



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

Основные научные направления: - физика конденсированных сред, в том числе физика полупроводников и диэлектриков, физика низкоразмерных систем; - элементная база микроэлектроники, наноэлектроники, квантовых компьютеров, в том числе физико-химические основы технологий микроэлектроники, наноэлектроники, оптоэлектроники, акустоэлектроники, микросенсорики; - актуальные проблемы оптики, лазерной физики, включая квантовую электронику.

...всё началось в 1961 году, с инспекторской поездки правительственной комиссии в Академгородок во главе с председателем Совета Министров СССР **А.Н. Косыгиным**, который в беседе с М.А. Лаврентьевым, отметив все достижения по развёртыванию Академгородка, заметил, что в составе СО АН слабо отражены современные направления науки и техники – **например «транзисторной, полупроводниковой» тематики**. При этом сразу дал поручение своим помощникам организовать ликвидацию этого «пробела». Предложение было поддержано не только тогдашними корифеями в физике полупроводников (например А.Ф. Иоффе), но и президентом АН М.В. Келдышем.



В 1962 году по приглашению академика Лаврентьева в Академгородок из ФИАН приезжает группа молодых и энергичных ученых для организации **Института физики твёрдого тела и полупроводниковой электроники**. Во главе группы **Анатолий Васильевич Ржанов**, ветеран Великой отечественной войны, морской пехотинец, участник прорыва блокады Ленинграда. Именно он был одним из основных участников первых в СССР работ по созданию полупроводникового транзистора...Именно Ржанов и стал первым директором Института до 1990 года.

В 1964 году в результате объединения с Институтом радиофизики и электроники и решением Академии наук СССР появился собственно Институт физики полупроводников СО РАН. В 2005 году к ИФП СО РАН был присоединён в качестве филиала **Конструкторско-технологический институт (КТИ)** прикладной микроэлектроники, который в свою очередь был организован в 1991 году на базе СКТБ специальной электроники и аналитического приборостроения, основанное в 1980 году при



Отделении главного конструктора Опытного завода СО РАН. То есть история происхождения из того же самого «пояса внедрения» Академгородка СО РАН.

Основные достижения Института связаны с исследованиями атомных процессов и электронных явлений на поверхности полупроводников и границах раздела фаз, квантовых эффектов в полупроводниковых системах пониженной размерности: сверхрешетках, гетероструктурах с квантовыми ямами, квантовыми проволоками и точками. На основе фундаментальных исследований осуществлены разработки матричных фотоприемников инфракрасного диапазона, электронно-оптических преобразователей, СВЧ-транзисторов, квантовых интерферометров, нанотранзисторов. А разработанные и созданные комплексы уникального оборудования молекулярно-лучевой эпитаксии и обеспечению современными диагностическими системами стали основой развития нанотехнологии для полупроводниковой электроники нового поколения.

За время своего существования Институт физики полупроводников превратился в один из ведущих в России научных центров в области фундаментальных и прикладных исследований по физике полупроводников, физике твердого тела, микро- и наноэлектроники. Высшим признанием заслуг

Института является присуждение 2 Государственных премий СССР, 5 Государственных премий РФ, 1 Государственной премии Совета Министров СССР, 2 премий Ленинского комсомола.

Сегодня ИФП СО РАН один из крупнейших институтов в составе Новосибирского научного центра СО РАН. В нём работают около **800** сотрудников, в том числе **228** н.р., среди них **3** академика, **4** члена-корреспондента РАН, **45** докторов наук и **148** кандидатов наук. Количество молодых научных сотрудников – **85**, аспирантов около 20-ти.

Институт размещается в трех корпусах и располагает общей площадью 35.735 квадратных метров, в том числе, располагает уникальным термостатированным корпусом, в котором сосредоточено оборудование для современных технологических процессов получения и исследования полупроводниковых структур для микро-, микрофото-, наноэлектроники и акусто-электроники.

К таковым, например, относятся установки: - Автоматизированная многомодульная сверхвысоковакуумная установка молекулярно-лучевой эпитаксии «Обь-М» (**МЛЭ КРТ «Обь-М»**); - Уникальная научная установка «Многофункциональный аналитический субангстремный сверхвысоковакуумный комплекс» (**УНУ «МАССК-ИФП»**).

В состав Института входят 5 отделов: - роста и структуры полупроводниковых материалов (3 лаб); - физики и технологии полупроводников пониженной размерности, микро- и наноструктур (2 лаб); - инфракрасных оптоэлектронных устройств на основе КРТ (2 лаб., 1 группа); - тонкопленочных структур для микро- и фотоэлектроники (1 лаб., 1 группа); - физики и техники полупроводниковых структур (3 лаб) и еще 16 самостоятельных лабораторий. Всего 29 лабораторий и групп.

В состав филиала КТИ ПМ входят шесть отделов: - фотохимических технологий; - тепловидения и телевидения; - конструирования оптико-электронных приборов; - электронных систем; - прикладной оптико-электронной техники и технологий.

В ходе визита в ИФП СО РАН участники ВНКСФ-28 смогут ознакомиться с работой следующих подразделений в двух корпусах:

В Термостатированном корпусе предлагается посетить следующие лаборатории и установки.

1. Лаборатория №26 физики низкоразмерных электронных систем

Заведующий лабораторией член.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор Квон Зе Дон.

Основным направлением исследований лаборатории является изучение фундаментальных квантовых свойств конденсированных систем, таких как:

- двумерный полуметалл и топологические изоляторы,
- квантовые проволоки и интерферометры,
- решётки антиточек и квантовые точки,
- двумерный электронный газ с большим числом уровней Ландау,
- тонкие сверхпроводящие плёнки.

В указанных системах изучаются такие квантовые явления как эффект Ааронова-Бома, квантовый эффект Холла, квантовый спиновый эффект Холла, кулоновская блокада, динамический хаос, осцилляции магнитосопротивления, индуцированные микроволновым и терагерцовым излучением, эффект Кондо, переход Березинского-Костерлица-Таулеса, переходы металл-изолятор и сверхпроводник-изолятор. Сотрудниками лаборатории впервые в мире было открыто



новое основное состояние вещества – сверхизолятор – изолятор с локализованными куперовскими парами.

В лаборатории также развиваются плазмохимические методы травления и формирования тонких плёнок и разрабатываются новые разновидности химических и биологических сенсоров.

Сердцем лаборатории является Криостат растворения He^3/He^4 Oxford Instruments. В недрах криостата, в камере растворения находится полюс холода в Сибири с базовой температурой 6 мК. Сейчас установка работает в режиме «замкнутый цикл» и может поддерживать низкую температуру 365 дней в году. Криостат растворения позволяет изучать транспортные свойства электронных систем в диапазоне температур 20 мК – 300 К и магнитных полях до 12 Тл (при температурах ниже 4,2 К).



На снимках:

«Голова» криостата растворения He^3/He^4 Oxford Instruments: шлюз загрузки/выгрузки образца, блоки коммутации, трубопроводы подачи и откачки технических и криогенных газов. Фото предоставлено ГК «Научное оборудование».

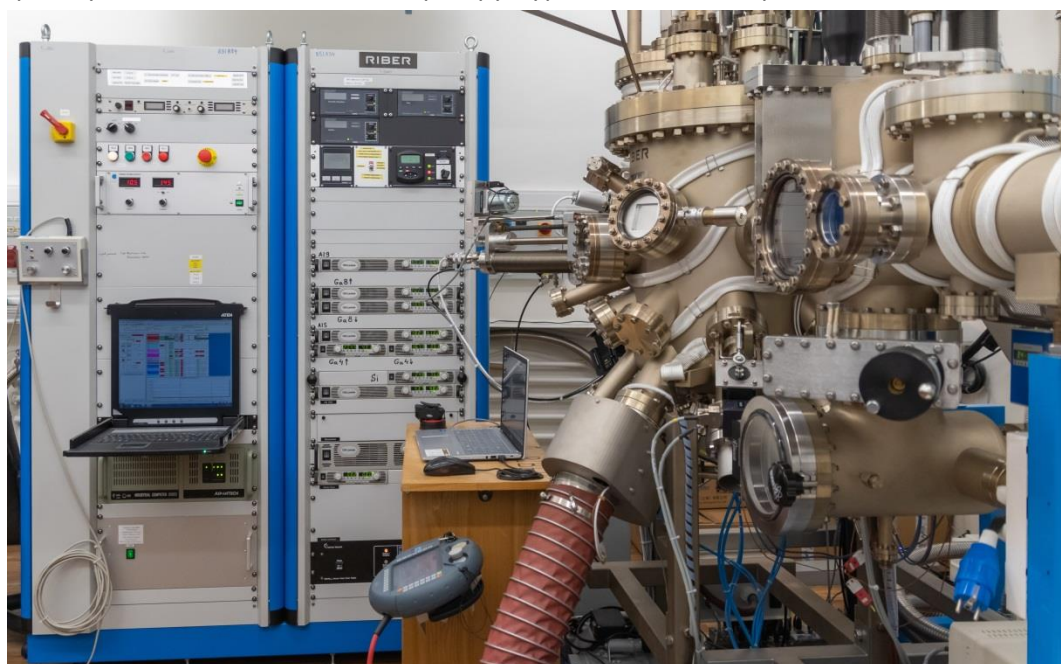
Панель управления низкотемпературным контуром криостата растворения He^3/He^4 Oxford Instruments, включающей вентили подачи и регулировки потоков криогенных газов, криогенные ловушки для очистки газов, индикаторную панель. Фото предоставлено ГК «Научное оборудование».

2. Лаборатория №18 аммиачной молекулярно-лучевой эпитаксии GaN гетероструктур на подложках кремния для силовых и СВЧ транзисторов

Заведующий лабораторией к.ф.-м.н., Милахин Денис Сергеевич.

Молодёжная лаборатория создана в 2022 году в рамках постановления Минобрнауки России по созданию новых лабораторий для развития электронной промышленности Российской Федерации.

Основным направлением исследований является разработка технологического процесса синтеза нитридов галлия и других родственных веществ для производства транзисторов в интересах линии связи нового поколения, такие как 5G или 6G. Основой лаборатории является установка аммиачной молекулярно-лучевой эпитаксии GaN гетероструктур на подложках кремния Riber.



3. Лаборатория №16 молекулярно-лучевой эпитаксии элементарных полупроводников и соединений A^3B^5

Заведующий лабораторией д.ф.-м.н. Никифоров Александр Иванович

Лаборатория входит в состав отдела, основанного в 1976 году, который является одним из крупнейших подразделений Института. Сотрудниками отдела совместно с Опытным заводом СО РАН и конструкторско-технологическим институтом прикладной микроэлектроники СО РАН, разработано и изготавливается малыми сериями промышленно-ориентированное оборудование для молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ). В различных организациях РФ и стран ближнего зарубежья работают более тридцати комплектов одно-, двух- и трёхкамерных установок типа «Селенга» (первое поколение), «Ангара» (второе поколение) и «Катунь» (третье поколение). Эти разработки были отмечены Государственной премией России в области науки и техники. В настоящее время разработана и изготовлена установка четвёртого поколения «Катунь-100». В рамках проекта «Экран» разработан комплекс установок для МЛЭ в условиях космоса. В настоящее время проводится аттестация комплекса на территории Заказчика.

Одной из уникальных установок Лаборатории является сканирующий туннельный микроскоп (СТМ) Riber, позволяющий «пощупать» отдельные атомы и атомные ступени на поверхности кристаллов. Одним из ключевых требований проведения высококачественного эксперимента является самостоятельное изготовление игл (зондов) для вольфрамовой проволоочки непосредственно перед проведением измерений. От качества острия зондов зависит разрешающая способность СТМ, в отдельных случаях достигающая возможности «увидеть» атомные орбитали приповерхностных атомов.



4. Лаборатория №20 нанодиагностики и нанолитографии. ЦКП «Наноструктуры»

Заведующий лабораторией к.ф.-м.н. Щеглов Дмитрий Владимирович

Совместно с лаб. №26 Лаборатория входит в состав Отдела №004 физики и технологии полупроводников пониженной размерности, микро- и наноструктур.

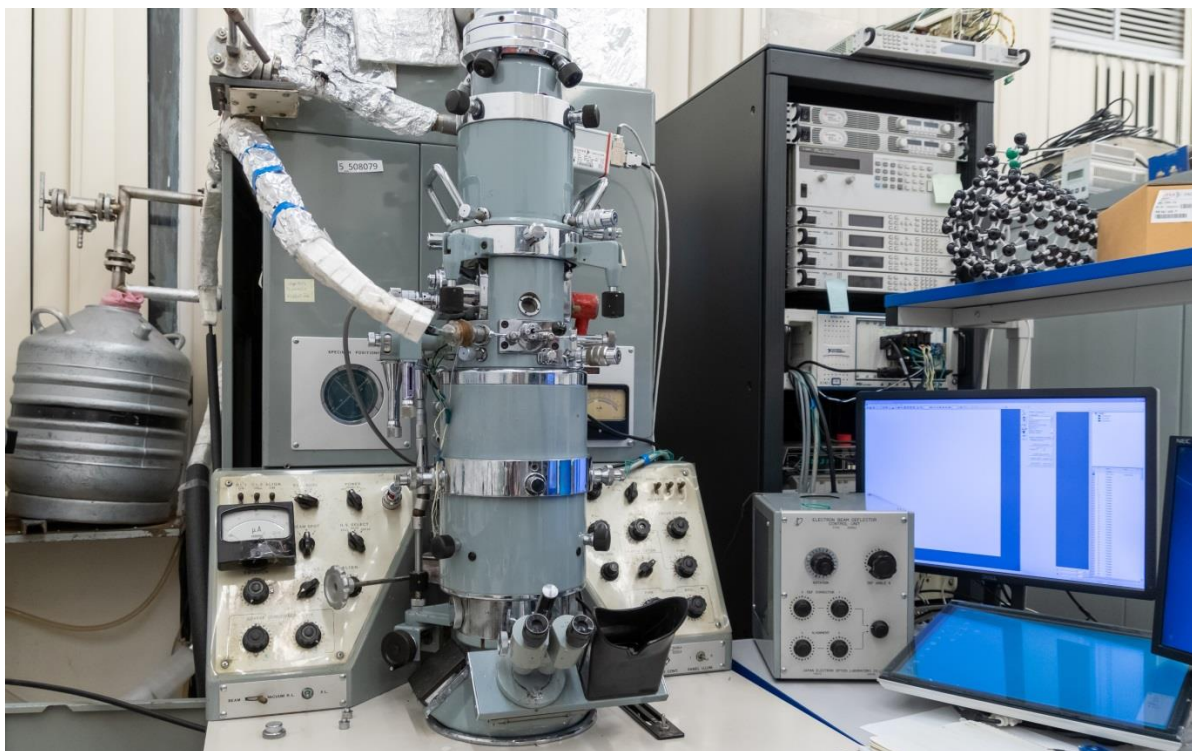
Основными направлениями деятельности лаборатории являются:

- Исследование атомных процессов на поверхности и в объеме кристаллов при формировании наноразмерных структур на основе методов *in situ*.
- Исследование атомного строения наноструктур с помощью высокоразрешающей просвечивающей электронной микроскопии с коррекцией сферической аберрации, включая моделирование и расчет электронно-микроскопических изображений.

- Развитие методов наноструктурирования поверхности с помощью электронной, ионной- и зондовой литографии для изготовления твердотельных наносистем из полупроводниковых, металлических и органических материалов.
- Разработка и создание элементов наноэлектроники, наноплазмоники, наномеханики и бионаноплатформ.
- Развитие методов измерения и диагностики наносистем в нанометровом и субнанометровом диапазоне.
- Экспериментальное и теоретическое изучение электронных и оптических свойств наносистем.

Проведение исследований базируется на использовании комплекса методов, которые включают электронную нанолитографию, сверхвысоковакуумную отражательную электронную микроскопию (СВВ-ОЭМ), просвечивающую и высокоразрешающую аналитическую электронную микроскопию (ПЭМ, ВРЭМ), а также атомно-силовую микроскопию (АСМ). По многим направлениям, в частности, по применению *in situ* методов электронной микроскопии высокого разрешения и исследованию атомных процессов на поверхности кремния методами отражательной и атомно-силовой микроскопии, работы коллектива лаборатории находятся на мировом уровне исследований. Исследования проводятся на оборудовании, отвечающем уровню оснащения ведущих мировых научных центров в области структурного анализа и технологии получения наноструктур.

Сотрудниками лаборатории впервые в мире наблюдались процессы эшелонирования атомных ступеней на поверхности кремния при протекании электрического тока вдоль поверхности. Это позволило разработать уникальные методики выглаживания поверхности для эпитаксиального роста, а также создать наноправило – шкалу, по которой можно измерять элементы деталей в микро- и нано- электронике.



*Сверхвысоковакуумный отражательный электронный микроскоп позволяет проводить *in situ* эксперименты при высоких температурах, имеет высокую чувствительность к элементам структуры поверхности и обеспечивает пространственное разрешение, достаточное для визуализации индивидуальных моноатомных ступеней (высотой 0,31 нм на Si(111) и 0,14 нм на Si(001)), двумерных островков и сверхструктурных доменов при высокой температуре (например, 1300 °С). Оборудование для СВВ ОЭМ не выпускается и, согласно последним обзорам, метод в наиболее полном объеме реализован в Токийском Институте Технологий и в ИФП СО РАН. Входит в состав комплекса **УНУ «МАССК-ИФП»***

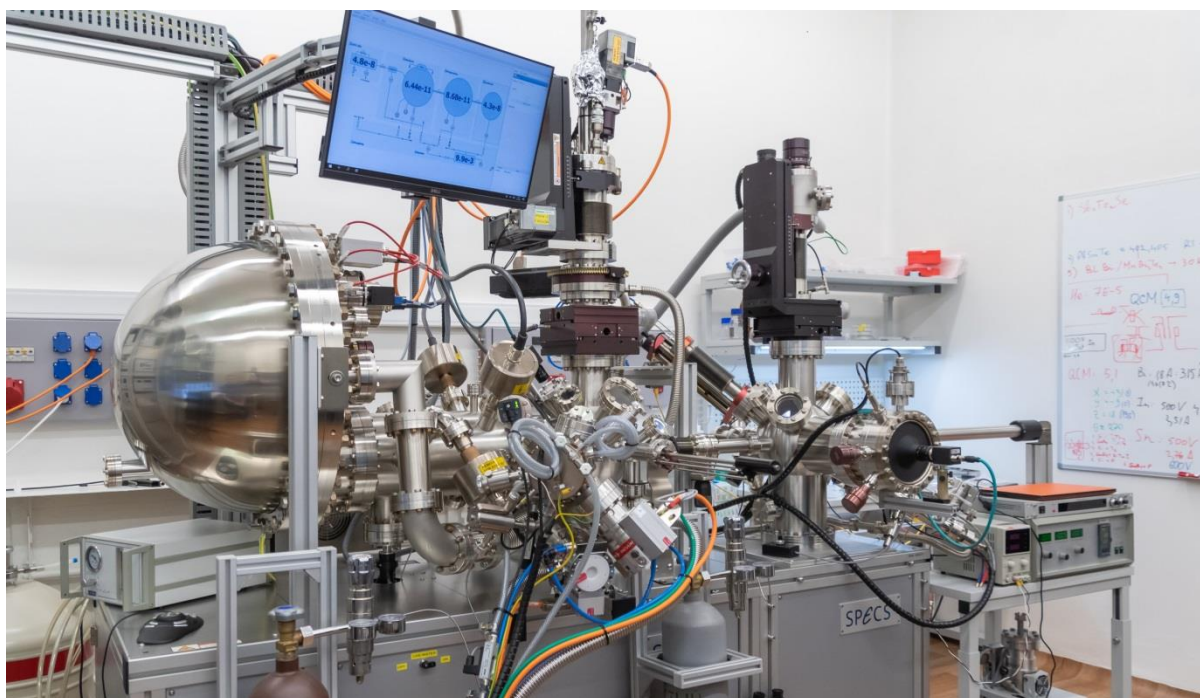
5. Лаборатория №3 физики и технологии гетероструктур

Заведующий лабораторией д.ф.-м.н. Терещенко Олег Евгеньевич

Основными направлениями деятельности лаборатории являются:

- Проведение исследований в области технологии гетероэпитаксиальных структур и изучение их свойств, в том числе структур на основе узкозонных соединений A^4B^6 .
- Разработка физических основ фоточувствительных устройств на гетероэпитаксиальных структурах.

Силами сотрудников лаборатории первыми в мире создали мультищелочной источник спин-поляризованных электронов – это устройство необходимо, чтобы задавать частицам нужное направление, укротить их долгое время не могли исследователи со всего мира. Источник спин-поляризованных электронов установлен в установку рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) ARPES FlexPS для анализа химического и зарядового состояния атомов на поверхности.



Установка рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) ARPES FlexPS для анализа химического и зарядового состояния атомов на поверхности, оснащённая полусферическим анализатором энергий электронов SPECS ASTRAIOS 190 с высоким угловым разрешением и мультищелочным источником спин-поляризованных электронов разработки ИФП СО РАН

В лабораторно-технологическом корпусе (ЛТК) предлагается посетить следующие лаборатории:

1. Лаборатория №24 неравновесных полупроводниковых систем

Зав. лабораторией член.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор Двуреченский Анатолий Васильевич

Основные направления научной деятельности:

- Наноструктуры с квантовыми точками:
 - Повышение однородности массива квантовых точек по размерам с сохранением единой формы и элементного состава КТ; управление пространственным расположением, плотностью; снижение плотности дефектов - протяженных (дислокации) и точечных дефектов.
 - Эффекты межчастичного взаимодействия в ансамбле квантовых точек: кулоновское взаимодействие электронов/дырок внутри изолированной квантовой точки, кулоновское взаимодействие зарядов между квантовыми точками, взаимодействие (наложение) упругих полей, формируемых индивидуальными квантовыми точками.
- Пористый кремний: микроканальные пластины, наномембраны для биологии и медицины.
- Изучение транспортных явления систем пониженно размерности, включая «подвешенный» двумерный и квазиодномерный электронный газ.

Уникальной установкой лаборатории является Криостат откачки He^3 Oxford Instruments. В камере откачки находится второй полюс холода в Сибири с базовой температурой 300 мК.

2. Лаборатория №16 молекулярно-лучевой эпитаксии элементарных полупроводников и соединений A^3B^5

Заведующий лабораторией д.ф.-м.н. Никифоров Александр Иванович

Лаборатория входит в состав отдела, основанного в 1976 году, который является одним из крупнейших подразделений Института. Сотрудниками отдела совместно с Опытным заводом СО РАН и конструкторско-технологическим институтом прикладной микроэлектроники СО РАН, разработано и изготавливается малыми сериями промышленно-ориентированное оборудование для молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ). В различных организациях РФ и стран ближнего зарубежья работают более тридцати комплектов одно-, двух- и трёхкамерных установок типа «Селенга» (первое поколение), «Ангара» (второе поколение) и «Катунь» (третье поколение). Эти разработки были отмечены Государственной премией России в области науки и техники. В настоящее время разработана и изготовлена установка четвёртого поколения «Катунь-100». В рамках проекта «Экран» разработан комплекс установок для МЛЭ в условиях космоса. В настоящее время проводится аттестация комплекса на территории Заказчика.

Гордостью лаборатории является линейка установок молекулярно-лучевой эпитаксии собственной разработки. Двойные и тройные соединения элементов IV группы SiGe, SiSn, SiSnGe позволяют создавать комбинированные оптоэлектронные вычислительные устройства на одном кристалле. На фото: Установка МЛЭ «Катунь-100».



3. Лаборатория №7 физики и технологии трёхмерных наноструктур

Заведующий лабораторией к.ф.-м.н. Мутилин Сергей Владимирович

Лаборатория ориентирована на высокие нанотехнологии, позволяющие формировать на больших площадях строго периодичные массивы прецизионных трёхмерных нанобъектов и на формирование трёхмерных наноматериалов. Качество и прецизионность достигается как использованием высокоточных эпитаксиальных полупроводниковых, металл-полупроводниковых, графеновых и полимерных структур (до монослойных), так и использованием нанолитографических технологий,



ориентированных на массовое производство (модифицированных наноимпринт технологий больших площадей). Приоритетным направлением работ является поиск новых эффективных оригинальных технологических подходов и исследование квантовых свойств, обусловленных трёхмерностью созданных нанобъектов и их строгой периодичностью расположения в пространстве. Конечной целью исследования являются разработанные новые технологии и лабораторные образцы полупроводниковых и гибридных наноприборов и наноматериалов.

Развиваемые нанотехнологии в основном оригинальны и их приоритет закреплён за лабораторией. К таким технологиям, ориентированным на практическое применение, относятся:

- Технология преобразования плоских двумерных микро- и наноструктур в трёхмерные.
- Технология отсоединения монослойных плёнок от монокристаллических подложек.
- Технология импринт- нанолитографии формирования многоуровневых полимерных и гибридных 3D наноструктур больших площадей и новых наноматериалов.
- Технология выращивания и функционализации графеновых однослойных и многослойных структур.

Лаборатория занимается исследованием квантовых явлений как в области наноэлектроники, так и нанофотоники:

- обнаруженной нами гигантской асимметрии магнитотранспорта в трёхмерных (изогнутых) структурах с двумерным электронным газом,
- транспортом двумерного электронного газа при наличии гигантских градиентов электрических и магнитных полей;
- плазмон-поляритонными явлениями в гибридных многослойных периодических наноструктурах;
- сверхбыстрыми фазовыми переходами полупроводник-металл.



В созданных оригинальных терагерцовых, ИК и оптических метаматериалах с 3D резонаторами исследуются оптическая активность и возможность сверхбыстрого управления параметрами материалов.

Возможности формирования широкого спектра оригинальных полупроводниковых, металлических и полимерных наноструктур (трубчатых, спиральных, гофрированных) позволяют разрабатывать наноинструменты для работы с живыми клетками (нейрозонды, наносприцы), матрицы для регенеративной

медицины, сухие адгезивы, сверхгидрофобные покрытия, сенсоры и электростатические актюаторы, полевые наноэмиттеры, интеллектуальные наноматериалы.

Лаборатория имеет задел в области СВЧ электроники и неразрушающей диагностики сложных полупроводниковых A^3B^5 и A^2B^6 структур, предназначенных для изготовления интегральных схем и маломощных СВЧ транзисторов и ИК фотоприемников (5 патентов внедрено в производство).

На фото 1: В чистой комнате класса ISO4 (класса10) размещена установка штамповой импринт-наноитографии Eitre 6 (фирмы Obducat) и установка травления полимеров в кислородной плазме.

На фото 2: Созданная в лаборатории установка выращивания графена методом химического осаждения из газовой фазы. Фото с сайта ИФП СО РАН.

4. Лаборатория №11 нанотехнологий и наноматериалов

Заведующий лабораторией к.ф.-м.н. Селезнёв Владимир Александрович

Лаборатория ориентирована на поисковые исследования, направленные на разработку и развитие новых методов и технологий изготовления наноструктур и наноматериалов, разработку физико-химических основ технологий формирования природоподобных наноматериалов, предназначенных для практических применений в оптике, механике и сенсорике.

Лаборатория организована в 2019 г., из аспирантов и молодых сотрудников, закончивших аспирантуру, основную часть коллектива составляют бывшие молодые сотрудники лаборатории физики и технологии трехмерных наноструктур (рук. член – корреспондент РАН В.Я. Принц) с которой сохранилось тесное взаимодействие и возможность самостоятельного доступа к технологическому и измерительному оборудованию.

Основные направления: - Разработка физико-химических основ технологий формирования высокоаспектных периодических полупроводниковых наноструктур - упорядоченных массивов нанопроволок и наностолбиков; - Развитие физико-химических основ технологий формирования наноструктурированных материалов с использованием метода атомно-слоевого осаждения. Синтез пленок с фазовым переходом металл- полупроводник (VO_2) методом атомно-слоевого осаждения. Исследование процессов формирования однородных пленочных покрытий на трехмерных и высокоаспектных наноструктурах, развитие методов селективного атомно-слоевого осаждения; - Исследование электрофизических и оптических свойств созданных наноструктур и наноматериалов.

В 2020 г. введена в эксплуатацию современная установка атомно-слоевого осаждения металлов, полупроводников и диэлектриков (SI ALD LL, SENTECH, Германия), которая позволяет решить ряд проблем создания новых наноматериалов и наноструктур. Установка атомно-слоевого осаждения позволяет создавать наноразмерные, ультратонкие, конформные пленки с высокой однородностью, проводить широкий спектр процессов атомно-слоевого осаждения, включая осаждение оксидов, нитридов и металлов с помощью термической и плазменной обработки или их комбинации. В состав установки входит система контроля толщины осаждаемых слоев в реальном времени, удаленный источник связанной плазмы с параллельной конструкцией электродов, генератор азота. Установка обеспечивает сверхвысокую однородность толщины формируемых пленок на подложках диаметром до 200 мм. Высокоскоростная ($t \sim 40$ мс) эллипсометрическая система измерения толщины пленок, формируемых в процессе атомно-слоевого осаждения, позволяет полностью автоматизировать процессы формирования многослойных гетеропленок из разных материалов.



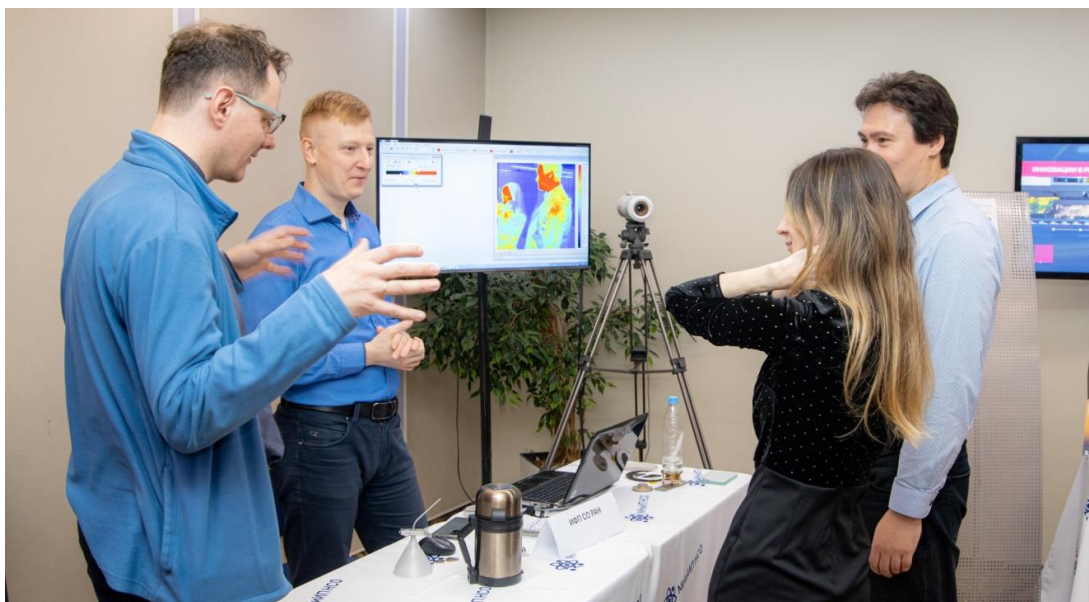
5. Лаборатория №14 физических основ интегральной микрофотозлектроники

Заведующий лабораторией д.ф.-м.н. Ковчавцев Анатолий Петрович

Основными направлениями деятельности лаборатории являются:

- Разработка физико-химических принципов формирования активных и пассивирующих плёночных наноструктур на полупроводниках АЗВ5.
- Фундаментальные исследования электронных процессов в сверхтонких (1-20 нм) диэлектрических слоях.
- Научное приборостроение.

В рамках научных проектов и хоз договоров сотрудниками лаборатории разработаны и созданы медицинские приборы тепловидения.



Артём Настовьяк, Иван Мжельский, участники фестиваля рядом с медицинским тепловизором СВИТ

Видео об истории, деятельности ИФП СО РАН, лекции, репортажи:

<https://www.youtube.com/@ispsbras/featured>

Репортаж из молодежной лаборатории ИФП СО РАН **о выращивании кристаллов** для новейших средств связи. Две молодежных лабораторий: Максим Аксенов, Денис Милахин. (Новосибирское ТВ)
https://www.nsktv.ru/news/technology/v_novosibirskom_institute_fiziki_poluprovodnikov_vyrashchivayut_kristally_dlya_sredstv_svyazi/

О создании «нанолинейки», - шкалы, по которой можно измерять элементы деталей в микро- и нано- электронике. 20 лаб.: Сергей Ситников, Дмитрий Щеглов (Новосибирское ТВ):

https://www.nsktv.ru/news/technology/novosibirskie_fiziki_pervymi_v_mire_sozdali_nanolineyku_dlya_iz_mereniya_mikrodetaley/

О создании лазеров, которые смогут заменить импортное оборудование в оптоволоконной системе связи и телекоммуникации. 37 лаб, Дмитрий Гуляев. Новосибирское ТВ:

https://www.nsktv.ru/news/city/novosibirskie_uchenye_blizki_k_sozdaniyu_otchestvennoy_zameny_per_edatchika_signalov/

Первый в мире **мультищелочной источник спин-поляризованных электронов** (Олег Терещенко, Вадим Русецкий, Иван Коп из ИЯФ), показан ARPES: <https://smotrim.ru/video/2532597>

Адрес ИФП СО РАН: 630090, Новосибирск, пр. Ак. Лаврентьева, 13. **Сайт:** <https://www.isp.nsc.ru/>

Организаторы визита: ИФП СО РАН, оргкомитет ВНКФ-28. **Период проведения:** 1-6 апреля 2024