом предсказательного численного **моделирования** из первых принципов.
4. **Синтез** тонких пленок фазоизменяемых материалов методами импульсного лазерного напыления.
5. Исследование физических свойств многослойных оптических **конструкций** с тонкими пленками фазоизменяемых материалов методами структурного анализа.
6. Исследование **динамики** лазерно-иницированных фазовых переходов с использованием **синхротронного** излучения.

Институт сверхвысокочастотной полупроводниковой электроники им. В.Г. Мокерова РАН

Система терагерцовой визуализации на основе матричного (64 пиксельного) детектора

Авторы: Пономарев Д.С., Хабибуллин Р.А.,
Лаврухин Д.Л., Ячменев А.Э.

Исследованы возможности по увеличению пространственного разрешения и скорости получения объекта в ТГц диапазоне.

Реализована комбинация пространственного модулятора света и 64 пиксельного детектора (8 каналов \times 8 пикселей) на основе 2D массива фотопроводящих антенн (рис. 1 и 2) для выбора и одномоментного считывания нескольких пикселей.

Создана недорогая система визуализации в ТГц диапазоне на основе матричного ТГц детектора с возможностью получения информации об амплитуде и фазе ТГц сигнала.

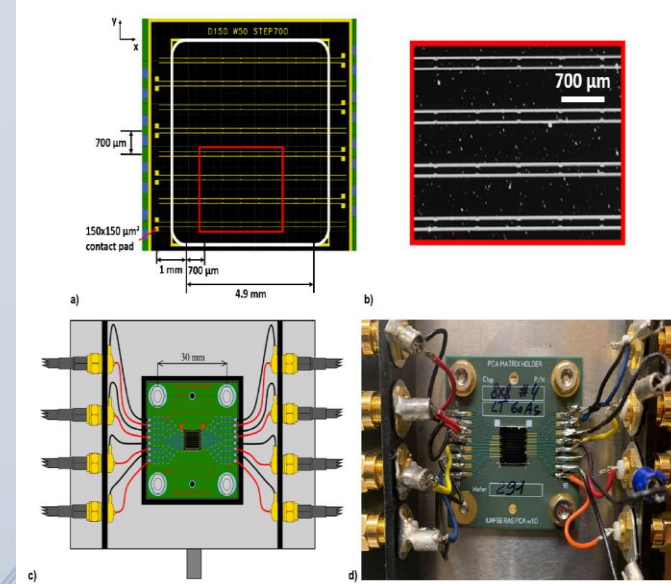


Рис. 1. Схема 64 пиксельного массива ($5 \times 5 \text{ мм}^2$), в котором каждый канал питается независимо; фото многоканального детектора в оснастке в ТГц импульсном спектрометре

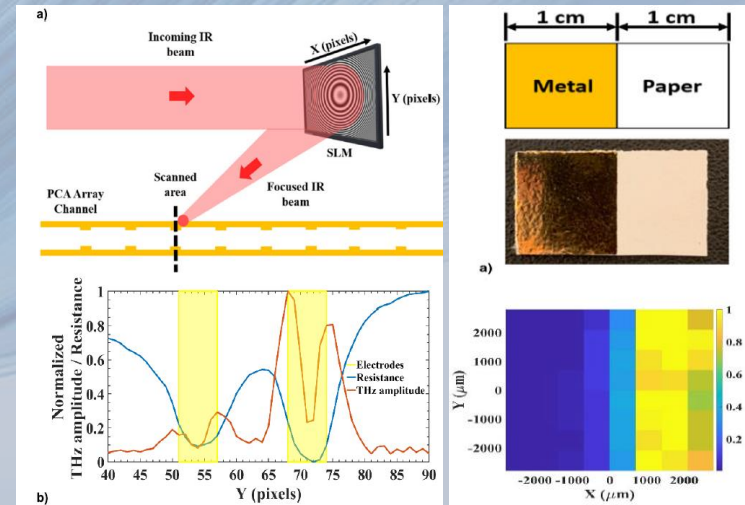


Рис. 2. Схема одномоментного считывания нескольких пикселей в массиве путем использования пространственного модулятора света; пример визуализации в ТГц диапазоне .

Институт сверхвысокочастотной полупроводниковой электроники им. В.Г. Мокерова РАН

Широкополосный детектор терагерцового излучения на основе упруго-напряженной сверхрешеточной InGaAs/InAlAs гетероструктуры

Авторы: Пономарев Д.С., Хабибуллин Р.А., Лаврухин Д.Л., Ячменев А.Э., Буряков А.М., Мишина Е.Д., Гончаров Ю.Г., Зайцев К.И.

Исследованы новые конструкции полупроводниковых материалов для уменьшения уровня шума в детекторе и увеличения детектируемого ТГц сигнала.

Впервые предложены сверхрешеточные гетероструктуры на основе упруго-напряженных слоев InGaAs/InAlAs с ультракоротким временем жизни фотовозбужденных носителей заряда менее 1.7 пс.

Создан широкополосный (100 ГГц – 3.5 ТГц) фотопроводящий детектор с высоким динамическим диапазоном свыше 80 дБ (рис. 1) и очень низким уровнем шума (рис. 2) для систем спектроскопии и визуализации в ТГц диапазоне.

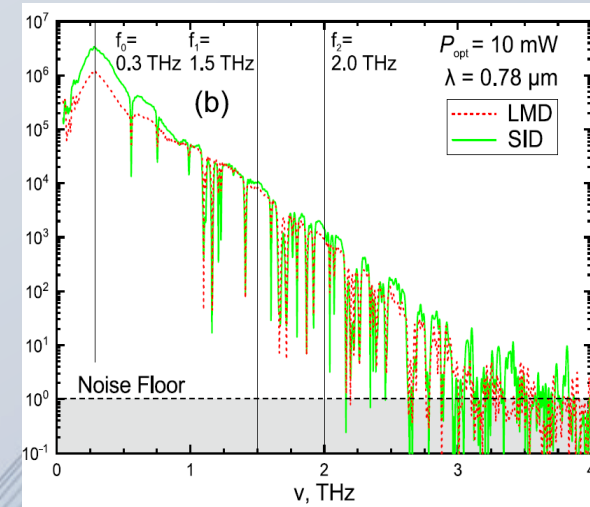


Рис. 1. Спектр детектируемого ТГц сигнала при использовании детектора на основе напряженной структуры (SID, зеленая кривая) и на основе традиционной структуры (LMD, красная кривая). Средняя мощность зондирующего импульса составляет $P_{\text{opt}} = 10$ мВт.

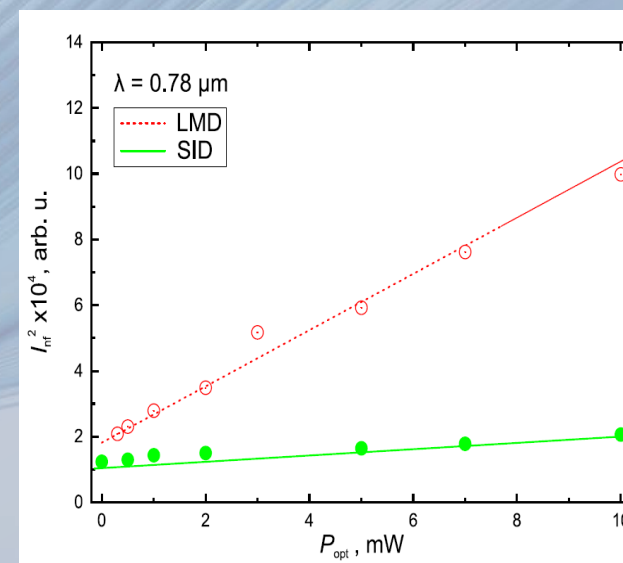


Рис. 2. Зависимость интегрального уровня шума в спектрометре I_{int} при использовании детектора на основе напряженной структуры (SID, зеленая кривая) и на основе традиционной структуры (LMD, красная кривая).

МИРЭА Российский технологический университет

Управление поляризацией терагерцевого излучения в спинтронном эмиттере со спин-переориентационным переходом (СПП)

Авторы: А.С. Сигов, Е.Д. Мишина, А.М. Буряков, Д.И. Хусяинов, С.В.Овчаренко

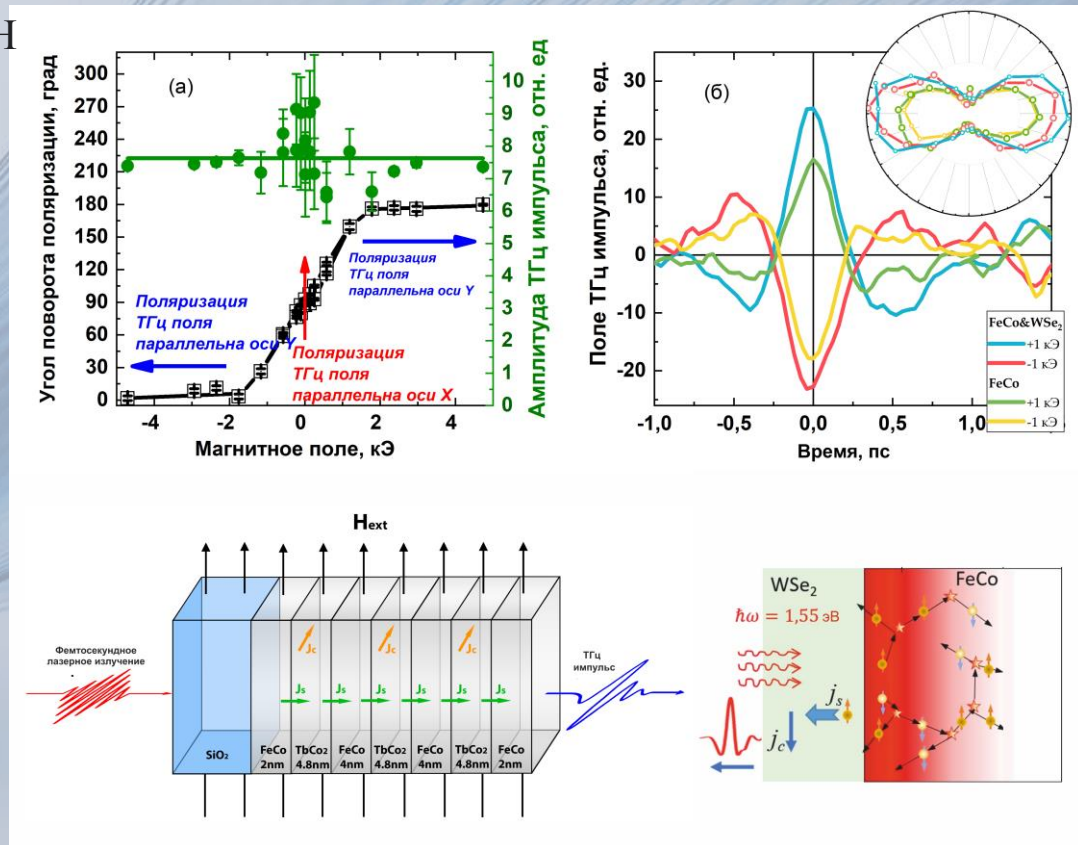
МИРЭА-Российский технологический университет

В.Л. Преображенский, Институт общей физики им.А.М.Прохорова РАН

Предложен новый тип управления поляризацией, реализованного непосредственно в спинтронном терагерцевом излучателе. Принцип управления основан на повороте намагниченности в интерметаллической гетероструктуре TbCo₂/FeCo с одноосной плоскостной магнитной анизотропией изменением только величины слабого магнитного поля при комнатной температуре.

Полученные результаты открывают перспективу активного применения материалов СПП для управление поляризацией ТГц излучения. Такое управление важно в целом для терагерцевой оптики.

Кроме того, в квантовых технологиях поляризация излучения рассматривается как «степень свободы», которая является одним из основных параметров, обеспечивающих эффективные квантовые вычисления.





Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН

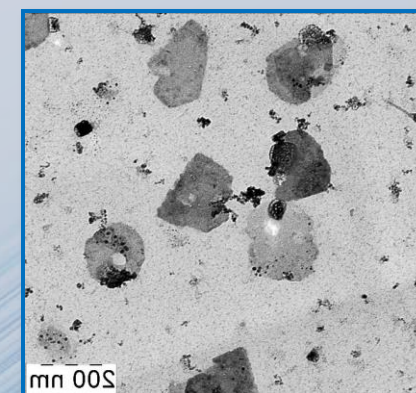
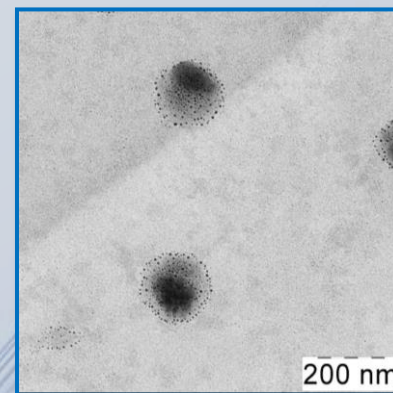
Нетепловое воздействие мощных электромагнитных импульсов на биологические среды

Авторы: Ю.В. Гуляев, В.А. Черепенин

Предложена и экспериментально продемонстрирована возможность раскрытия специально синтезированных везикул, используемых для адресной доставки лекарств, при помощи мощных электромагнитных импульсов наносекундной длительности. В отличие от химических методов раскрытия предложенный способ может быть более локализован вблизи места доставки, что важно для уменьшения побочных действий химических лекарственных веществ.

Нетепловое воздействие мощных электромагнитных импульсов может быть использовано также для повреждения биологических микроструктур, например вирусов или бактерий, в том числе болезнетворных. Таким образом, возможен **новый** энергосберегающий физический метод обеззараживания биологически загрязненных объектов.

РЕГИСТРАЦИЯ ЭФФЕКТА ДЕКАПСУЛЯЦИИ НАНОКОМПОЗИТНЫХ ЛИПОСОМ, СОДЕРЖАЩИХ НАНОЧАСТИЦЫ МАГНЕТИТА, МЕТОДАМИ ПЭМ



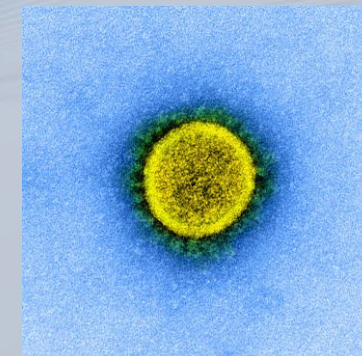
ПЭМ изображения нанокompозитных липосом до и после воздействия электрических импульсов

$$|E| \gg 10 \text{ кВ/см}$$

$$P_{\text{свч}} \rightarrow$$

$$\tau \leq 10 \text{ нс}$$

$$D \sim 100 \text{ нм} \quad \lambda \gg D$$



Институт проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов РАН

Инжиниринг многочисленных муаровых сверхрешеток в скрученном многослойном графене для приложений твистроники и стрейнтроники

Авторы: О.В. Кононенко, В.Н. Матвеев, А.В. Зотов, И.И. Ходос, В.И. Левашов, В.Т. Волков, Д.В. Рощупкин

Сверхрешетки Муара в 2D-материалах – перспективный инструмент для проектирования зонной структуры и электронных свойств материалов на наноуровне. Одной из задач в 2D-нанoeлектронике является получение наноматериала с множеством муаровых сверхрешеток с сохранением высокой подвижности носителей в стабильном и простом в изготовлении материале.

Продemonстрирована возможность синтеза скрученного многослойного графена (tMLG) с числом монослоев 40–250 и узкими диапазонами углов их закрутки (3–8°, 11–15° 26–30°). В tMLG наблюдается двумерный характер электронного транспорта, подвижность носителей достигает $100000 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$. Продemonстрировано присутствие множества муаровых сверхрешеток по всей толщине tMLG, периоды которых довольно близки друг к другу. Верхний и нижний слои защищают внутреннюю структуру tMLG от воздействия атмосферы и подложки. Это делает tMLG устойчивым к процессам изготовления устройств, упрощая исследования электронного поведения в зависимости от углов закручивания в этом наноматериале и открывая перспективы создания следующего поколения устройств для нанoeлектроники и твистроники на основе tMLG.

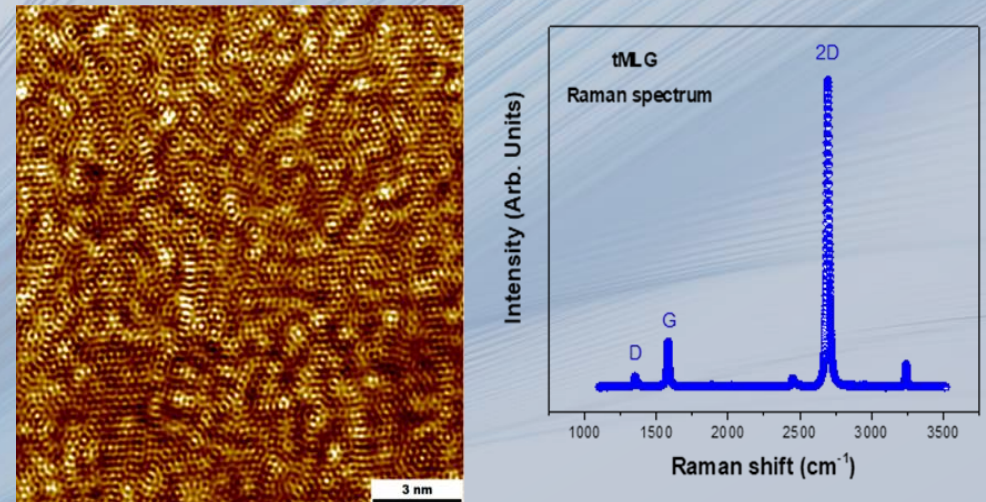


Рис. Слева – изображение сверхрешетки Муара, полученной с помощью обработки изображения tMLG, содержащей более 150 слоев графена, развернутых друг относительно друга на углы 26–30°, в просвечивающем микроскопе высокого разрешения. Справа – спектр комбинационного рассеяния, полученный в этой же области, демонстрирующий особенности, характерные для монослойного графена.

Институт проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов РАН

Резонансный УФ-датчик на основе наностержней ZnO/LCM

Авторы: Д.В. Рощупкин, А.Н. Редькин, Е.В. Емелин

Принцип работы датчика основан на десорбции кислорода с поверхности наностержней ZnO и увеличении концентрации зарядов под действием УФ-излучения, что приводит к увеличению емкости системы наностержни ZnO/LCM и соответствующему уменьшению резонансной частоты возбуждения резонатора LCM. Процесс является обратимым. Применение LCM связано с почти нулевым температурным коэффициентом частоты; позволяет использовать датчики для работы при высоких температурах. Использование наностержней ZnO вместо пленок позволяет повысить чувствительность датчика УФ излучения за счет увеличения поверхности, на которой происходит десорбция кислорода под воздействием УФ излучения. Поскольку пьезоэлектрические модули кристаллов лангасита превышают соответствующие значения в кристаллах кварца, в будущем возможно внедрение беспроводных датчиков УФ излучения.

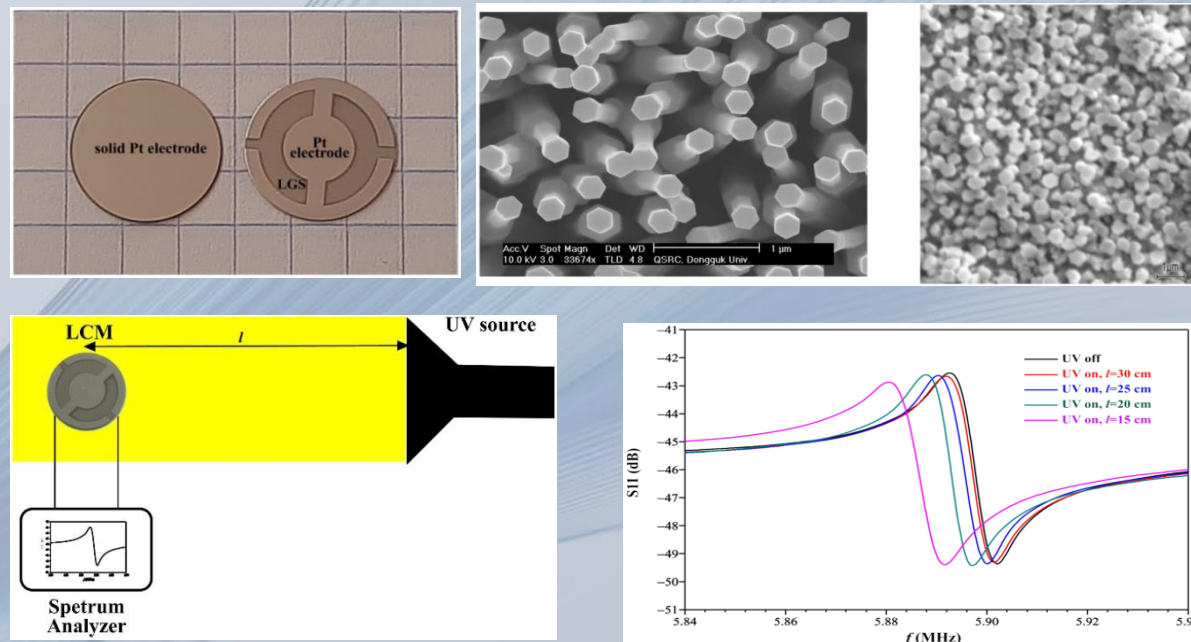


Рис. Сверху – изображение LCM датчика с Pt электродами и наностержней ZnO, выращенных на поверхности Pt электрода.

Снизу – экспериментальная схема для исследования характеристик сенсора и изменение характеристик S11 сенсора ZnO/LCM от расстояния до источника УФ излучения.

Институт аналитического приборостроения РАН

Приборы для комплексного генетического анализа проб

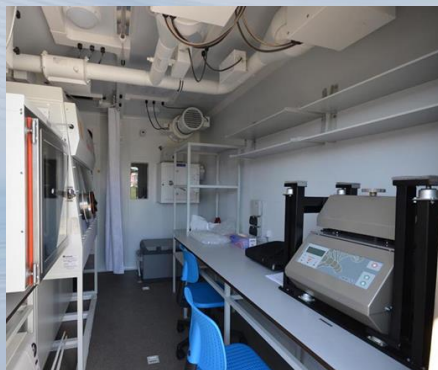
Коллектив авторов под руководством д.т.н., проф. В.Е. Курочкина

Создан действующий образец мобильной лаборатории для комплексного генетического анализа проб окружающей среды, в том числе биологического происхождения. Данная лаборатория была успешно применена в 2016 году, при ликвидации последствий вспышки сибирской язвы на полуострове Ямал.

Лаборатория оснащена приборами, разработанными в ИАП РАН: АНК 32М, генетический анализатор Нанофор 05, комплекс КВНК. Данное оборудование обеспечивает выделение, инактивацию возбудителей, их обнаружение и определение видовой принадлежности.

В 2021 году оснащено 20 мобильных лабораторий.

К настоящему времени всего выпущено 100 генетических анализаторов Нанофор 05.



Мобильная лаборатория, на базе «КАМАЗа»

Институт автоматики и процессов управления Дальневосточного отделения РАН

Природоподобная технология биоминерализации

В ИАПУ ДВО РАН, совместно с ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, ИХ ДВО РАН и ИЛ СО РАН впервые в мире выполнены междисциплинарные исследования, в ходе которых детально исследованы оптические, нелинейно оптические, биологические и биохимические характеристики глубоководных стеклянных морских губок (ГСМГ), в результате чего был открыт и изучен новый вид природных фотонных кристаллов – спикулы морских губок и развита теория их функционирования. Были выделены белки силикатеины, ответственные за процесс природной биоминерализации при формировании скелета губок. Проведено исследование генетической структуры белков LoSilA1, LoSilA2, LoSilA3, LoSilB и осуществлены клонирование генов и наработка рекомбинантных белков силикатеинов с использованием трансгенных растений табака и штаммов бактерии *Escherichia coli*. На основе полученных данных проведены биохимическое и биологическое моделирование природного процесса биосилификации. Результаты исследований заложили основы для создания новой природоподобной технологии синтеза силикатных материалов для фотоники, нанoeлектроники и медицины.

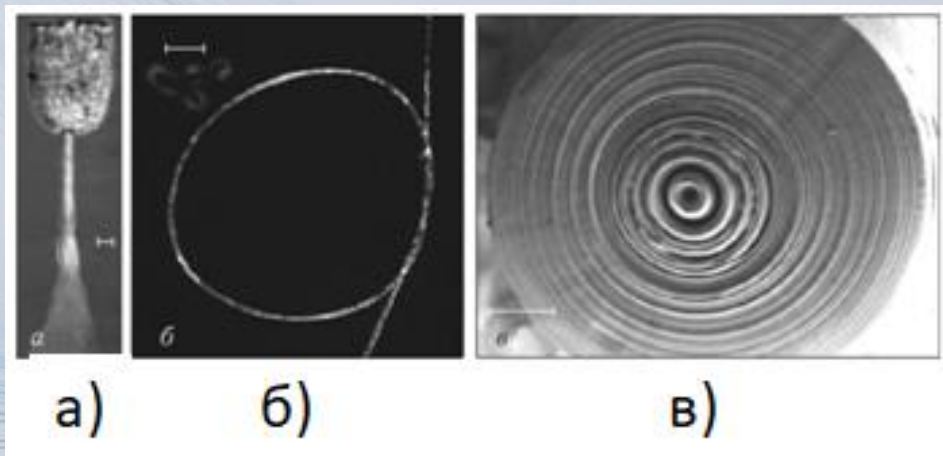


Рис.1 а)-Фотография ГСМГ *Hyalonema sieboldy* (масштаб 1 см) и б)- фрагмента ее базальной спикулы (масштаб 1 мм), а также СЭМ-фотография обработанного торца спикулы (увеличение 1157 раз) (v).

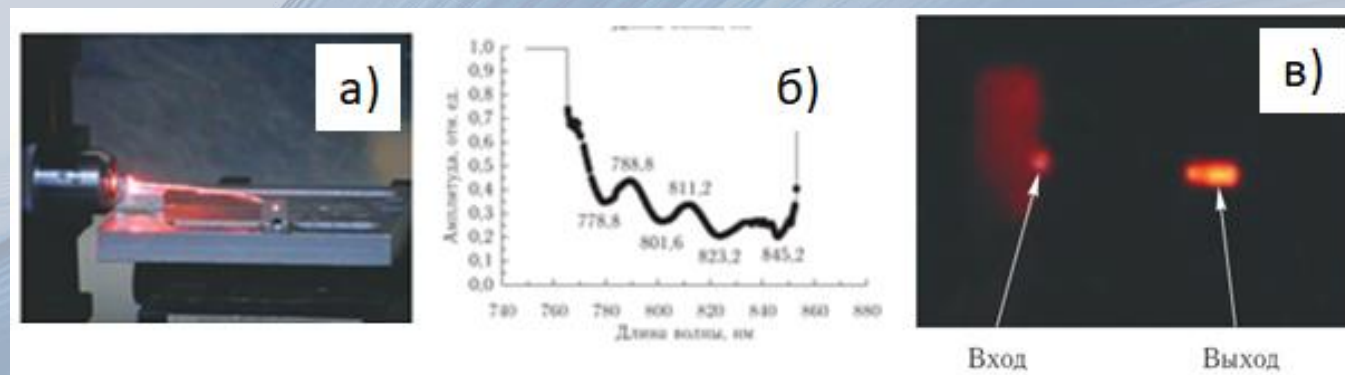


Рис.2. а) – демонстрация световедущих свойств спикул ГСМГ; б) – экспериментальное подтверждение наличия запрещенных фотонно-кристаллических зон для спикул; в) – демонстрация нелинейно-оптической генерации суперконтинуума при прохождении через спикулу лазерного импульса.

Аэрозольные нанобиокомпозиции против Covid-19

Конвергентный подход к противодействию Covid-19

Разработан новый патогенетический подход и стратегия лечебной профилактики Covid-19 путем направленного повышения устойчивости (толерантности) основных физиологических функций легких человека при контакте с новыми опасными штамми коронавируса [1].

Цель – устранить окислительные, метаболические и спастические изменения в гладкомышечных и эндотелиальных клетках терминальных отделов респираторного тракта, вызываемые быстрым тканевым накоплением **ангиотензина II** в процессе взаимодействия вирусов типа SARS-CoV-2 с ангиотензинпревращающим ферментом 2 типа (АПФ2).

Аэрозольная медикаментозная профилактика Covid-19

Проведена апробация аэрозольного способа направленной доставки наноконпозиции простых биологически активных молекул (безопасных лекарственных средств) для медикаментозной профилактики Covid-19.* Эффективность аэрозольной профилактики составила **78%** по показателю снижения риска в группе участников относительно группы сравнения из общего числа медицинских работников Ковид-центра СЗГМУ им. И.И. Мечникова Минздрава России, осуществлявших деятельность в условиях высокого риска заражения SARS-CoV-2 с 01.06.2020 по 10.07.2020 [2].

1 Дубина М.В., Моисеенко Ф.В., Богданов А.А. **Патогенез вирусных заболеваний как сфера конвергенции нанотехнологий и медицины** (доклад). Научная сессия ОНИТ РАН и ОМедН РАН «Нанотехнологии и информационные технологии для эффективного противодействия COVID-19 и другим новым опасным инфекциям». *Российская Академия наук*. 06.04.2021.

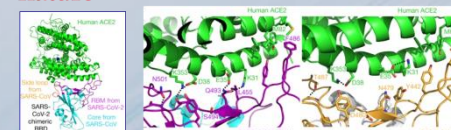
2 Dubina MV, Gomonova VV, Taraskina AE, Vasilyeva NV, Sayganov SA. **Pathogenesis-based preexposure prophylaxis associated with a low risk of SARS-CoV-2 infection in healthcare workers at a designated COVID-19 hospital: a pilot study**. *BMC Infectious Diseases*. 2021;21:536. doi:10.1186/s12879-021-06241-1

* Данное малоинтервенционное клиническое исследование проведено в рамках постановления Правительства Российской Федерации от 06.04.2020 № 441.

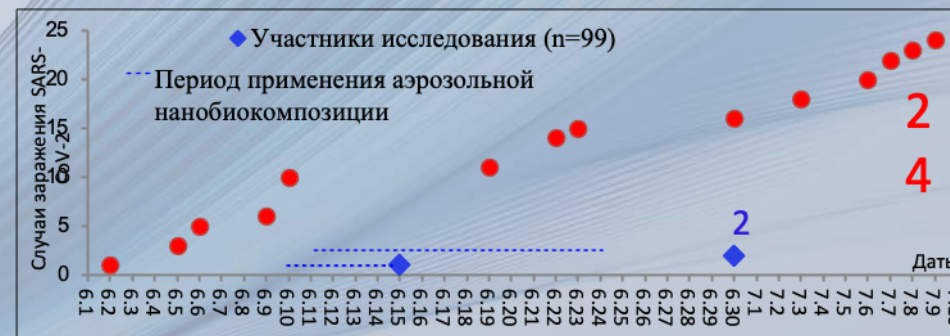
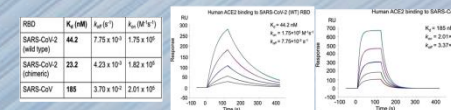
Патогенез вирусных заболеваний • общее представление



Взаимодействие SARS-CoV-2 с рецептором АПФ2



Структурные изменения в сайте связывания SARS-CoV-2 с рецептором АПФ2 по сравнению с вирусом SARS-CoV определяются участком из четырех аминокислот (482–485: **Gly-Met-Glu-Gly**). Это создает условия для более плотного взаимодействия вирусного участка связывания с N-спиралью АПФ2. РНК-белок SARS-CoV-2 встраивается в гидрофобный карман АПФ2, тогда как соответствующий Leu472 SARS-CoV, вероятно, формирует более слабую связь с АПФ2.



Спасибо за внимание!