

Технологические возможности НПК «Технологический центр» в области интегральной фотоники

Директор,
член корр. РАН, д.ф.-м.н.
Светухин Вячеслав Викторович

К.т.н., начальник научно-исследовательской лаборатории перспективных процессов
Кицюк Евгений Павлович

Историческая справка

НПК «Технологический центр» основан в июне 1988 года, в настоящее время является Федеральным государственным бюджетным научным учреждением, подведомственным Министерству образования и науки Российской Федерации.

В 1994 г. постановлением Правительства Российской Федерации организации присвоен статус **Государственного научного центра**, который сохраняется и по настоящее время.



Основные направления деятельности

- научные исследования и разработки;
- подготовка кадров в части обеспечения производственной практики студентов;
- производство изделий микроэлектроники, микро- и наносистемной техники, фотоники.

Историческая справка



1988 г. - основан как университетский исследовательский центр Московского института электронной техники.

1989 г. - запуск основного комплекса технологического оборудования.

1994 г. - присвоен статус Государственного научного центра РФ в области микроэлектроники.

1999 г. - начата отгрузка микросхем категории качества «ВП».

2000 г. - преобразован в самостоятельное федеральное государственное бюджетное учреждение.

2000 – 2022 гг. - разработано более 1100 типонаименований изделий



Основные направления научно-исследовательской деятельности

Основные направления деятельности

- научные исследования и разработки;
- подготовка кадров в части обеспечения производственной практики студентов;
- производство изделий микроэлектроники, микро- и наносистемной техники, фотоники.

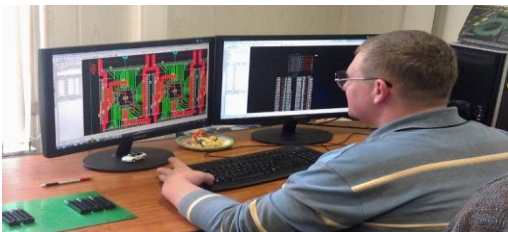
Структура:

- Отдел интегральных микросхем
- Отдел микросистемной техники
- Отдел разработок «систем на кристалле»
- Научно-исследовательская лаборатория микросистем и микроэлектронной аппаратуры
- Научно-исследовательская лаборатория перспективных процессов
- Научно-исследовательская лаборатория интегральных биохимических наносенсоров
- Опытное производство

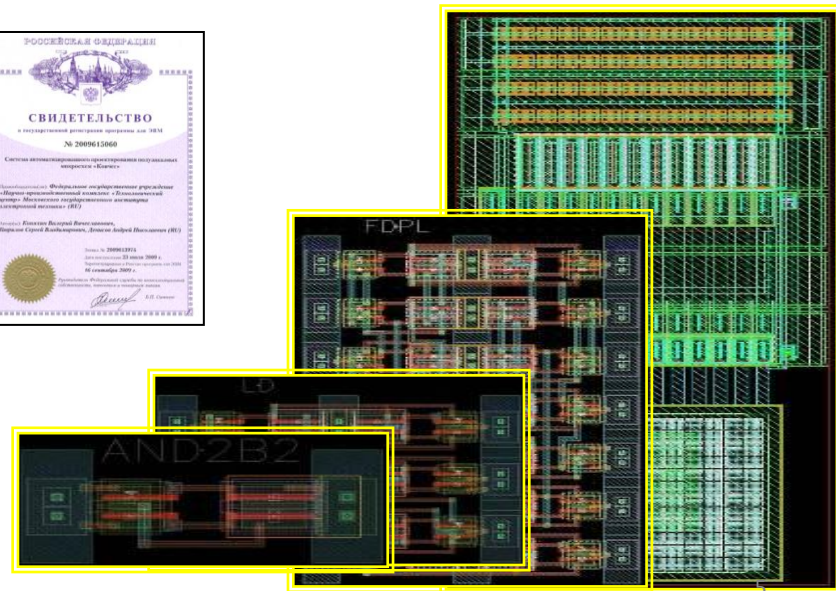
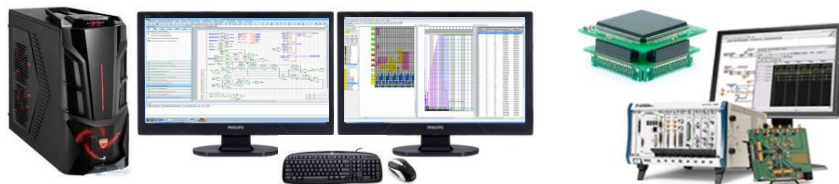
Отдел интегральных микросхем

CMOS и SOI CMOS технологии 65 нм-1,5 мкм

- разработка современных конструктивно-технологических базисов для реализации перспективной элементной базы
- разработка, освоение и сопровождение в производстве специализированных микросхем
- разработка, освоение и сопровождение в производстве БМК и полужаказных микросхем



Средства технологического моделирования



САПР «Ковчег»

❖ САПР «Ковчег 3.0» (для серий БМК 5503 и 5507):

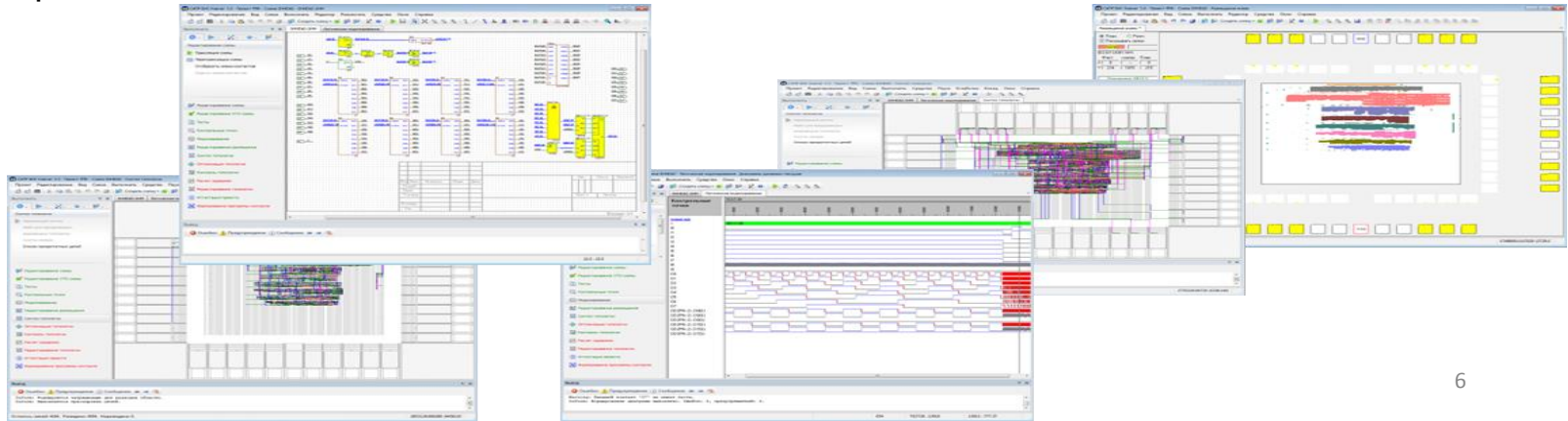
- распространение через сайт ASIC.RU
- 4 книги + инсталляционный диск

MPW-сервис

❖ САПР «Ковчег 4.*» для новых серий БМК до 4 млн. вентиляей:

- синтез схем с языка высокого уровня (System Verilog) в RTL
- покрытие RTL – описания библиотечными элементами
- разработка топологии в формате GDSII
- реализация моделирования на поведенческом уровне и уровне RTL

❖ Параметризованная библиотека, пригодная для сторонних САПР и позволяющая осуществлять синтез электрической схемы БИС в базис библиотек БМК.



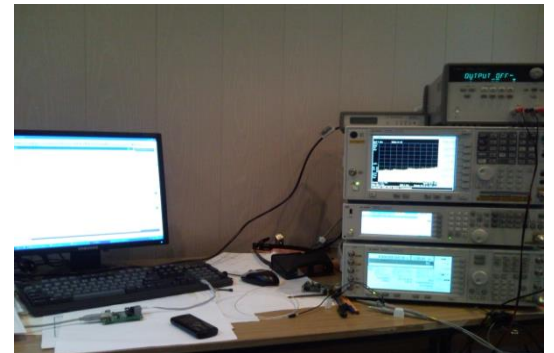
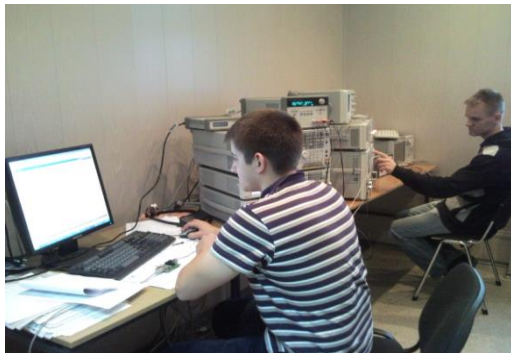
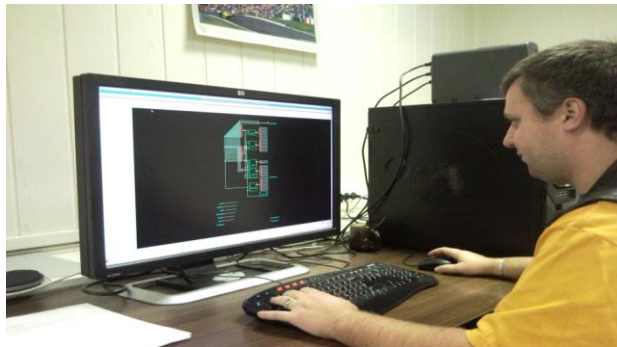
Отдел разработок «систем на кристалле»

Направления деятельности: исследования и разработки СБИС СНК, в том числе:

- СБИС обработки и преобразования аналоговой информации;
- СБИС радиочастотных трансиверов для работы в диапазоне частот 140 - 940 МГц;
- СБИС обработки цифровой информации;
- СБИС малопотребляющих аналого-цифровых «систем на кристалле» с применением 8-разрядных процессоров для обработки сигналов с датчиков.

Оснащение:

- специализированное измерительное и аналитическое оборудование фирмы Agilent для измерений и исследований цифровых и аналоговых СБИС СНК на частотах до 10 ГГц.



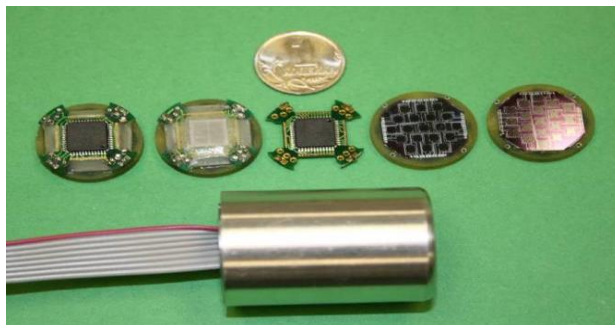
Научно-исследовательская лаборатория микросистем и микроэлектронной аппаратуры

Направление разработок:

- Исследования и разработки в области микроэлектронных модулей, микросборок и аппаратуры

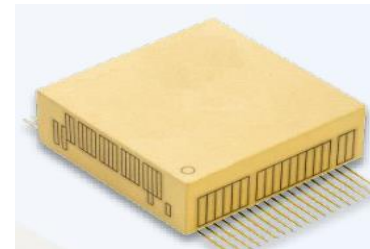


Конструктивные исполнения
первичных преобразователей
давления



Эндосхирургические тактильные
механорецепторы

Модули МПДМ-19 на основе матричувствительных элементов давления (золотая медаль Европейского Салона изобретений Иннов 2012, Золотой Чип 2013)

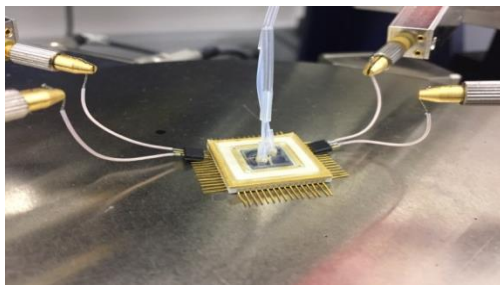
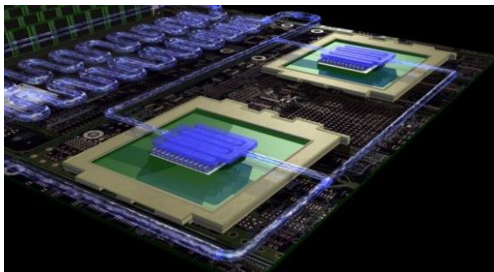


3D сборка интеллектуальных
силовых ключей

Научно-исследовательская лаборатория интегральных биохимических наносенсоров

Направление разработок:

- Создание аналитических систем «лаборатория на чипе» на основе гетерогенных биосенсоров



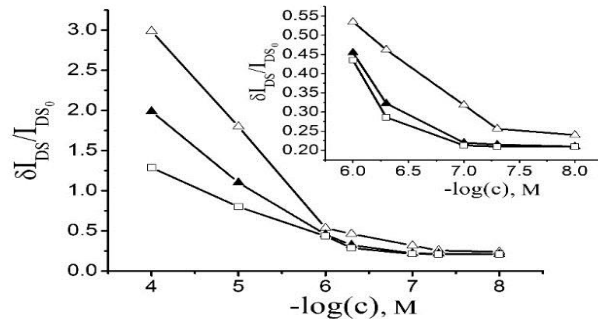
Химические сенсоры на основе:

- Ферментативных реакций
- ДНК-аптамеров
- ДНК-ДНК взаимодействий
- Ионофоров



Типы кристаллов с полевыми структурами - сенсорами:

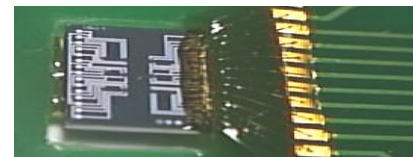
- Одиночные КНИ, SiO₂
- Одиночные КНИ, плавающий Ta затвор
- КНИ, плавающий Ta затвор для анализа газовых смесей
- Объемный кремний, плавающий Ta затвор, матрица, интегрированная с обработкой сигнала



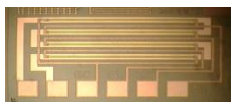
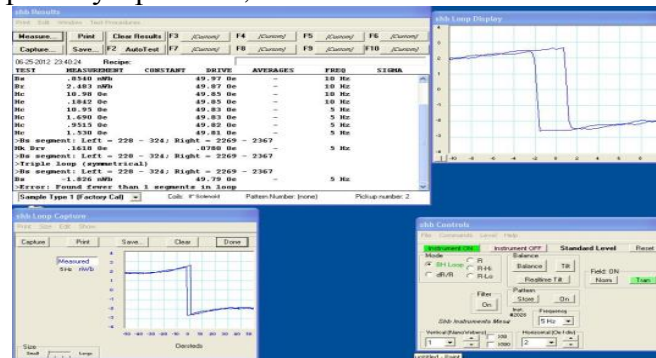
Δ - параоксон, \blacktriangle – паратион,
 \square – метилпаратион.

Отдел микросистемной техники

Исследования и разработки конструкций и технологий изготовления магнитополупроводниковых нано- и микросистем (биосенсорных устройств, датчиков и преобразователей магнитного поля и тока и т. д.)



- × а
- × а – преобразователь магнитного поля на основе анизотропного магниторезистивного эффекта;
- × б – экспериментальный образец магниторезистивного чипа биосенсорного устройства;

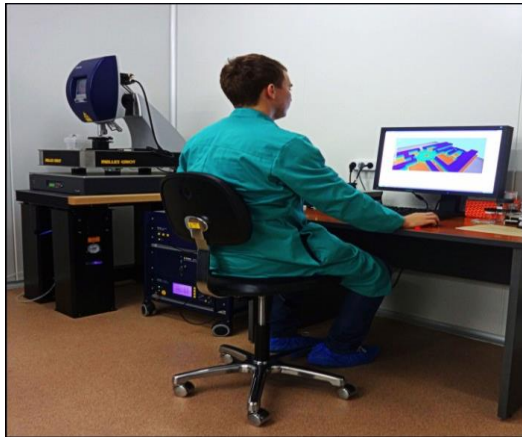


Датчики и преобразователи магнитного поля

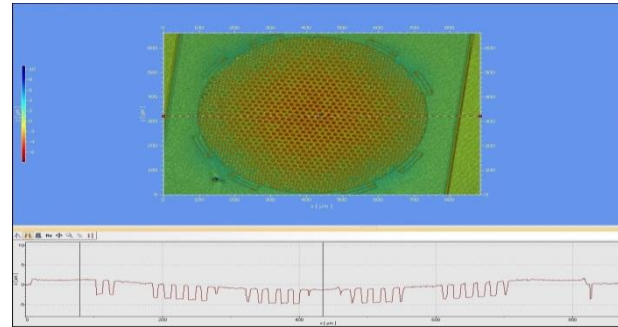
Петля гистерезиса тонкопленочной ферромагнитной наноструктуры, полученная на установке MESA-200

Отдел микросистемной техники

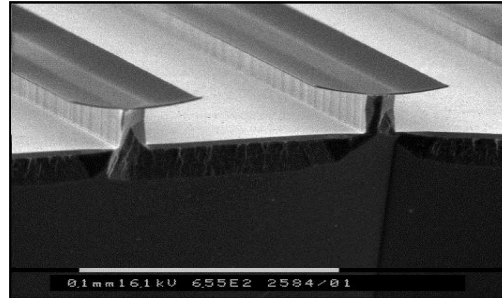
Направление исследований и разработок: организация и проведение работ в части разработки конструкций и технологий изготовления нано- и микроэлектромеханических систем.



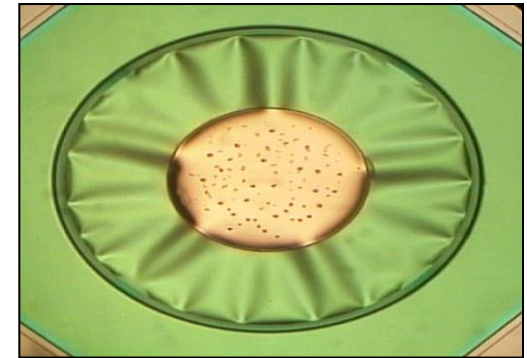
Анализатор микросистем
MSA-500 фирмы Polytec



Исследование топографии
микроструктуры МЭМС микрофона

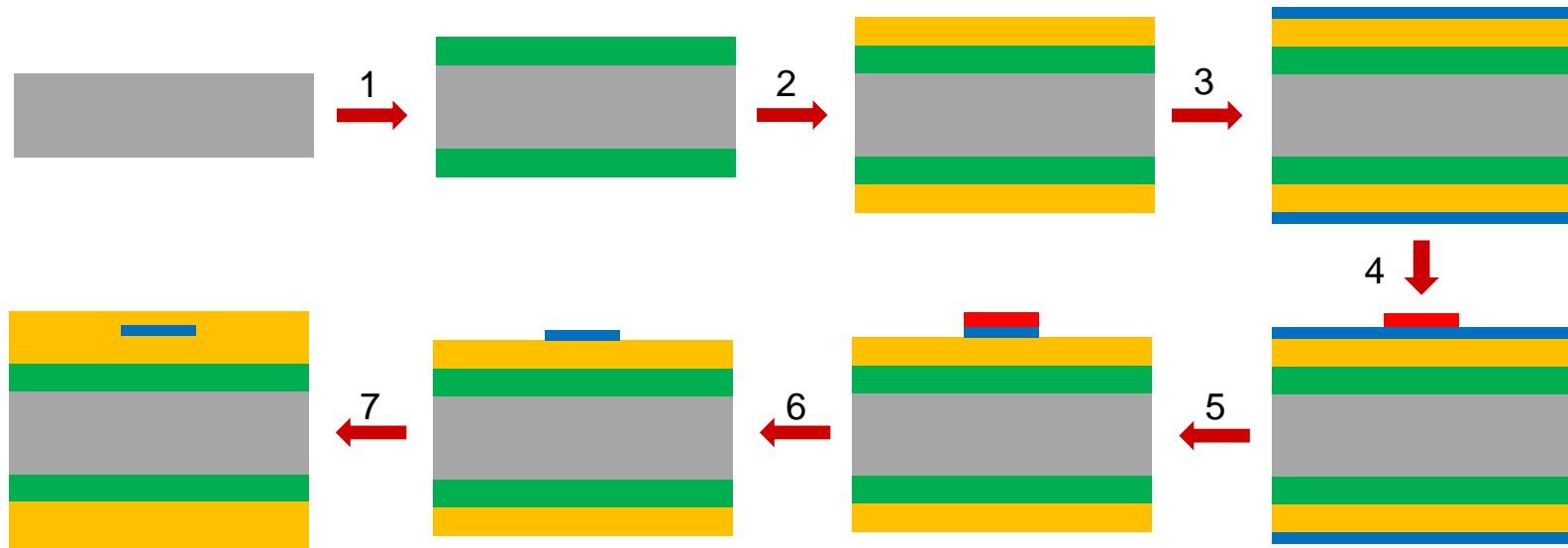


Фотоснимок формы микроканалов
кремниевого микрофлюидного чипа



Оптический
преобразователь
акустического давления
 $S > 100 \text{ нм/Па}$

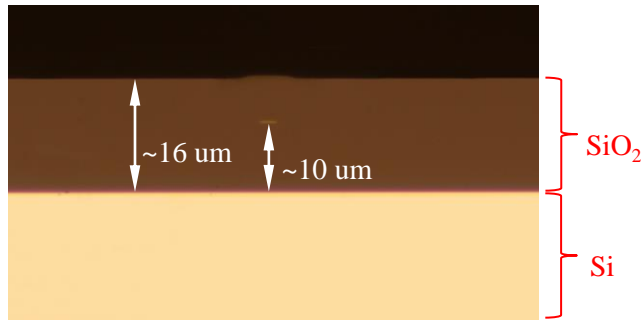
Технология интегрального оптического волновода (ИОВ) на основе Si_3N_4



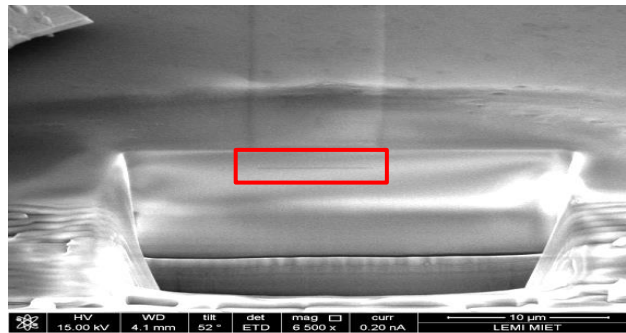
■ Si ■ SiO_2 ■ SiO_2 (ТЭОС) ■ Si_3N_4 ■ ф/р-маска

1 – окисление Si; 2 – осаждение SiO_2 ; 3 – осаждение Si_3N_4 ; 4 – Ф/л по лицевой стороне; 5 – ПХТ Si_3N_4 с лицевой и обратной сторон; 6 – снятие ф/р-маски; 7 – осаждение SiO_2

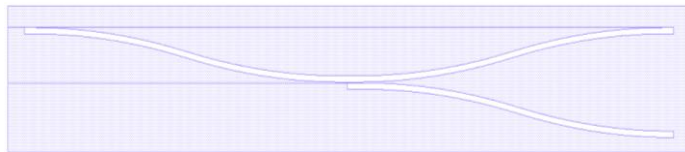
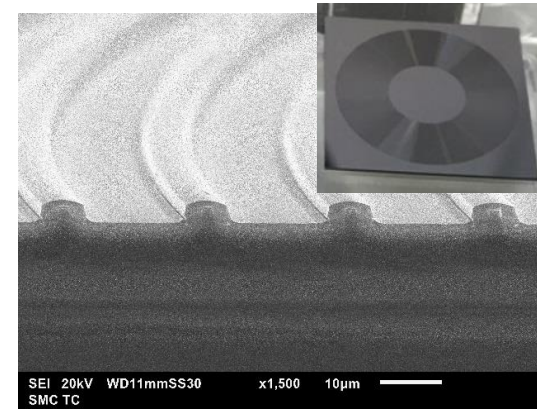
Структура интегрального оптического волновода



Сечение торца интегрального Si₃N₄ волновода после полировки



РЭМ снимок волновода из Si₃N₄

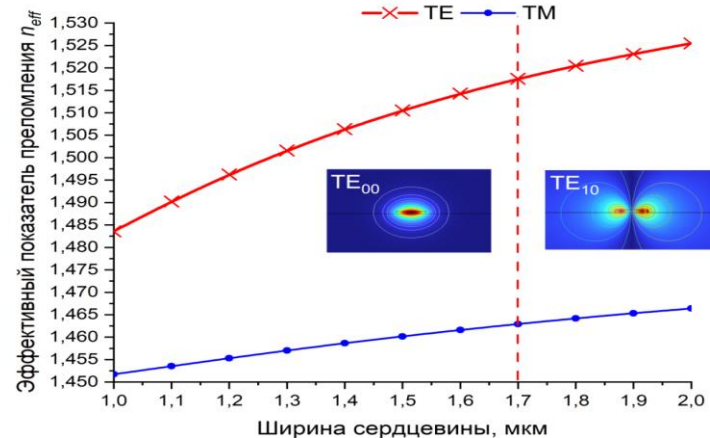
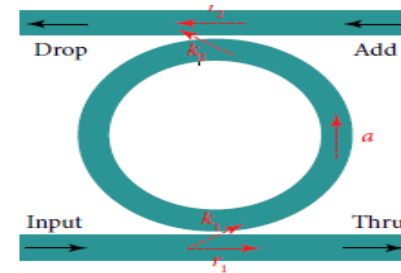
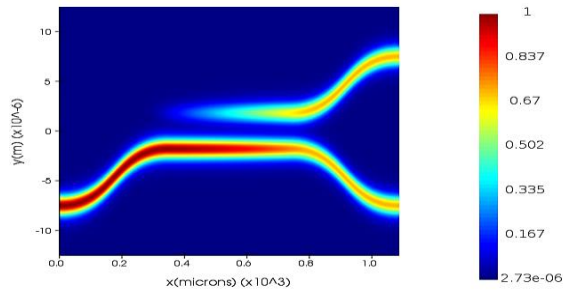
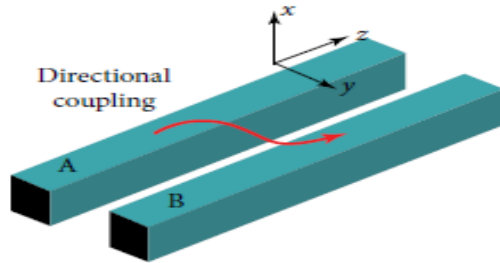


Топология ИОВ поляризатора TE, TM мод



Топология ИОВ X-разветвителя

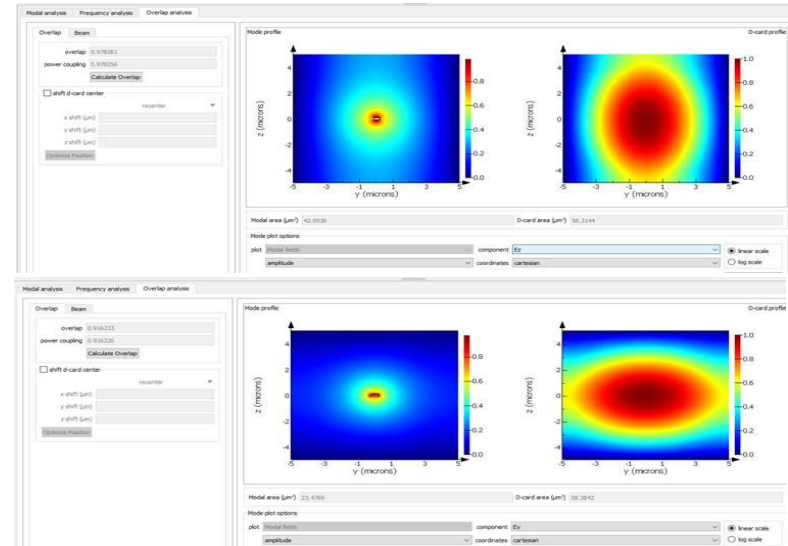
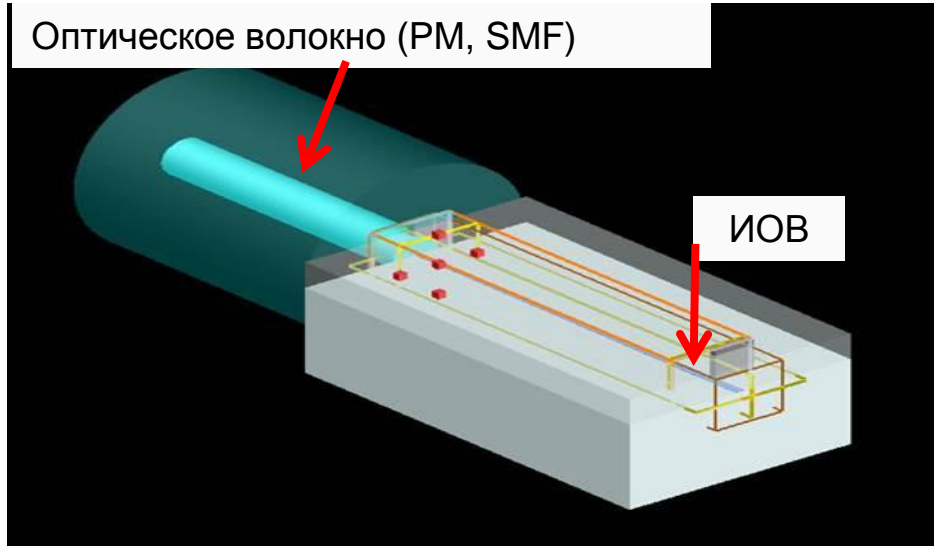
Моделирование интегральных оптических элементов и схем на основе ИОВ



Основное ПО для расчета и проектирования:

- Comsol (Пакет WaveOptics).
- Lumerical (Ansys).
- Cadence Photonics Virtuoso.

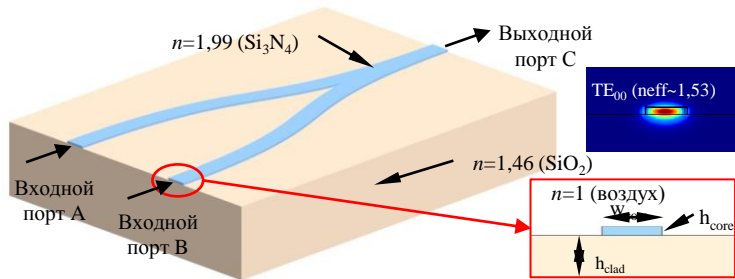
Моделирование ввода излучения в ИОВ



Распределение модовых полей в тейпированном ИОВ и ОВ (ТМ – верх, ТЕ-низ)

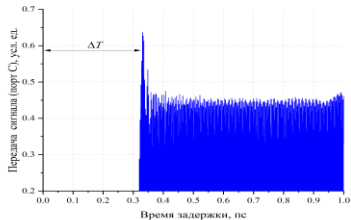
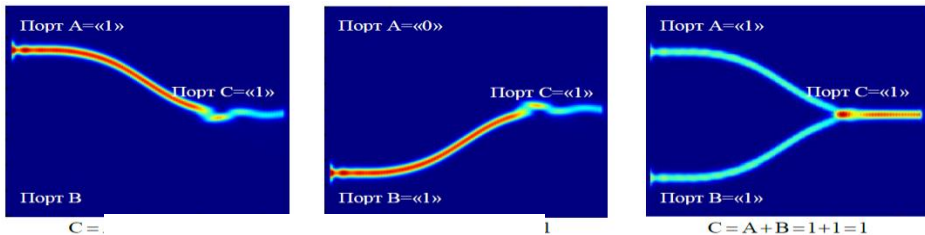
Оптические логические элементы (ОЛЭ)

ОЛЭ на Y-образном волноводном сумматоре

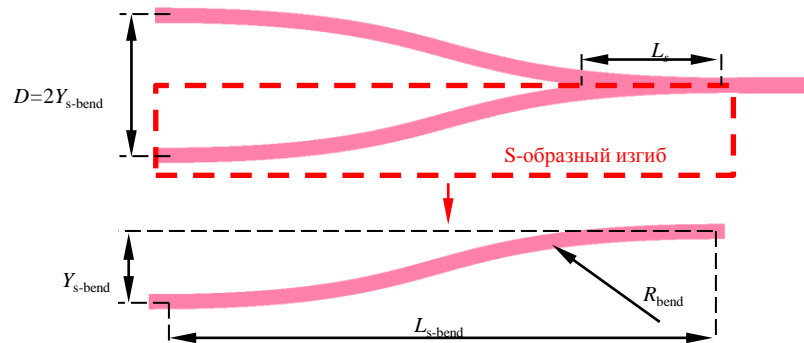


Структура и поперечное сечение оптического логического элемента на Y-образного волноводном сумматоре

Функции «ИЛИ»:

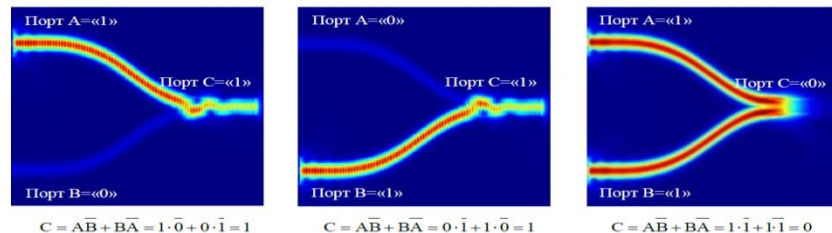


Время задержки: 0,33 пс

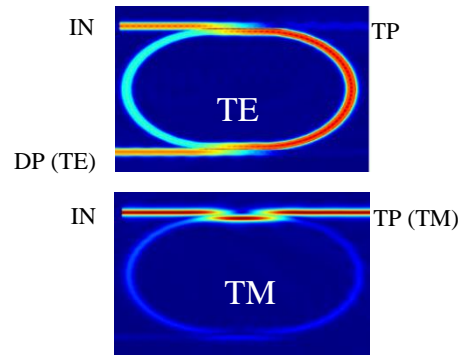
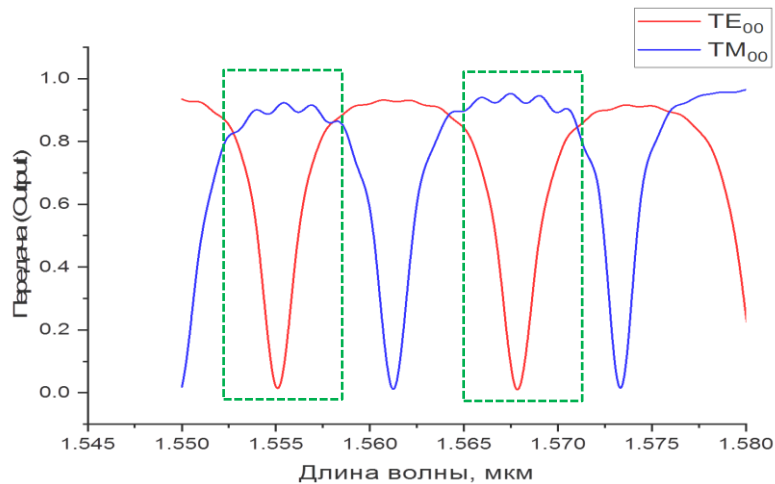
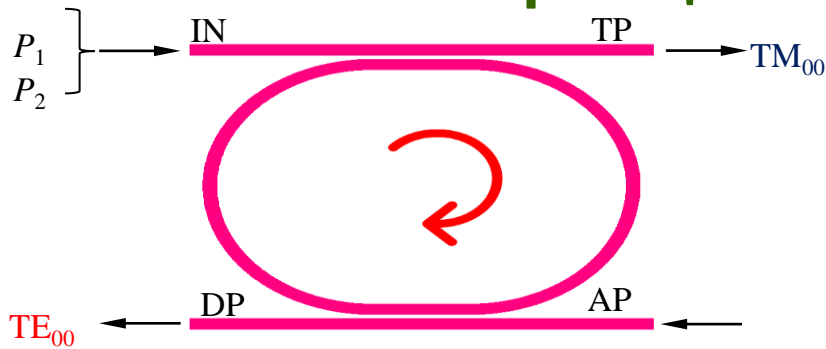


Параметры оптического логического элемента на Y-образного волноводе: $D=2Y_{s-bend}$ – расстояние между входными плечами; L_s – длина выходного прямолинейного волновода; R_{bend} – минимальный радиус изгиба

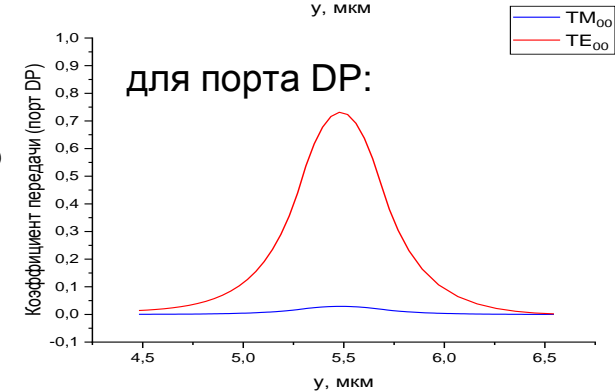
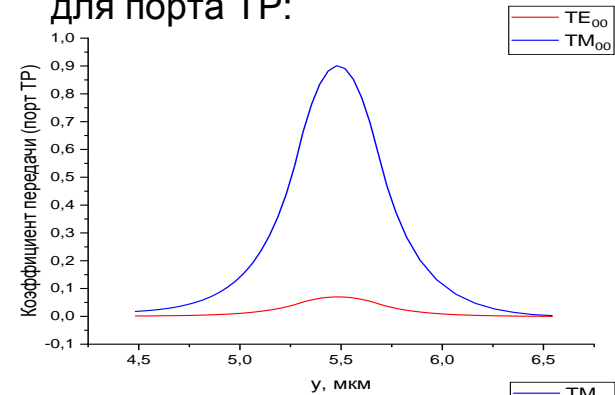
Функции «исключающее ИЛИ»:



ОЛЭ с поляризационными составляющими

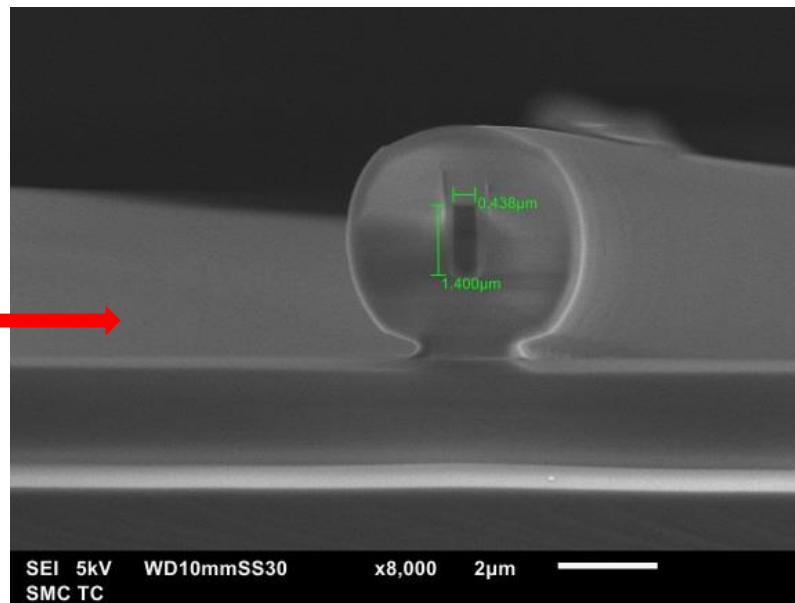
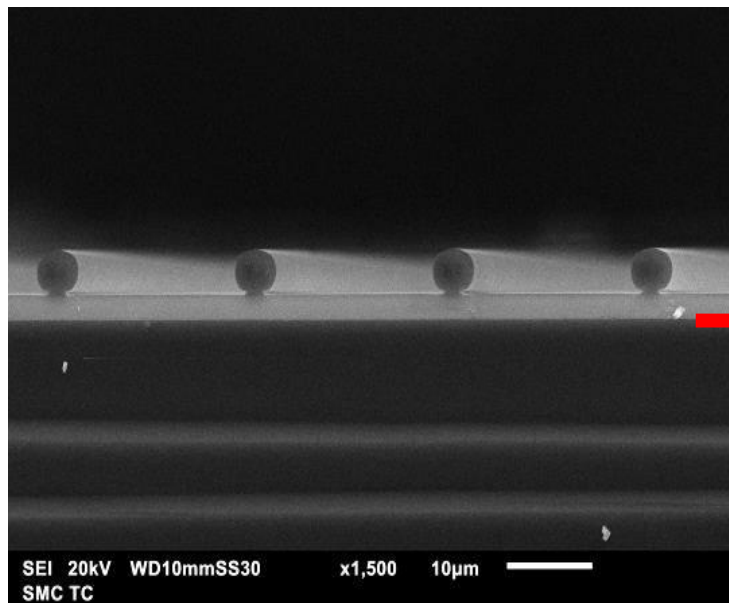


Спектр передачи выходного сигнала для порта TP:

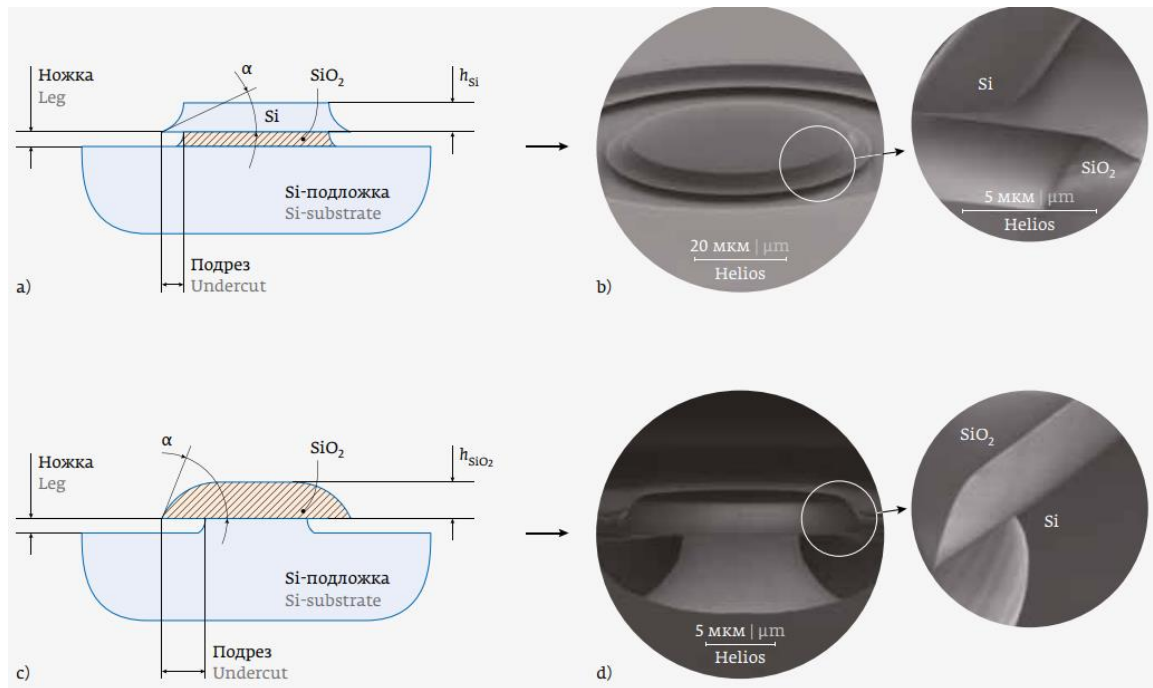


Спектр передачи выходного порта TP для сигналов с TE_{00} и TM_{00} поляризациями

Интегрально-оптические волноводы на основе Si с оболочкой из SiO₂



Мезоструктуры оптических резонаторов



Мезоструктуры оптических резонаторов для режима МШГ : а), с) – эскизы поперечного сечения мезоструктур со световодным слоем из кремния и оксида кремния соответственно; b), d) – РЭМ снимки изготовленных образцов со световодным слоем из кремния и оксида кремния соответственно

Инструментальная и приборная база для исследования ИОВ



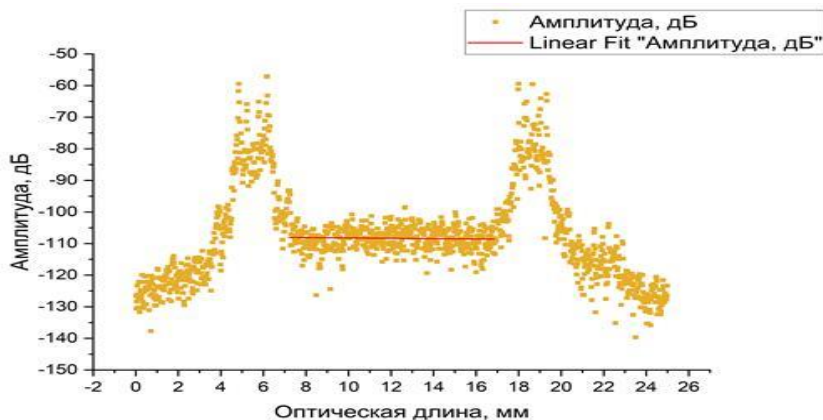
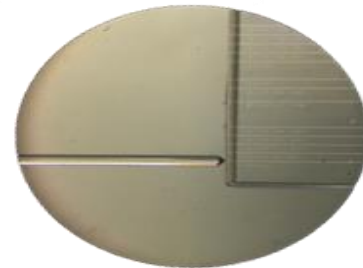
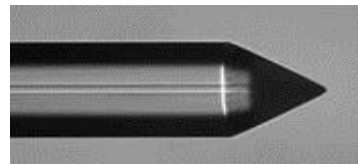
Рефлектометр
Luna OBR 5T-50



6-осевой комплекс юстировки оптического волокна фирмы Luminos (Канада)

- Диапазон перемещение Z ось – 12,7 мм;
- Диапазон перемещение Y ось – 2,5 мм;
- Диапазон перемещение X ось – 2,5 мм;
- Диапазон перемещение (поворот) – $\pm 1,5^\circ$;
- Диапазон перемещение (рысканье) – $\pm 1,5^\circ$;
- Диапазон перемещение (тангаж) – $\pm 1,5^\circ$;
- Разрешение Z ось – 50 нм;
- Разрешение Y ось – 50 нм;
- Разрешение X ось – 50 нм;

Методика измерения планарных интегрально-оптических ВОЛНОВОДОВ



Значение потерь на
линейном участке ИОВ 10
мм = 0,4 дБ

Измерение параметров ФИС

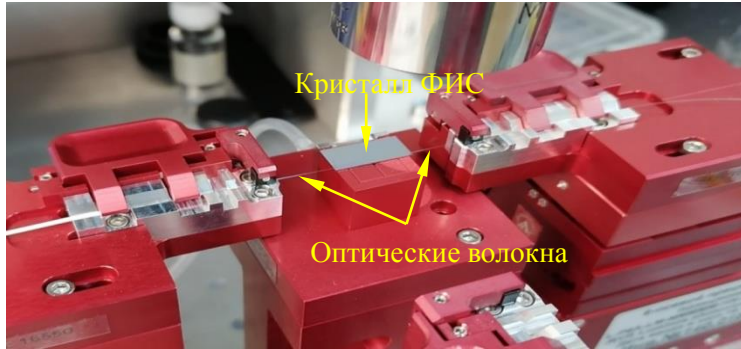
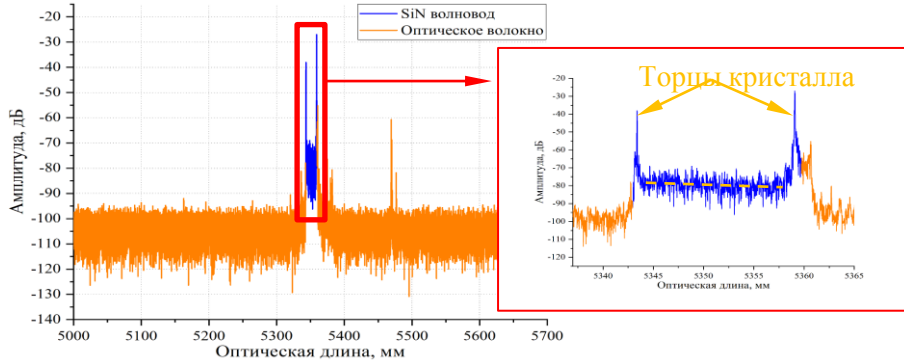
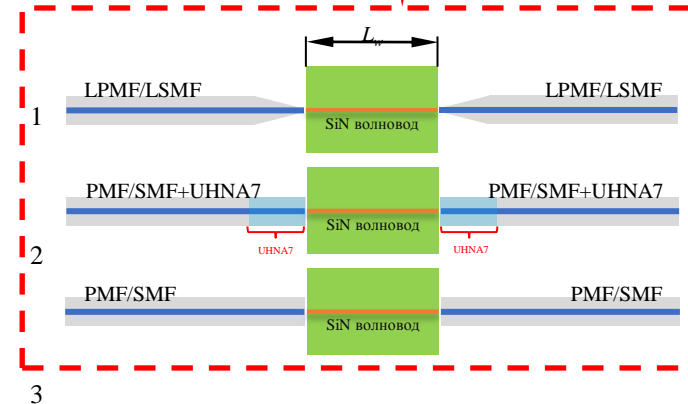
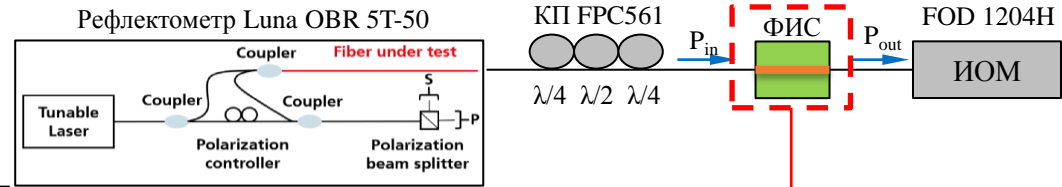


Фото комплекса юстировки с одиночными держателями оптических волокон для измерения параметров ФИС торцевым методом

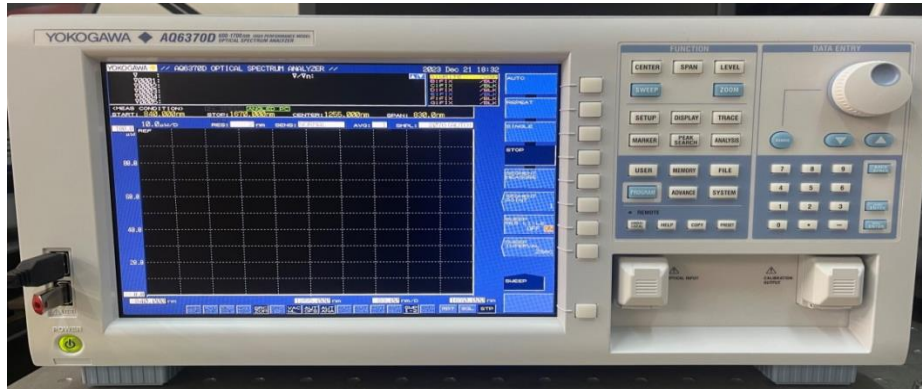


Метод оптической частотной рефлектометрии (OFDR) для оценки потерь в ФИС

Схема измерения оптических потерь при торцевой стыковке с ФИС методом OFDR для различных оптических волокон



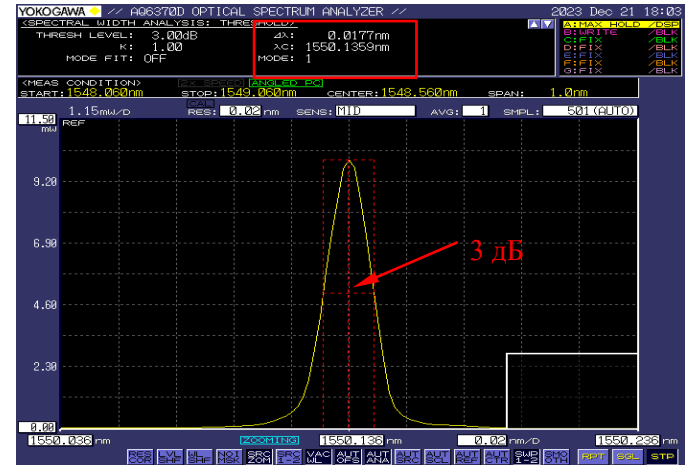
Анализатор оптического спектра



Анализатор оптического спектра YOKOGAWA AQ6370D

- Диапазон измеряемых длин волн: от 600 до 1700 нм.
- Точность измерения длины волны: $\pm 0,01$ нм.
- Разрешение по длине волны: 0,02 нм.
- Динамический диапазон: 78 дБ.
- Диапазон уровня мощности: от +20 до -90 дБм.
- Скорость измерения: 0,2 с (100 нм импульс).
- Работа с одномодовыми и многомодовыми волокнами.

Прецизионное измерение и отображение распределения мощности оптического излучения (оптического спектра) в заданном диапазоне длин волн.



Измерение ширины спектра выходного сигнала (P_{out}) на уровне 3 дБ

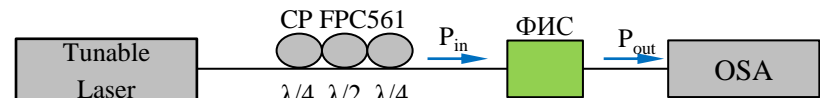
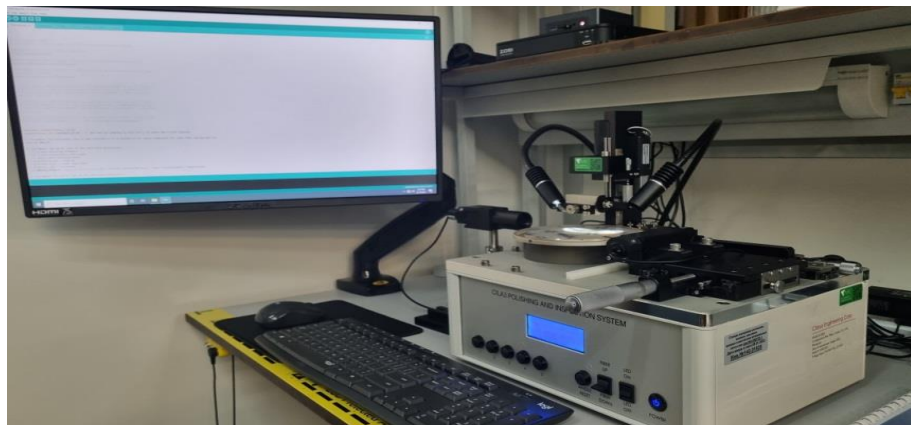


Схема измерения ФИС

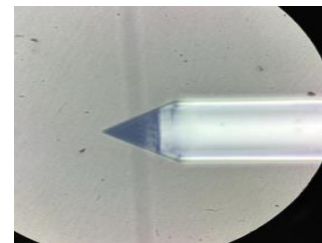
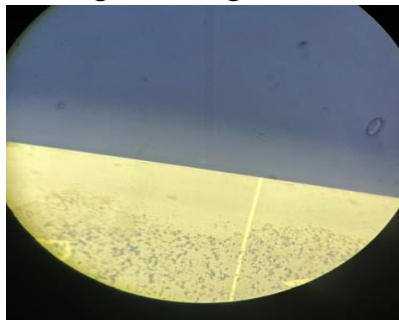
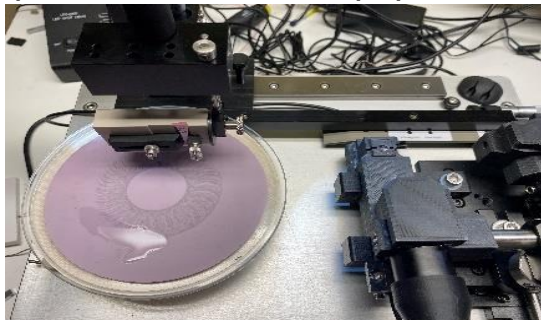
Подготовка оптического волокна к стыковке с ИОВ



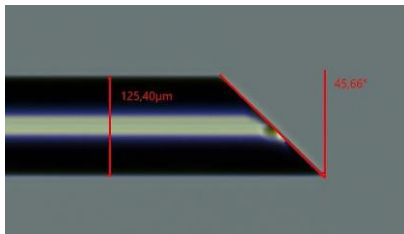
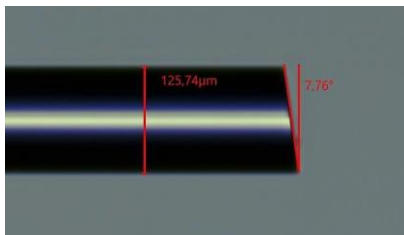
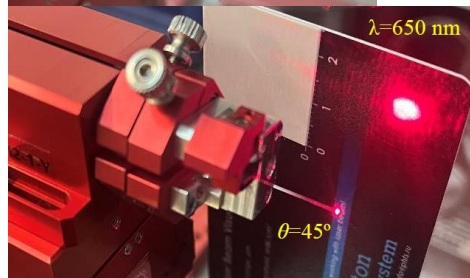
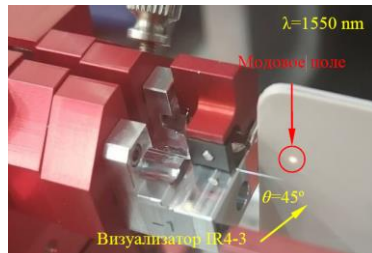
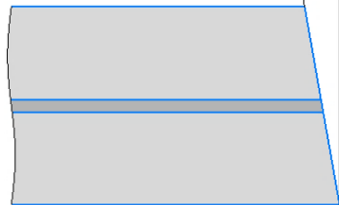
Ключевые особенности станции полировки:

- Поддержка однопозиционной полировки волокон.
- Система видеонаблюдения с высоким разрешением для мониторинга и контроля процессов.
- Угловая точность: $\pm 0,5^\circ$, линейная точность: ± 5 мкм
- Точная регулировка угла от 0 до 82° с цифровым считыванием.
- Фацетная, точеная и другая сложная торцевая полировка.

Станция полировки оптического волокна и кристаллов Cila 3.0 фирмы Clarus Engineering

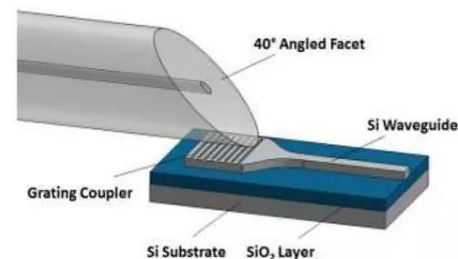
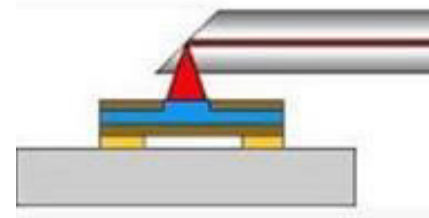


Волокно с угловой полировкой торца

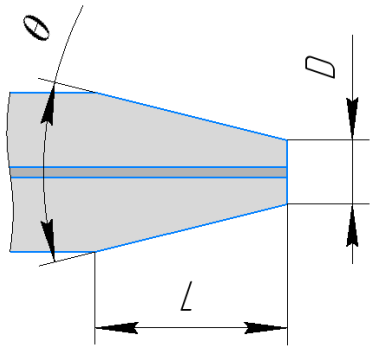


Угол наклона полировки (θ): $(2-50) \pm 1^\circ$;
Обратные потери (RL)* для $\theta=8^\circ$: $\sim 55\text{ дБ}$;
(RL)* для $\theta=45^\circ$: $\sim 24\text{ дБ}$;
Минимальная длина зачищенного участка:
от 20 мм.

- Оптическое сопряжение с фотонными интегральными схемами (ФИС), фотодиодами и лазерными диодами.
- Применение в медицинской технике и оптогенетике.



Коническое волокно



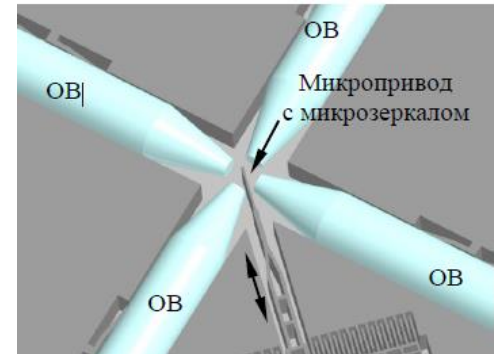
Угол полировки конуса (θ): $(24-90) \pm 2^\circ$;

Обратные потери (RL)*: ~ 14 дБ;

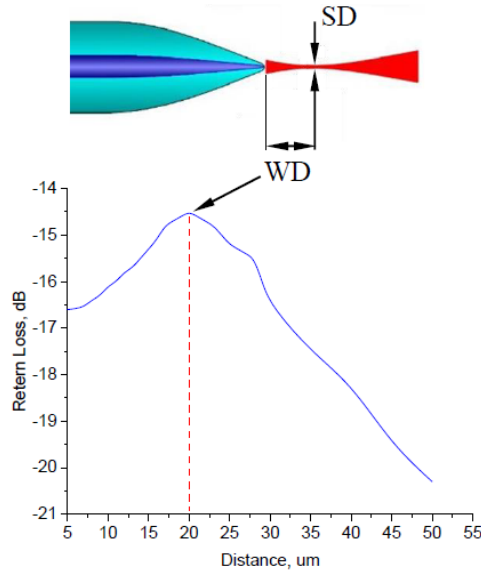
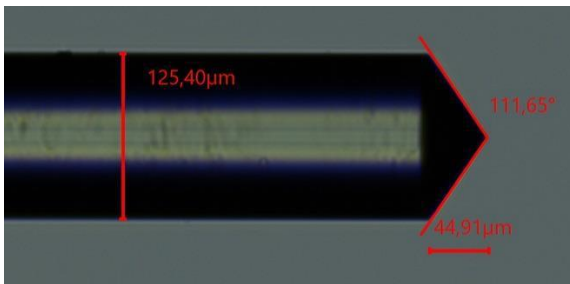
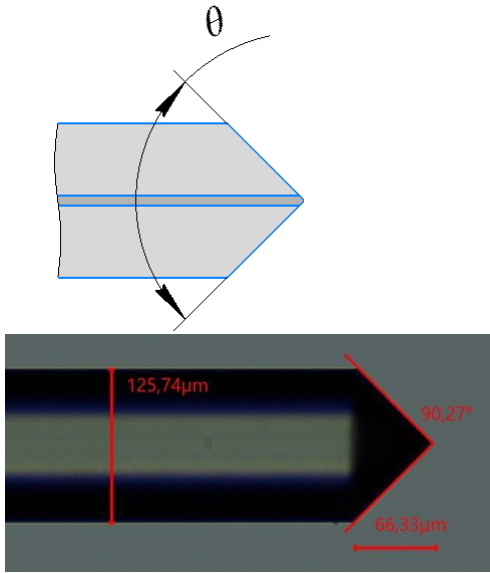
Длина конического участка (L): определяется углом конуса и требуемым диаметром торца;

Диаметр торца (D): определяется длиной и углом полировки.

Применение в оптических МЭМС/НМЭМС устройства (акселерометры, переключатели, аттенюаторы и т.п.)

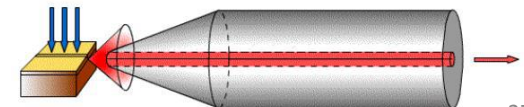


Линзованное волокно



Угол полировки конуса (θ): $(60-120) \pm 2^\circ$;
Обратные потери (RL)*: ~ 20 дБ;
Диаметр модового поля (SD): 2,5-8 мкм;
Рабочее расстояние (WD): 5-30 мкм.

- Оптическое сопряжение с фотонными интегральными схемами (ФИС), фотодиодами и лазерными диодами (согласование оптической моды в волокне с модой интегрального волновода, активной областью фотодиода и лазера).
- В качестве чувствительного элемента для волоконно-оптических датчиков.
- Оптические зонды для онтогенетики.

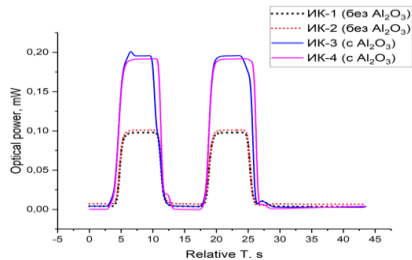
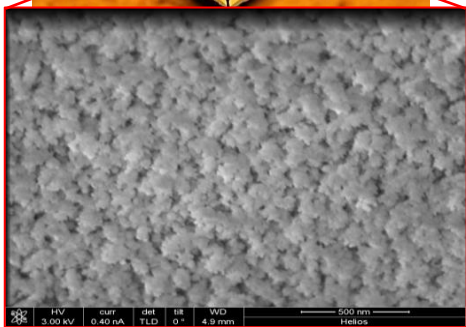
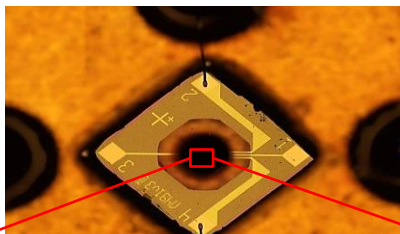
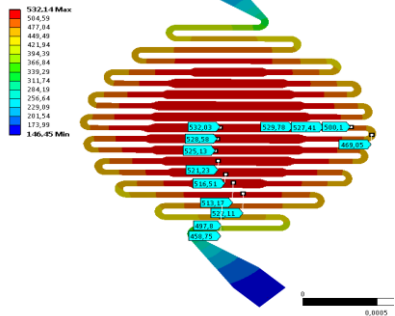


Исследования конструктивно-технологических методов создания малоинерционных резистивных ИК-источников излучения в диапазоне длин волн от 1 до 20 мкм

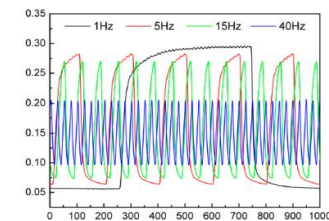
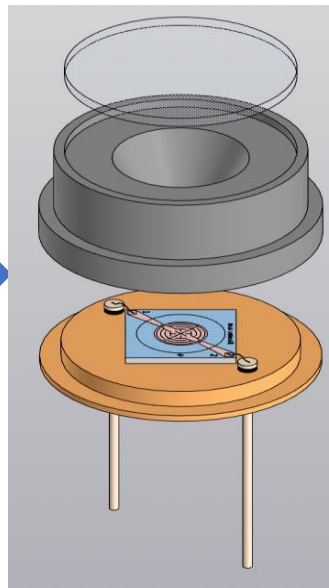
Исследование эмиссионных покрытий

Оптимизация конструкции ИК-излучателя

© Full view 3. kover2
Temperature
Type: Temperature
Units: °C
Time: 1
14.04.2023 15:57



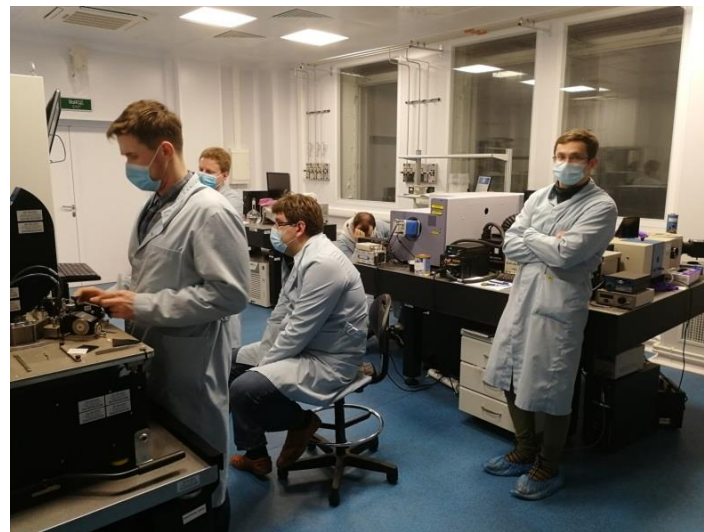
Изготовление, сборка и исследование параметров ИК-излучателя



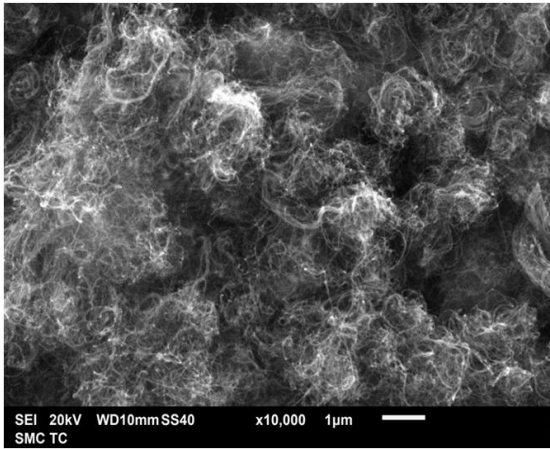
Научно-исследовательская лаборатория перспективных процессов (НИЛ ПП)

Основные направления деятельности

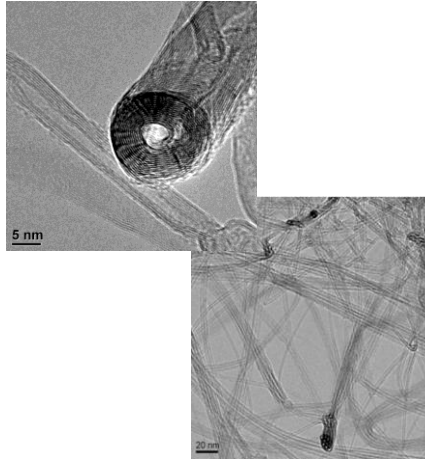
1. Исследование и разработка новых технологических процессов по созданию углеродных наноматериалов и формированию структур на их основе
2. Поиск, моделирование и разработка новых устройств, функционирующих на базе наноматериалов
3. Исследование характеристик и свойств создаваемых объектов



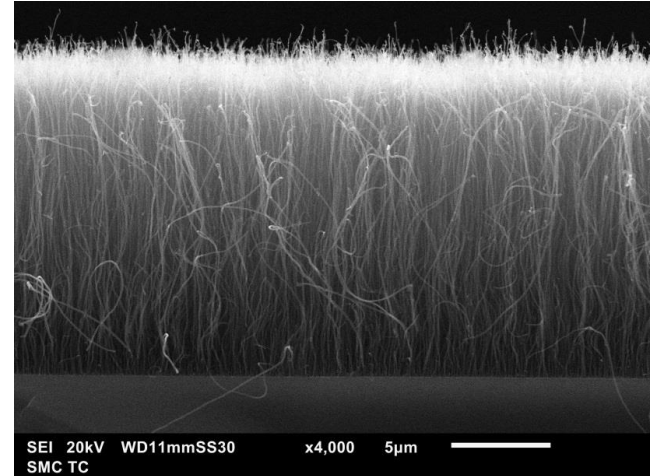
Технологии синтеза углеродных наноматериалов



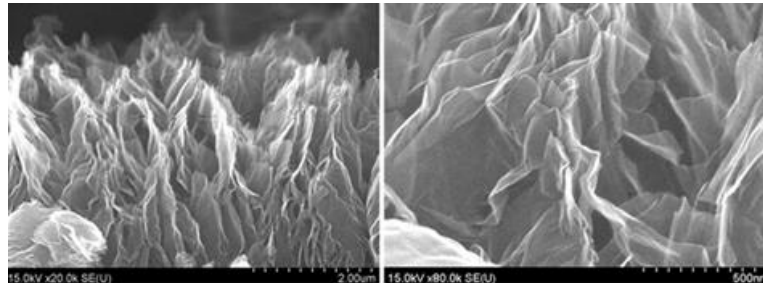
CVD синтез



ПЭМ изображения ДУНТ

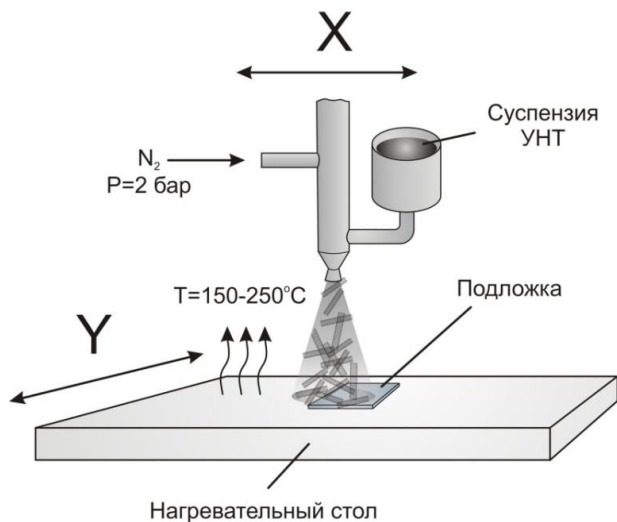


PECVD синтез
массивов

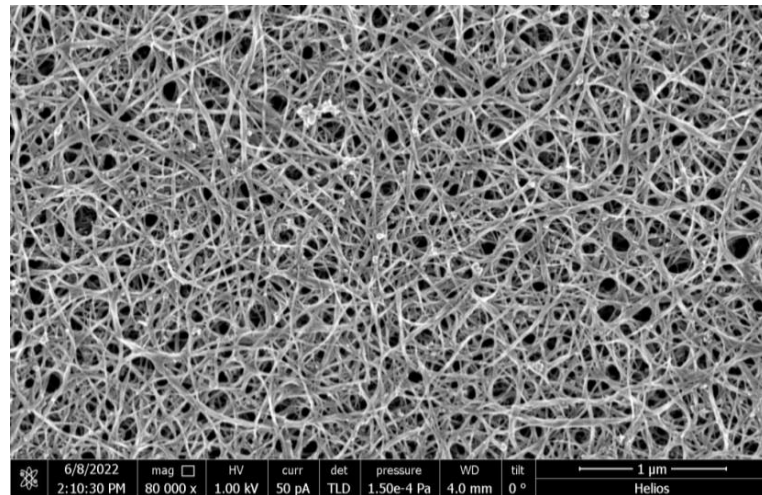


Получение графена по методу Хаммерса

Осаждение УНТ



Нанесение УНТ спрей-методом



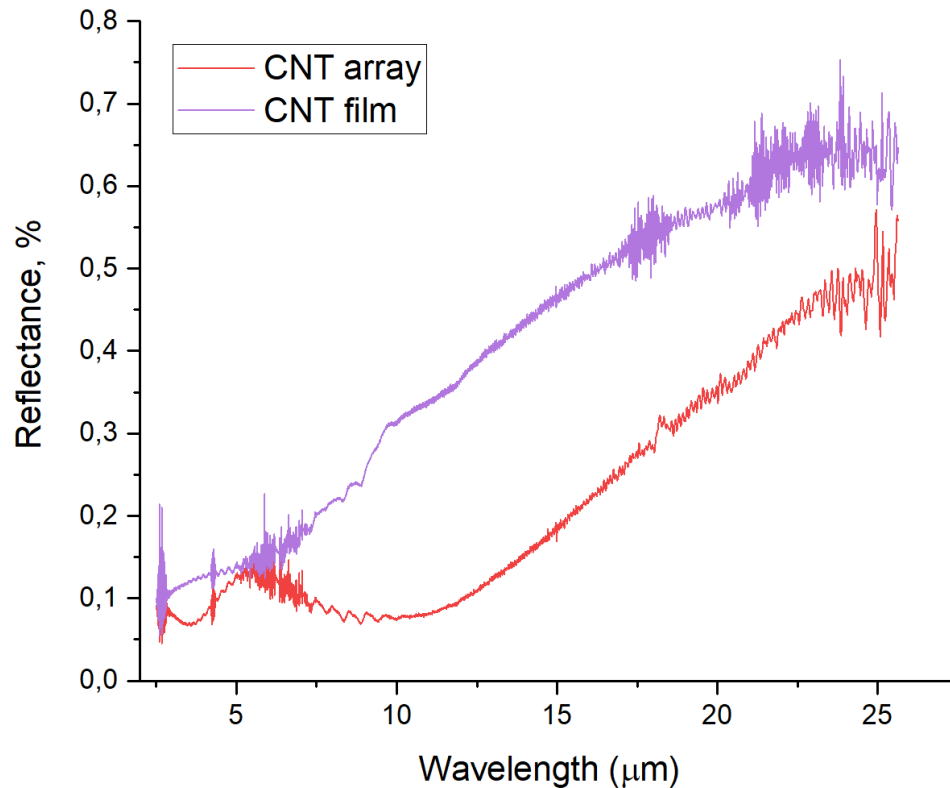
РЭМ спрей-слоя УНТ

Исходная суспензия ОУНТ: 62 % УНТ с металлическим типом проводимости и 38 % – с полупроводниковым.

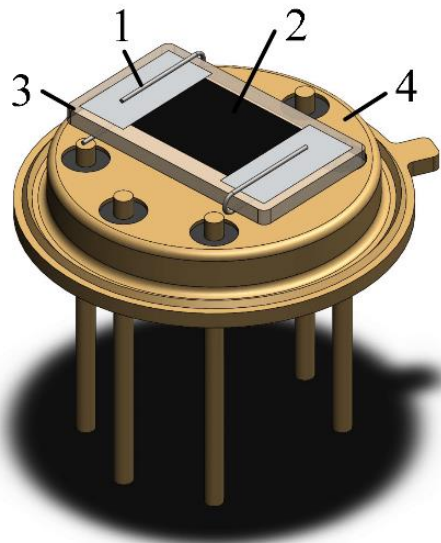
Суспензия ОУНТ после прохождения через наполнитель S-200 - 92 % металлических, 8 % – полупроводники.

Суспензия ОУНТ, полученная после элюирования - 3 % металлических, 97 % полупроводниковых ОУНТ.

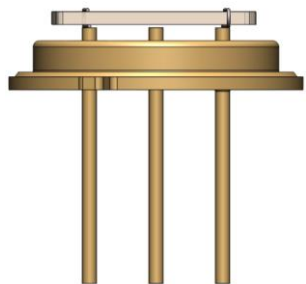
Поглощение ИК излучения УНТ



Измерения проведены методом ИК-Фурье спектроскопии

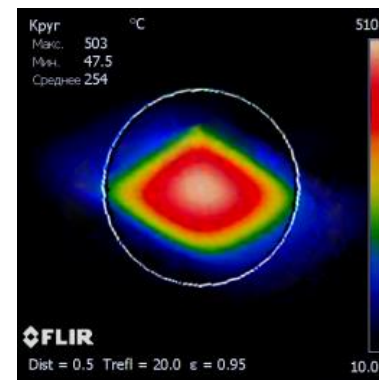


Конструкция ИК источника



Трёхмерная модель ИК источника;
 1 – алюминиевая проволока, 2 – рабочая область пленки УНТ, 3 – конденсаторная слюда марки СНЧ, 4 – корпус ТО39-114.

Слой УНТ: 2,5 мм*4 мм*1 мкм
 Подложка: слюда, 6,2 мм* 3,6 мм*50 мкм
 Контакты: алюминий, 0,5 мкм
 Клей: «Контактол»



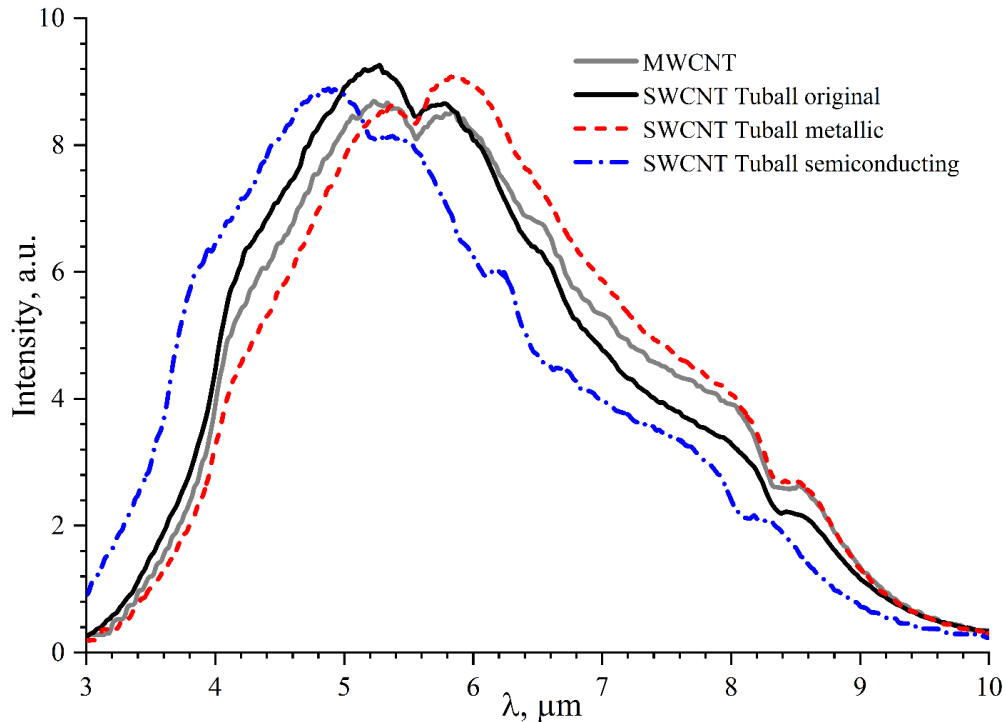
Макет, фото и тепловизионный снимок в процессе измерений ИК источника

Измерения

Спектральный комплекс на основе монохроматора iHR320 производства HORIBA Scientific.
Диапазон 2000 - 12000 нм, шаг 20 нм, дифракционная решетка 300 штрихов/мм.
Твердотельный детектор DSS-MCT(14)020L (HgCdTe) с азотным охлаждением.

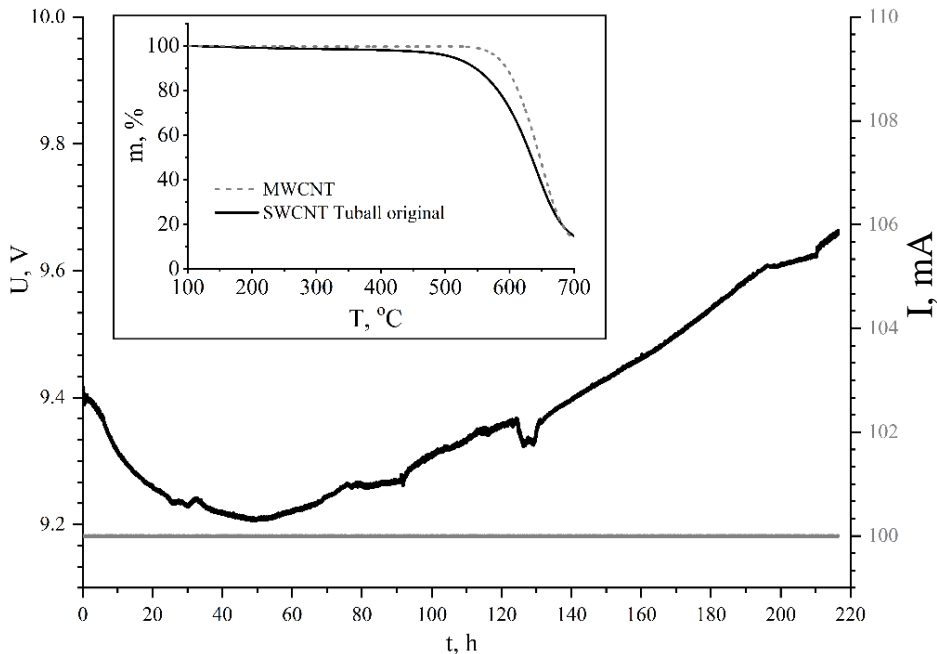


Спектрометр Horiba iHR320

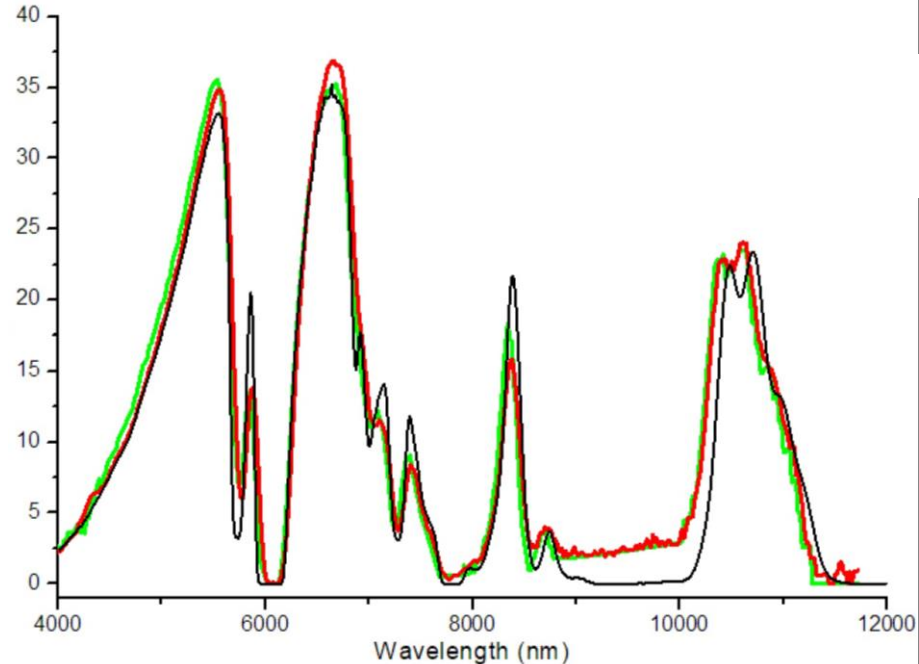


Спектральные характеристики ИК излучателей на основе пленок УНТ

Измерения

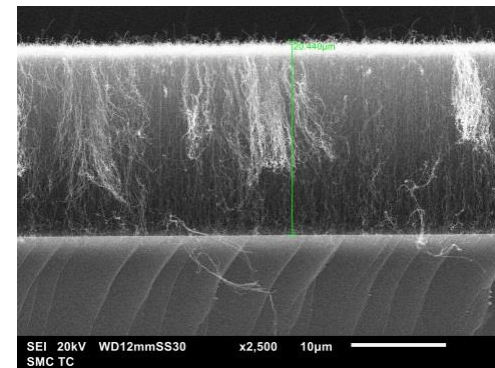
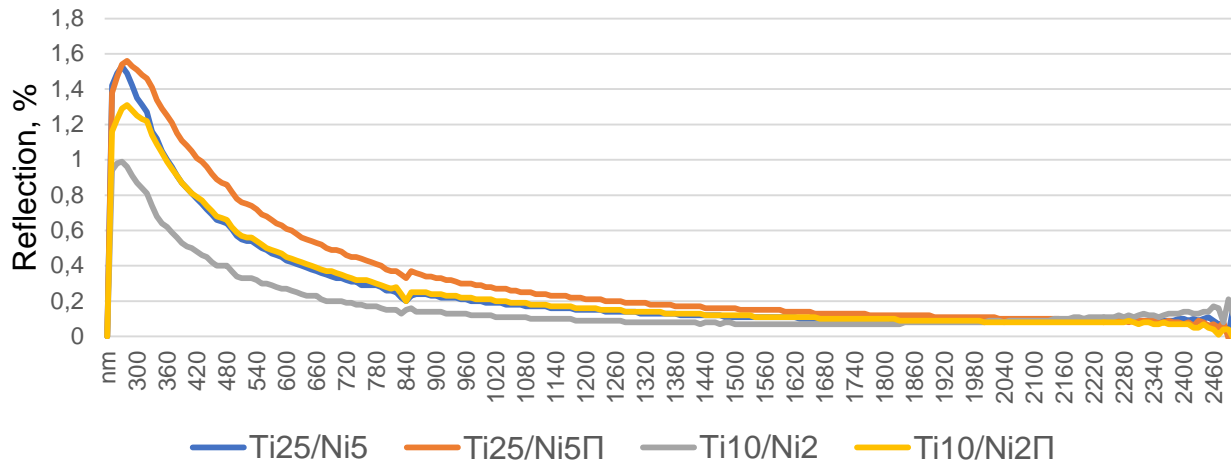


Зависимость силы тока и напряжения ИК излучателя на основе пленки ОУНТ Tuball от времени при 400 °С

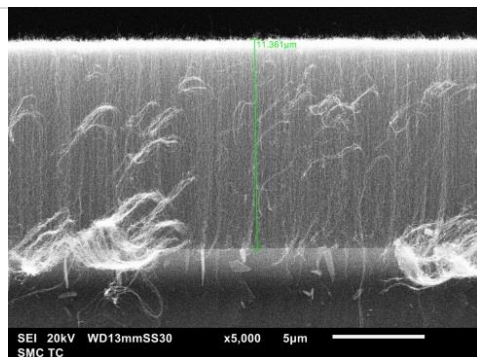


Спектр пропускания пленки из нитроцеллюлозы:
красный – УНТ источник
зеленый – Globar
черный – измерения на ИК-Фурье

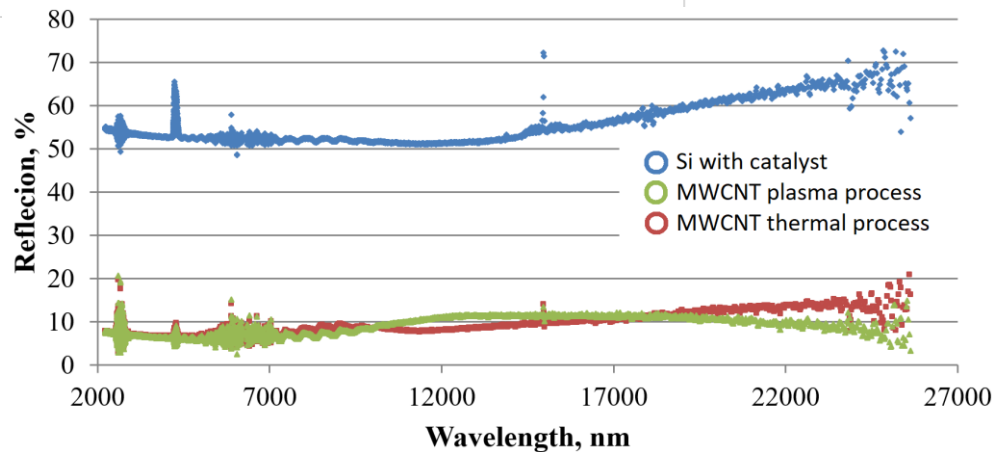
Черные покрытия на основе массивов УНТ



25/5 nm Ti/Ni MWCNT array

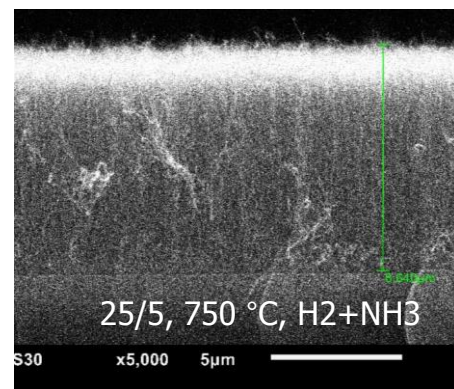
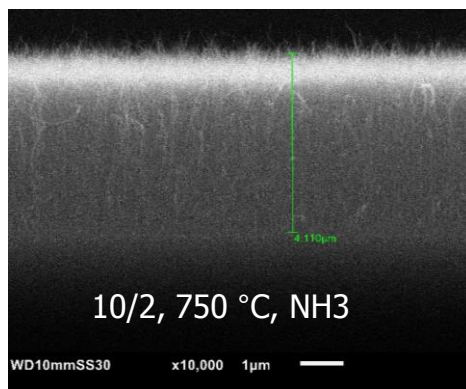
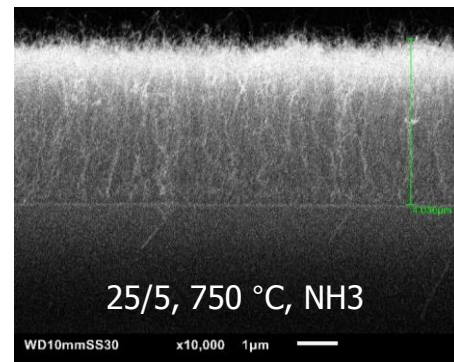
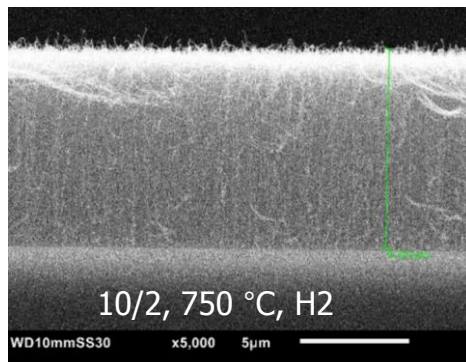
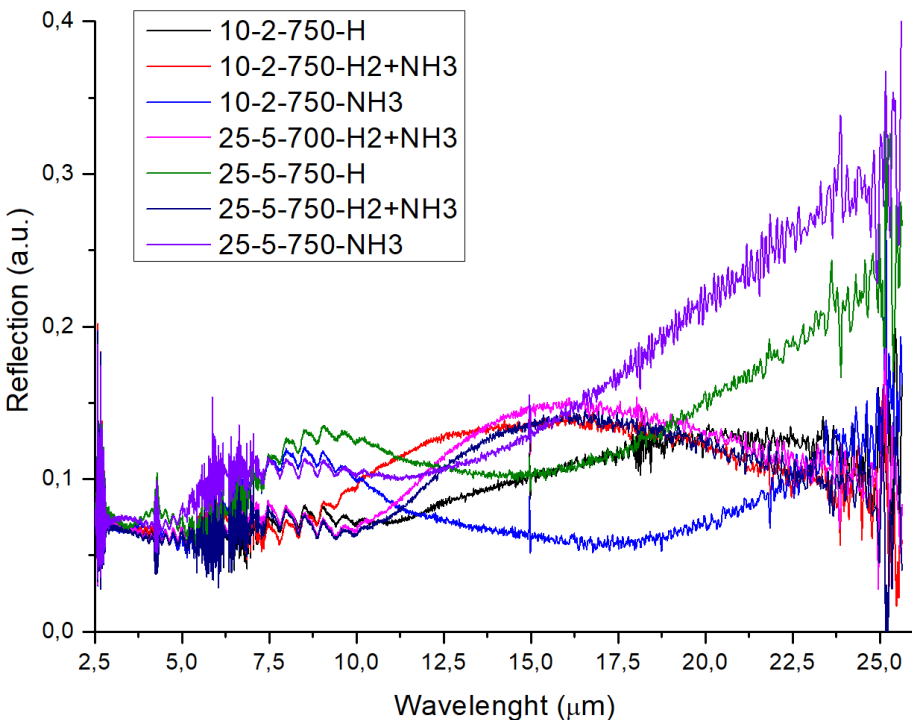


10/2 nm Ti/Ni MWCNT array



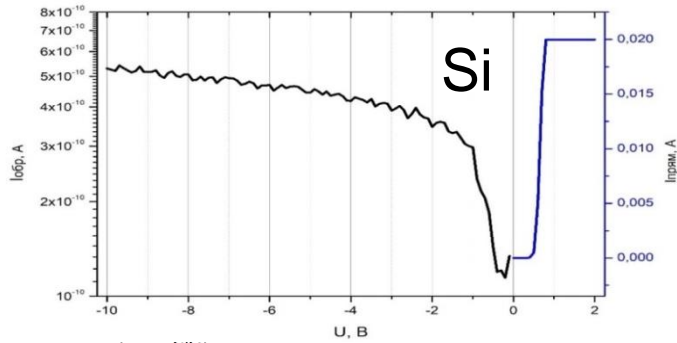
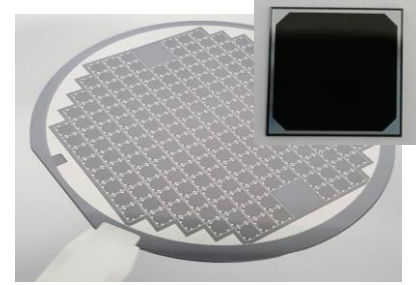
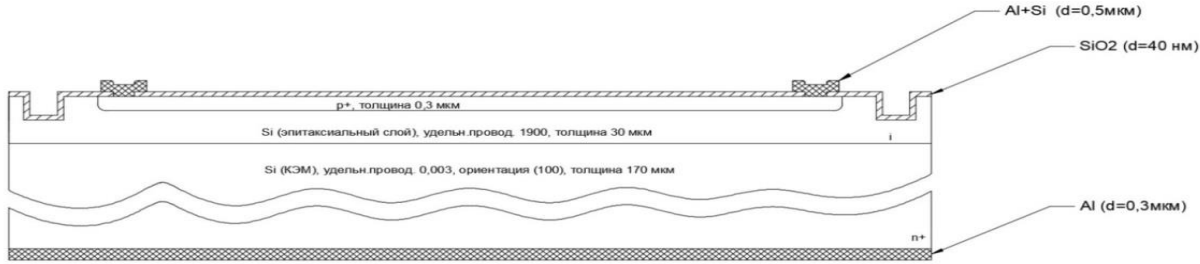
Поглощательная способность УНТ в видимом и ИК диапазоне, PerkinElmer Lambda 1050 spectrometer и ИК-Фурье

Поглощательные свойства массивов УНТ

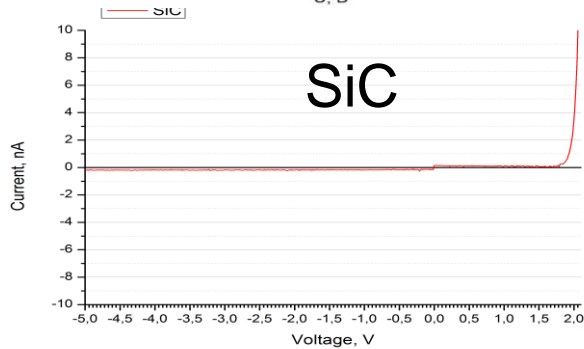
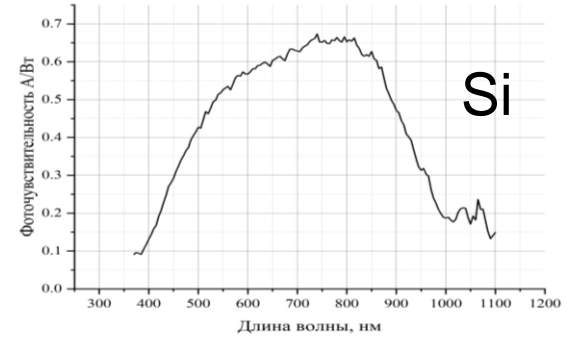


Коэффициент отражения массивов УНТ, синтезированных на катализаторе 10/2 нм и 25/5 нм Ti/Ni в различной газовой атмосфере

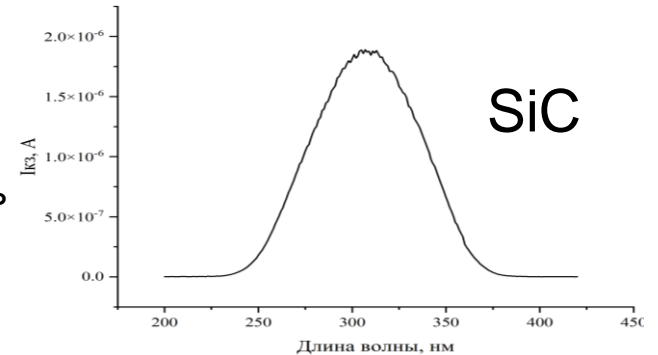
Разработка pin диодов – Si, SiC



ВАХ и
фоточувствительность
Si диода



ВАХ и
фоточувствительность
SiC диода



Предложение РНФ 23-91-00144 «Разработка технологии изготовления гибридных фотонных интегральных схем для сборки микролазеров высокой когерентности»

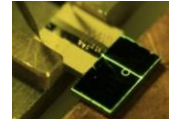
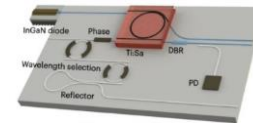
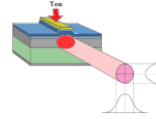
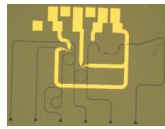
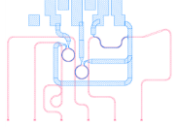
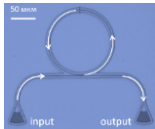


Skoltech

Проект 23-91-06301 «Исследование и разработка технологических подходов к изготовлению планарных интегрально-оптических резонансных структур на основе кремния и нитрида кремния, унифицированных для сборки с полупроводниковыми лазерными модулями»

Проект 23-91-06310 «Исследование и разработка технологических подходов к изготовлению полупроводниковых лазерных модулей с распределенной обратной связью, унифицированных для сборки с планарными интегрально-оптическими резонансными структурами на основе кремния и нитрида кремния»

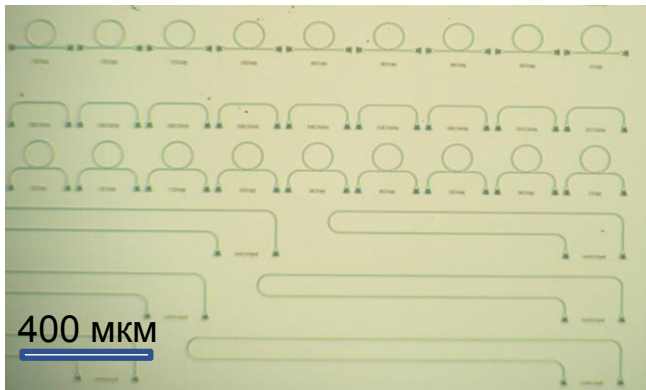
Проект 23-91-06308 «Исследование и разработка технологических решений сборки фотонных интегральных схем, содержащих активные и пассивные волноводные элементы, для реализации компактных лазерных генераторов высокой когерентности»



Цель: Создание компактных узкополосных лазерных источников, которые должны быть реализованы на интегральной волноводной платформе, с рекордными характеристиками в терминах длины когерентности и уровня шума



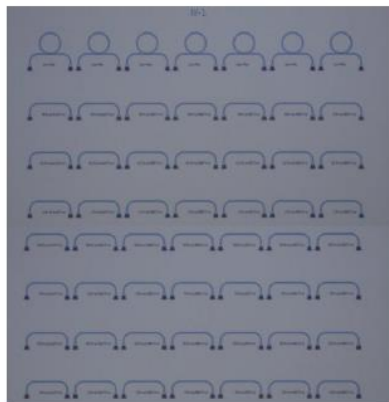
Формирование волноводов из Si_3N_4



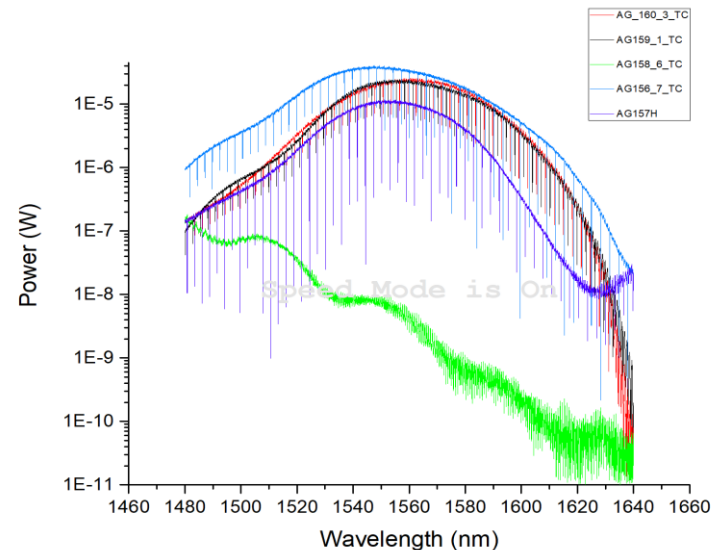
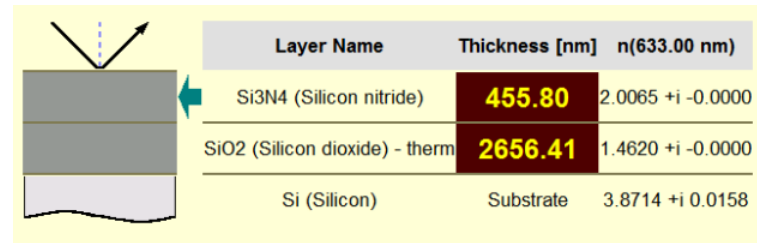
HCVD-55



«Термоком М»



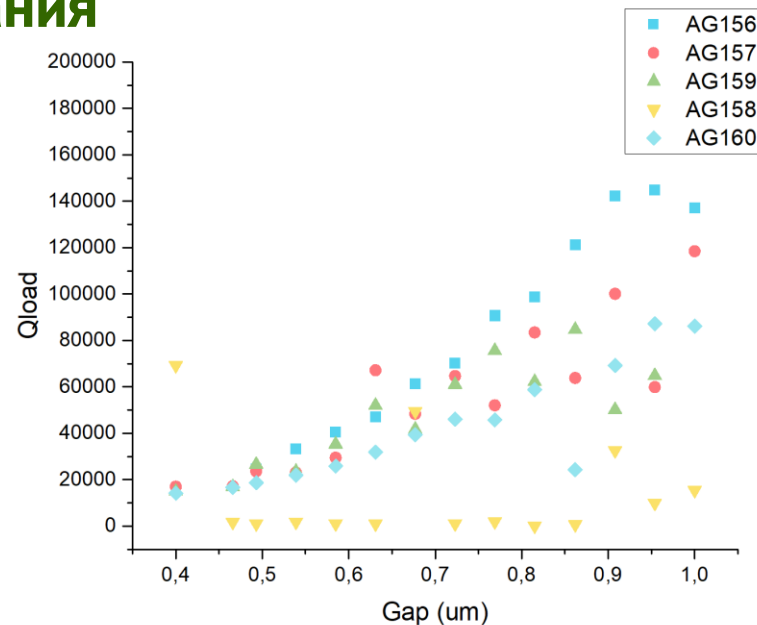
Матрица с фокусирующими решетками и кольцевыми резонаторами на структуре $\text{SiO}_2\text{-Si}_3\text{N}_4$



Характеристики кольцевых резонаторов

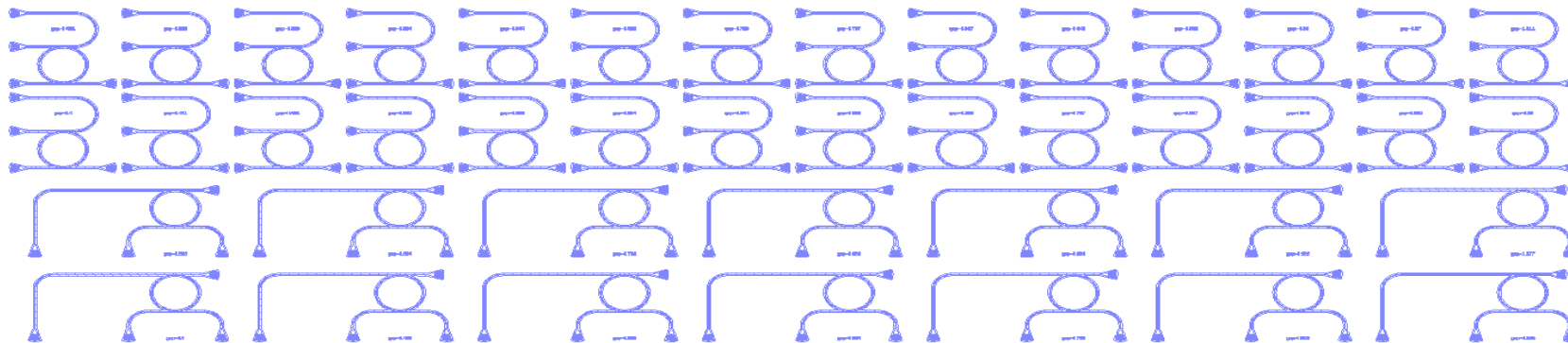
Сравнение Si_3N_4 с разными режимами формирования

№пл	Эллипсометрия (НПК ТЦ)				Рефлектометрия			
	$d_{\text{Si}_3\text{N}_4}$	$n_{\text{Si}_3\text{N}_4}$	d_{SiO_2}	n_{SiO_2}	$d_{\text{Si}_3\text{N}_4}$	$n_{\text{Si}_3\text{N}_4}$	d_{SiO_2}	n_{SiO_2}
1	442,89	2.018 (фикс)	2627	1.4652 (фикс)	442	2,04	2780	1,39
3	455,05	2.018 (фикс)	2646,33	1.4652 (фикс)	438	2,10	2706	1,456
	446	2,048						
6	346,89	1,8996 (фикс)	2655,46	1.4652 (фикс)	345	1,97	2531	1,55
	343	1,88						
7	440,55	2.018 (фикс)	2662,64	1.4652 (фикс)	461	1,95	2696	1,46
	431	2,057						

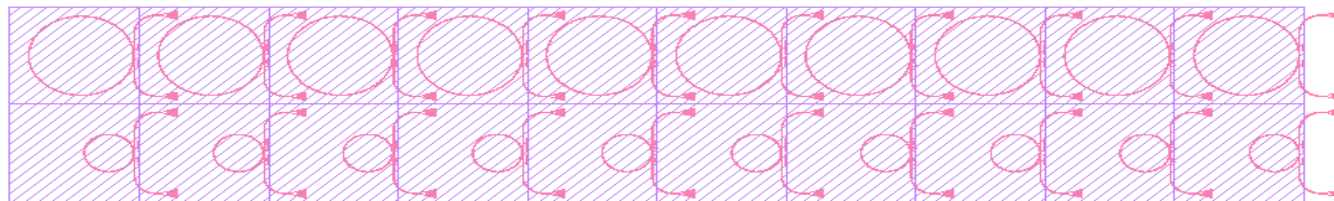


- Пл. №7 (AG156) – после осаждения SiO_2 производилось травление по контуру кристаллов, затем осаждение Si_3N_4 при $750\text{ }^\circ\text{C}$, травление Si_3N_4 и отжиг 3ч в N_2 при $1200\text{ }^\circ\text{C}$.
- Пл №6 (AG158) – осаждение Si_3N_4 при $350\text{ }^\circ\text{C}$, отжиг 3ч в N_2 при $1200\text{ }^\circ\text{C}$, травление Si_3N_4 ,
- Пл №1 (AG159) – осаждение Si_3N_4 при $750\text{ }^\circ\text{C}$, отжиг 3ч в N_2 при $1200\text{ }^\circ\text{C}$, травление Si_3N_4 ,
- Пл №3 (AG160) – осаждение Si_3N_4 при $750\text{ }^\circ\text{C}$, травление Si_3N_4 ,

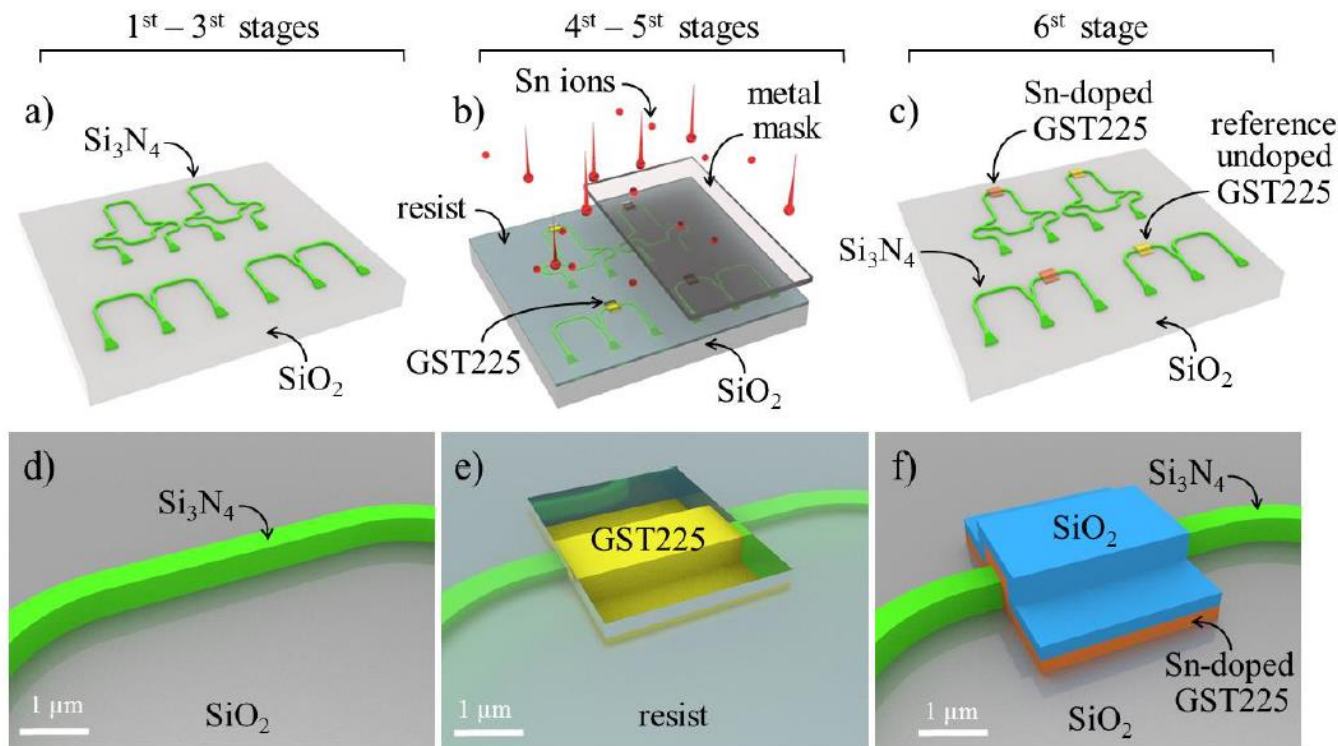
Новый дизайн резонаторов



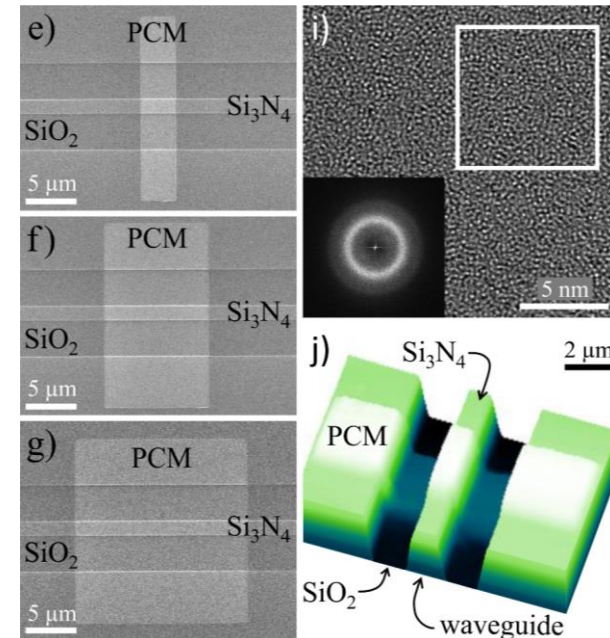
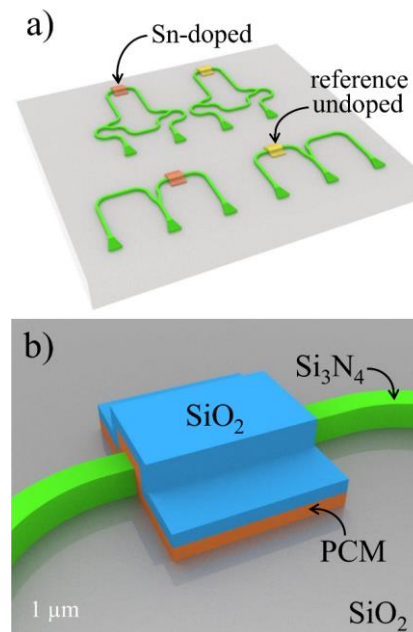
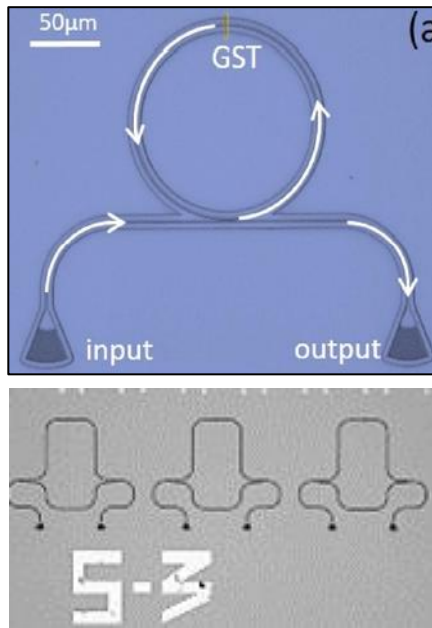
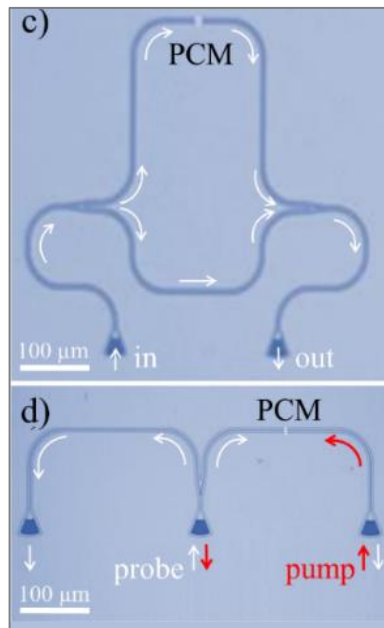
**Дизайн в процессе изготовления
(максимальная длина резонатора)**



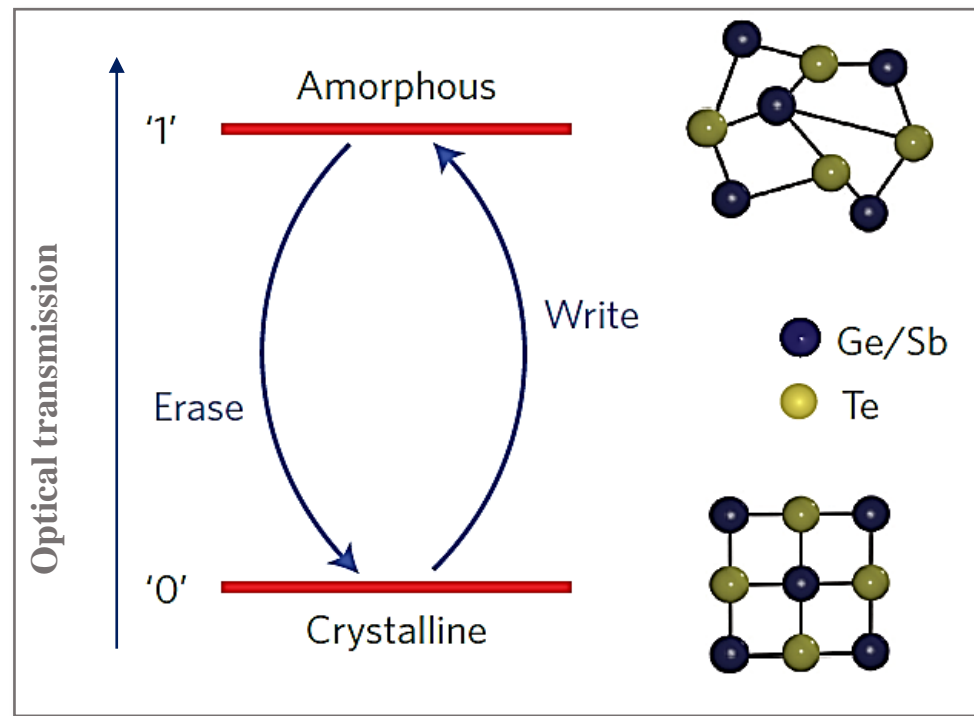
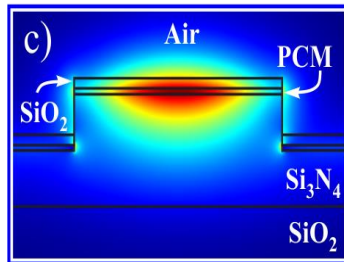
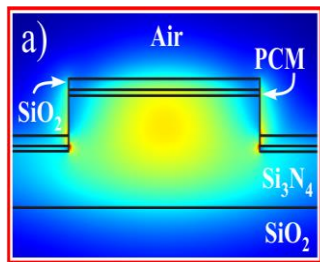
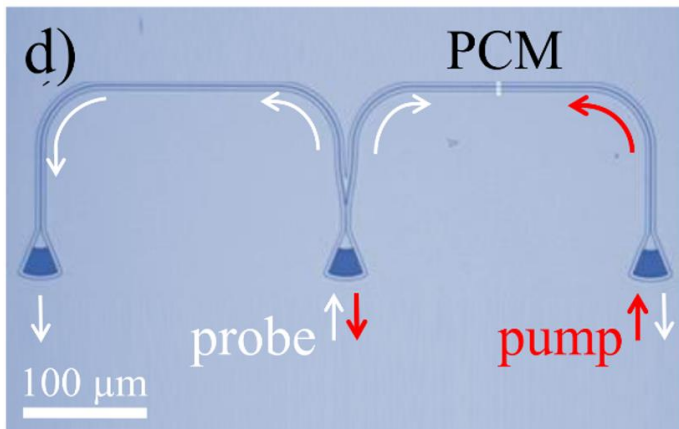
Формирование перестраиваемых элементов на основе РСМ



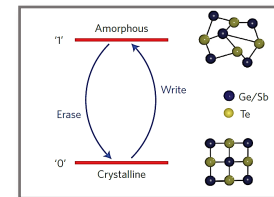
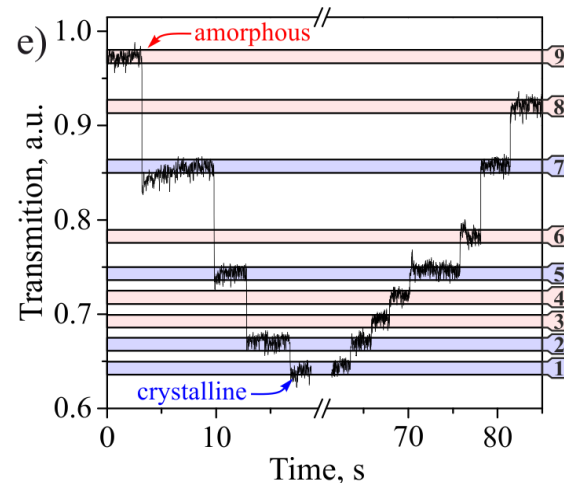
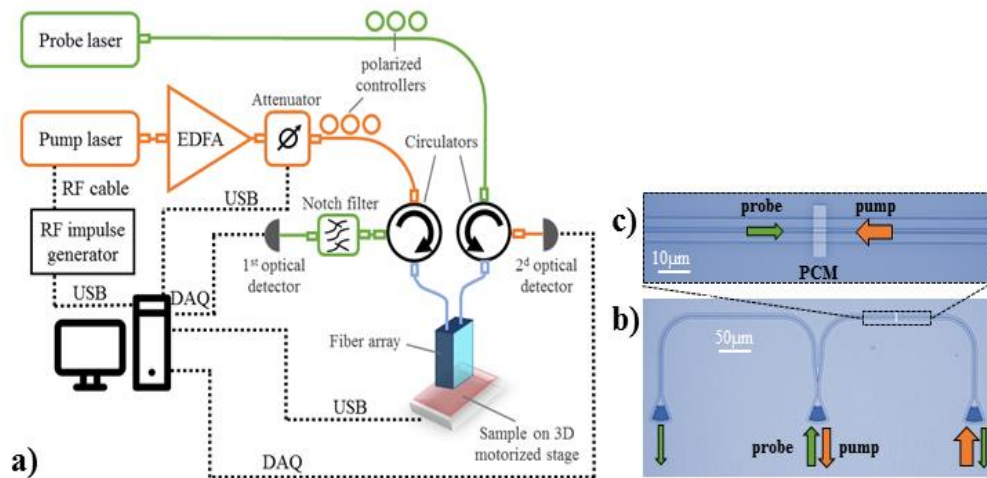
Изготовленные базовые элементы интегральной фотоники с РСМ



Переключение изготовленных элементов



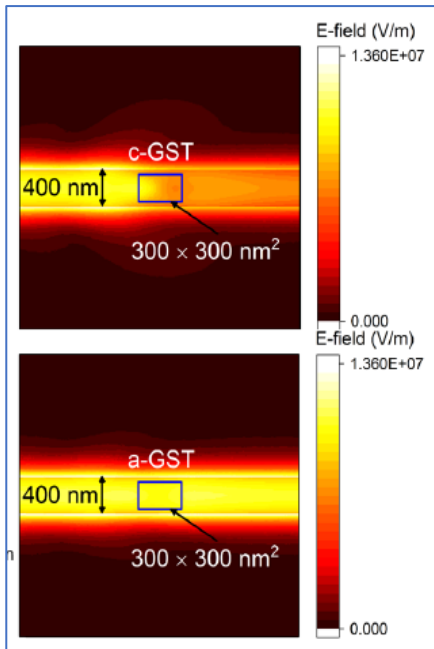
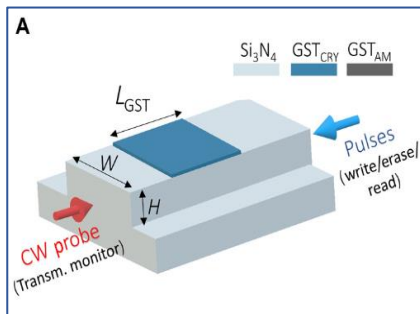
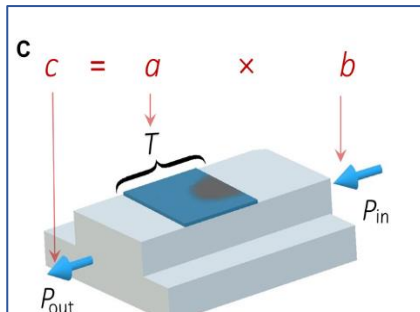
Изготовленные базовые элементы интегральной фотоники с РСМ



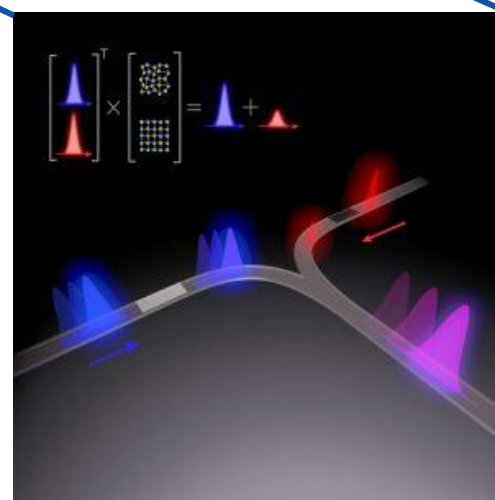
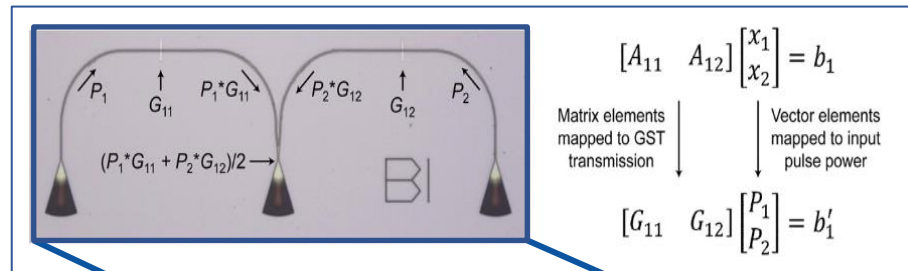
Достоинства элементов:

- Реверсивное переключение;
- Энергонезависимость состояний;
- Малое энергопотребление (мДж/см²);
- Рабочая длина волны 1550 нм;
- Длительность переключения менее 500 нс;
- Количество бит в ячейке более 3 бит;
- Возможность интегрального исполнения;
- Помехоустойчивость;
- Рабочий диапазон до 80 С;
- Совместимость с процессами кремниевой микроэлектроники.

Синапс на основе фазопеременных материалов



Операция умножения вектора на матрицу в PCM



Оптоэлектронные мемристивные системы

Оптоэлектронные мемристоры (ОЕМ) используют как световые, так и электронные сигналы в качестве входных данных.

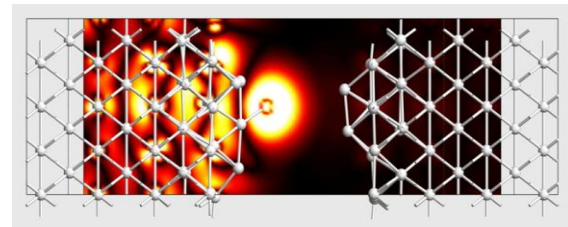
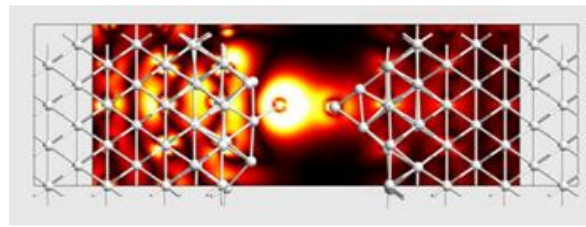
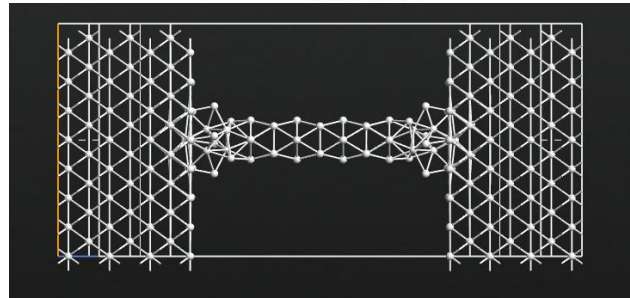
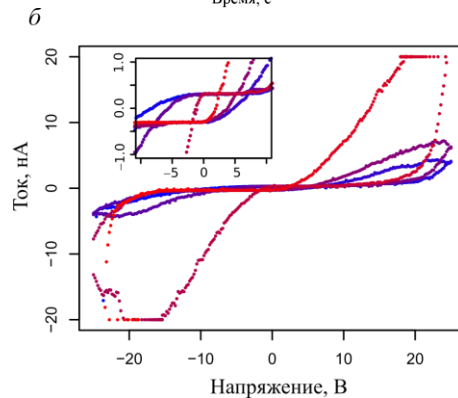
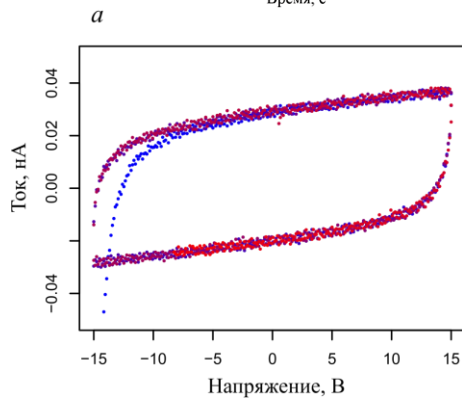
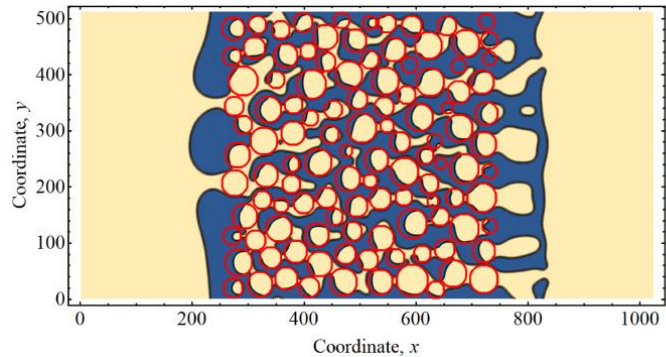
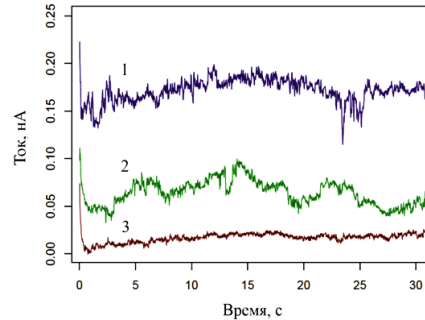
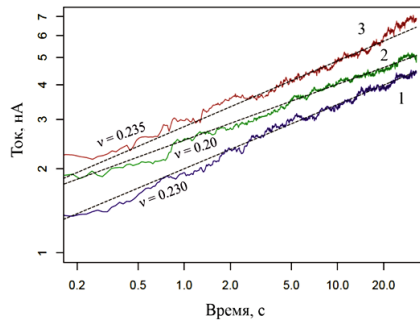
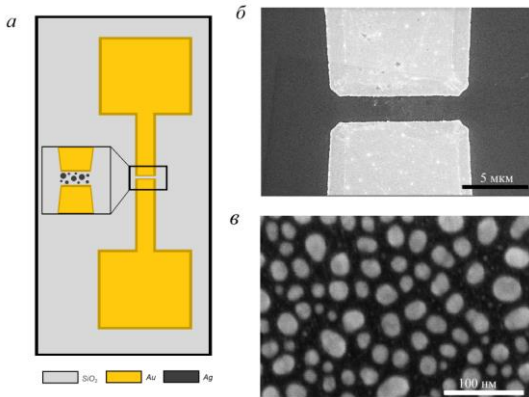
Преимущества:

1. **Высокая скорость обработки.** Оптоэлектронные системы обеспечивают более высокую скорость передачи данных по сравнению с традиционными электронными системами.
2. **Интеграция с существующими технологиями.** Оптоэлектронные мемристоры могут быть интегрированы с другими полупроводниковыми компонентами / фотонными компонентами, что облегчает их внедрение в существующие системы.
3. **Низкий уровень перекрестных помех.** Добавление света в качестве третьего терминала облегчает параллельную передачу и обработку данных.
4. **Возможность неэлектрического метода программирования.** Это может решить проблемы чрезмерного джоулевого нагрева и перекрёстных помех, возникающие в высокоплотных пассивных поперечных архитектурах.
5. **Возможность миниатюризации.** Наноструктуры, из которых изготавливаются оптоэлектронные мемристоры, позволяют строго контролировать размеры устройств.

Новые архитектуры вычислений: сочетание оптоэлектронных технологий с мемристорами может привести к созданию новых архитектур – нейроморфных систем, для применения в системах искусственного интеллекта и машинного обучения за счет эффективного хранения и обработки данных.

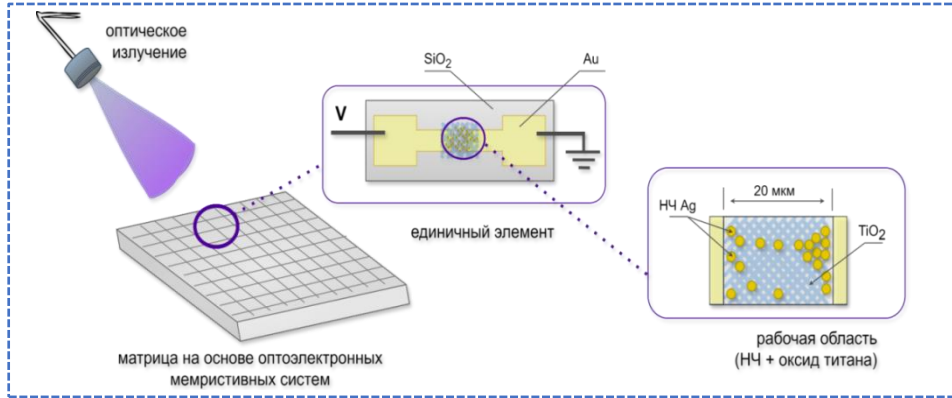
Направление исследований материалов активного слоя: (1) оксиды металлов, (2) оксиды полупроводников, (3) 2D-материалы, (4) материалы с одномерной структурой.

Фазовый переход металл-изолятор и мемривные свойства

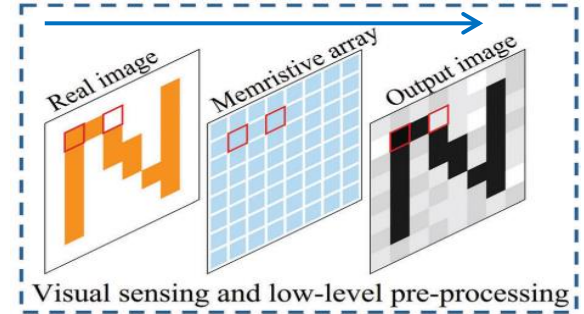


Экспериментальное и теоретическое исследование оптоэлектронных мемристивных систем на основе наноматериалов для развития технологий нейроморфного зрения.

Концепция

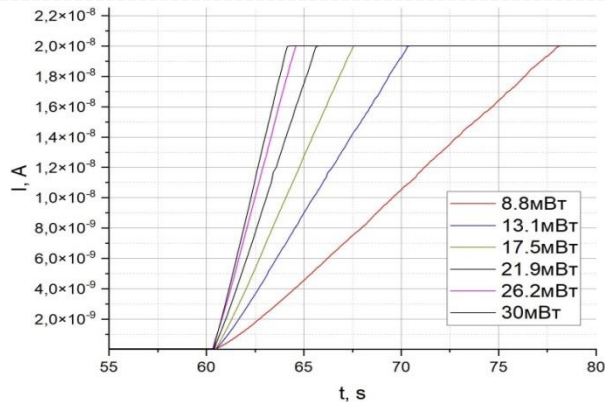


Область применения

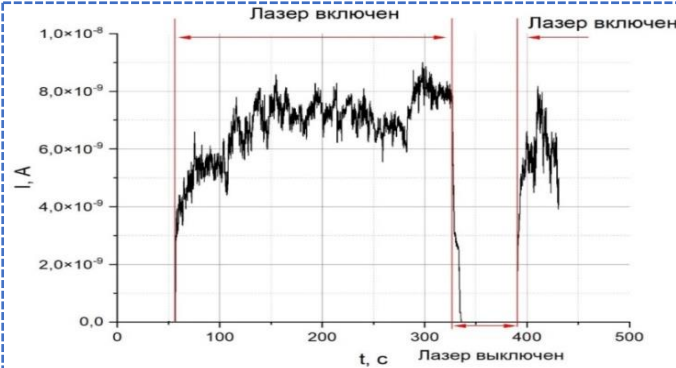


Возможность непосредственно обнаруживать свет и выполнять предварительную обработку визуального сигнала благодаря фотоиндуцированным изменениям проводимости в наноматериалах.

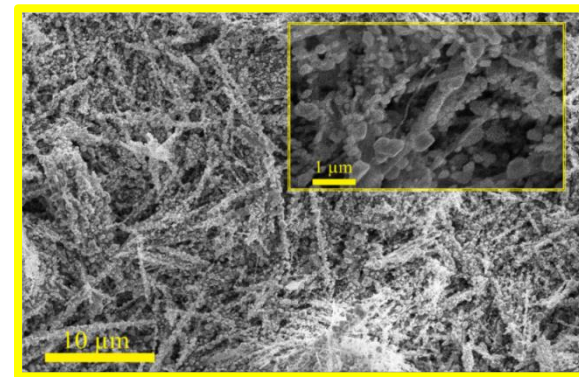
Цель: разработка прототипа оптоэлектронного мемристивного устройства на основе композиционной наноструктуры (наностержни оксида титана и металлические наночастицы).



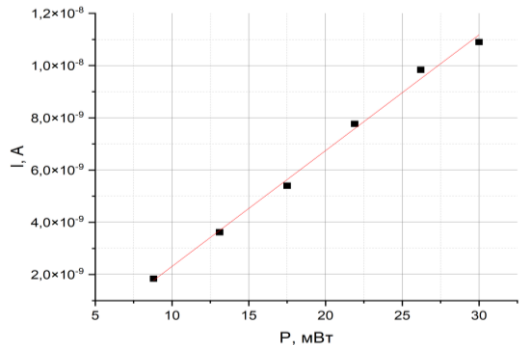
Зависимость скорости нарастания выходного тока для экспериментального образца при облучении лазером 405 нм



Измерение фотоотклика на длине волны 405 нм ($\text{TiO}_2 + \text{Ag}$)



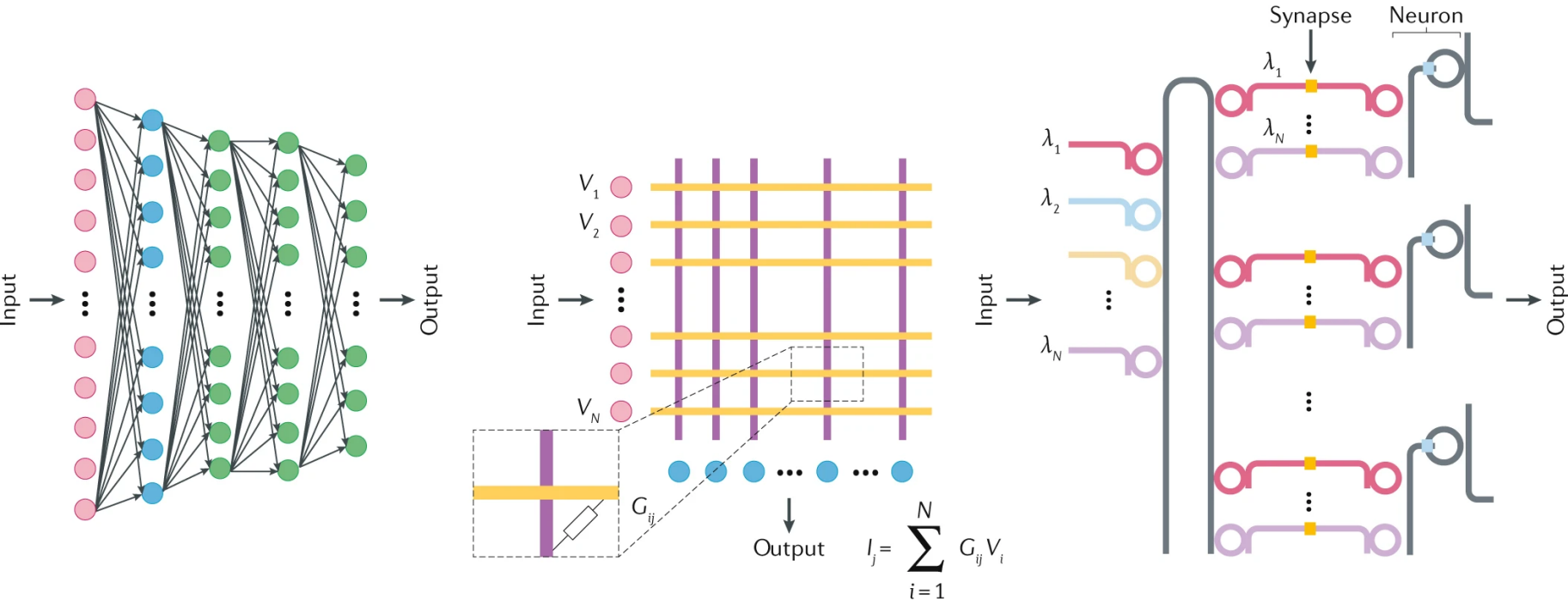
Внешний вид планарной структуры и РЭМ-изображение активного материала в зазоре между электродами ($\text{TiO}_2 + \text{Ag}$)



Зависимость выходного тока для образца от мощности лазерного излучения

Поскольку полученная зависимость выходного тока от мощности лазерного излучения близка к линейной, то предполагаемый метод лазерного кодирования данных, заключающийся в использовании различной мощности лазерного излучения, может использоваться в ряде задач по обработке сигналов.

Электронные и оптические реализации функциональных блоков



Контактная информация

Научно-производственный комплекс «Технологический центр»

Адрес:

**124498, г. Москва, Зеленоград, пл. Шокина, д. 1
стр.7.**

Дирекция:

Телефон: + 7 (499) 734-45-21

Факс: + 7 (499) 729-77-02

E-mail: tc@tcen.ru

tc@tcen.ru

