



**Основные достижения и перспективы
развития Международной научной
лаборатории оптической диагностики им.
Фраунгофера-Степанова**

(МНЛ-ЛОД)

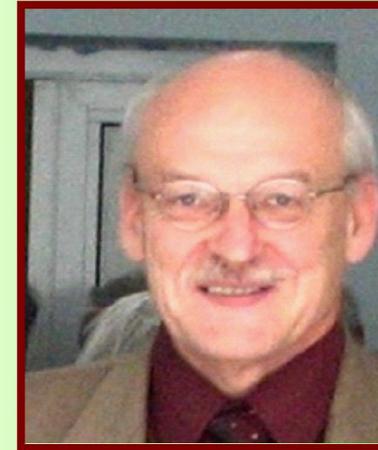
**Проф. д-р Николай Казак
Проф. д-р Владимир Белый**





Идея создания МНЛ-ЛОД

Принадлежит проф. **М.Кренингу**



Идея создания МНЛ-ЛОД
впервые предложена в беседе с **проф. Н. Казаком**
во время визита М. Кренинга в Институт физики НАН
Беларуси



При последующих встречах проф. Кренинг и проф. Казак разработали:



- Стратегию развития МНЛ-ЛОД
- Научно-техническую программу МНЛ-ЛОД
- Направления развития современных оптических методов и технологий неразрушающего контроля и диагностики в промышленности и медицине
- Программу семинаров и встреч





МНЛ-ЛОД



объединяет значительный опыт Института физики НАН Беларуси в области физической оптики и лазерных технологий и ноу-хау Фраунгоферовского IZFP в разработке и применении систем неразрушающего контроля



Дни немецкой науки в Беларуси в 2010 г. (05.10.2010 г., г. Минск)





МНЛ-ЛОД состоит из двух филиалов

Первый филиал – отдел
Фраунгоферовского института
неразрушающего контроля
(Саарбрюкен и Дрезден, Германия);



Второй филиал – основан как лаборатория
фундаментальных и прикладных
исследований ИФ НАНБ (Минск, Беларусь)



МНЛ-ЛОД учреждена в соответствии со следующими документами:

- Соглашение о сотрудничестве между Национальной академией наук Беларуси (НАН Беларуси) и Обществом Фраунгофера Германии (20 июля 2003 г.);
- "Соглашение о создании и поддержке Международной научной лаборатории между Фраунгоферовским институтом неразрушающего контроля и Институтом физики имени Б.И. Степанова Национальной академии наук Беларуси при поддержке Международного научно-технического центра (30 сентября 2005 г.)"
-



Основные направления деятельности МНЛ-ЛОД



Fraunhofer
IZFP

- Разработка методов и устройств тестирования качества продукции в процессе ее изготовления
- Био-нано-технологии. Метрология и сенсоры
- Наука о жизни и здоровье
- Мультисенсорные системы для контроля сложных объектов (самолеты, автомобили, энергетические установки и т.д.) в процессе их функционирования





Разработка современных методов и технологий неразрушающего контроля и диагностики в области промышленности и медицины



Научная деятельность МНЛ-ЛОД происходит в следующих основных направлениях, нацеленных на разработку современных оптических методов неразрушающего контроля:

- Бесселевы световые пучки для оптического неразрушающего контроля
- Гетеродинная и спекл интерферометрия
- Лазерные фемтосекундные технологии
- Микро-нанотехнологии
- Оптические системы неразрушающего контроля





Первые шаги МНЛ- Fraunhofer ЛОД IZFP

Изначально МНЛ-ЛОД в основном финансировалась по Проекту МНТЦ В-1065.

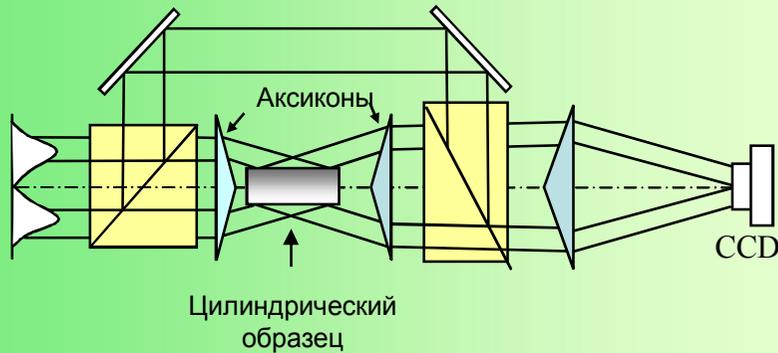
**“Совместная лаборатория оптической диагностики
Фраунгофера-Степанова. Разработка прикладных
методов и устройств оптической диагностики”
(01.06.2004 – 31.10.2007)**



Дни немецкой науки в Беларуси в 2010 г. (05.10.2010 г., г. Минск)



Оптические профилометры для контроля поверхности цилиндрических изделий в машиностроении



Оптическая схема двухплечевого профилометра, основанная на использовании конических пучков

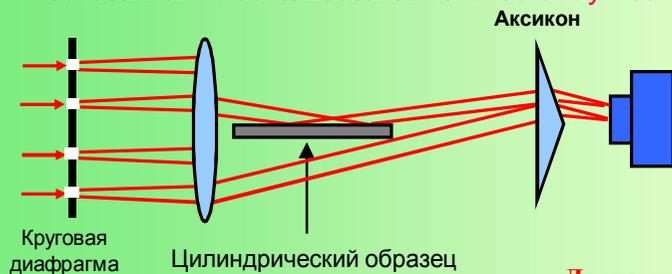


Схема одноплечевого профилометра для тестирования цилиндрических поверхностей

Достоинства оптических профилометров данного типа:

- Высокое быстродействие;
- Возможность профилометрии шероховатых поверхностей;
- Виброустойчивость одно-плечевых схем профилометров;
- Высокая точность измерений отклонений профиля от цилиндрического ($\sim 30\text{nm}$)

Разность максимального и минимального измеренных радиусов ролика:
 δR_{max} (№1) $\approx 14.4 \text{ мкм}$
 δR_{max} (№2) $\approx 10.7 \text{ мкм}$
 δR_{max} (№3) $\approx 0.86 \text{ мкм}$

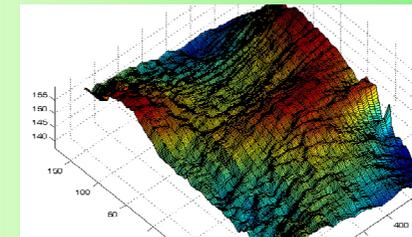
Фотографии роликов подшипников, использованных при тестировании профилометров:

- Ролик № 1: длина – 39 мм, диаметр – 3.8 мм;
- Ролик № 2: длина – 59 мм, диаметр – 5.8 мм;
- Ролик № 3: длина – 17.9 мм, диаметр – 17.8 мм;

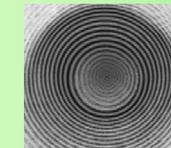


Лабораторный макет профилометра.

Профилометры осуществляют параллельное измерение всей цилиндрической поверхности, что исключает необходимость вращения объекта в процессе измерения



Трехмерный профиль металлической трубки.

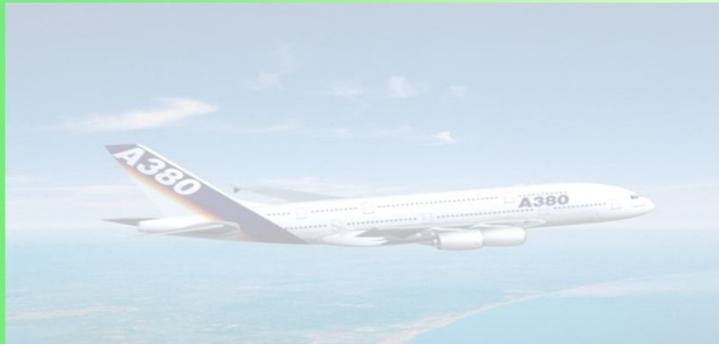


Типичная профилограмма

Разработаны оптические профилометры, основанные на применении конических пучков. Предназначены для контроля качества внутренних и внешних цилиндрических поверхностей различных технических изделий. Профилометры перспективны для экспресс-анализа и контроля промышленных изделий на машиностроительных предприятиях.

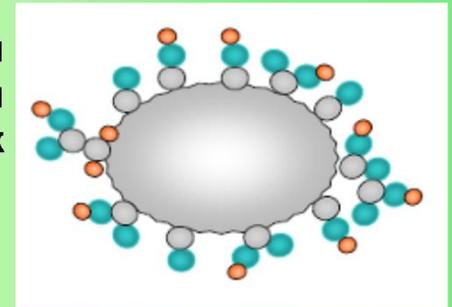
Новые нанозащитные покрытия на Al и его сплавах

Проблема антикоррозийной защиты самолетов

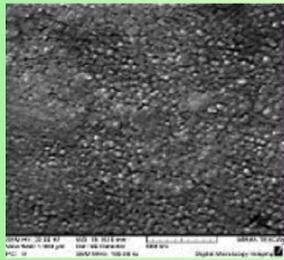


Актуальной проблемой, в особенности для авиации, является антикоррозийная защита Al и его сплавов, а также мониторинг состояния поверхности!

Предложена и осуществлена технология защиты с использованием химически активированных наноалмазов как антикоррозийных агентов.



Тестирование коррозии (морская вода)



Структура тонкокристаллических нанопокровтий обеспечивает более эффективную защиту от агрессивных сред и коррозионных факторов окружающей среды.

Нанопокровтия

Улучшенное защитное покрытие

Стандартное защитное покрытие

Преимущества технологии:

Стандартное покрытие

Установлено, что наноуглеродные компоненты пленки являются наиболее эффективными усилителями защитных пленок на алюминии и его сплавах.

Нанопокровтие

- Увеличение износостойкости антикоррозийных покрытий самолетов в 4 раза
- Увеличение адгезии верхнего покрытия самолета в 5 раз
- Уменьшение трения, обледенения и веса покрытия в 2 раза



Поляризационный интерфероскоп для он-лайн контроля

Промышленные потребности

производства солнечных элементов

Цель

он-лайн контроль качества производства поликристаллических кремниевых вейферов и кремниевых элементов для целей детектирования трещин, дефектов и внутренних напряжений

Технические характеристики

Быстродействие: 1,5 с/вейфер
Пространственное разрешение: ~50 нм,
Размер вейфера > 150 x 150 мм
Тип вейфера: Поликристаллический со шлифованной, шероховатой и металлизированной поверхностями

Особое условие

Стабильное функционирование в условиях производства

Разработанное устройство перспективно для контроля качества продукции быстроразвивающейся солнечной энергетики (вейферы и солнечные элементы) для детектирования микротрещин и областей с опасным остаточным механическим напряжением. Скоростная регистрация и обработка информации позволяет использовать данное устройство в условиях массового производства.

Решение



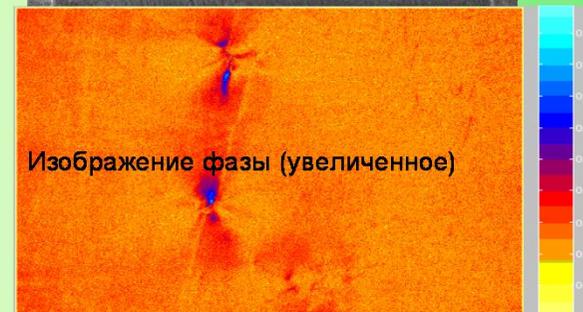
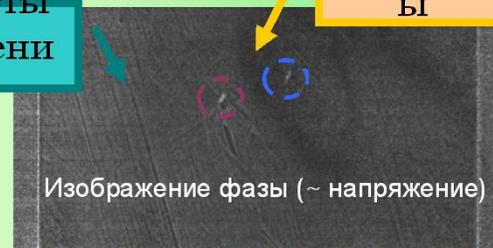
Положение дел

Разработан прототип прибора и создано программное обеспечение



Градиенты напряжений

Трещины

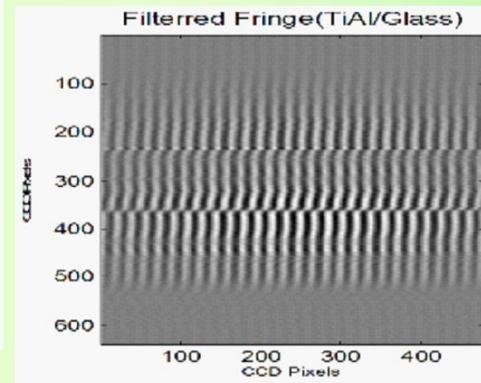
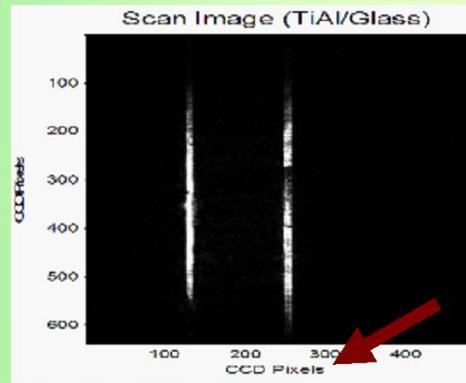
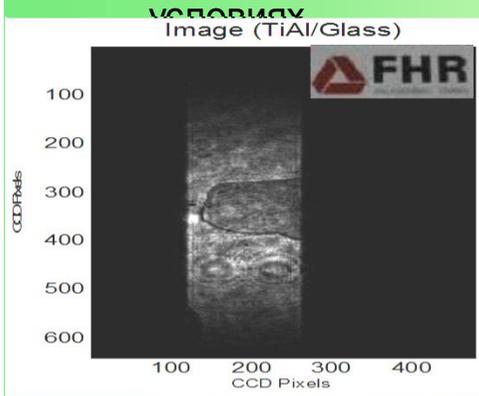


Микротрещины в поликристаллических кремниевых вейферах

Интерферометрический профилометр для характеристики микроструктуры поверхности

Цель

- Измерение профиля с нанометровой точностью (<5 нм)
- Отдаленный контроль (>30 см)
- Функционирование в фабричных



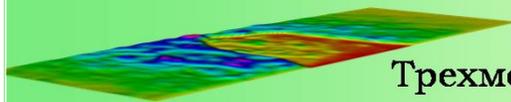
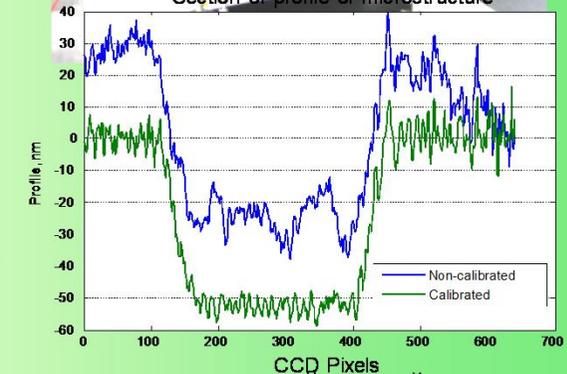
Применение

- Плазменное травление/контроль глубины осаждения непрозрачных материалов

Etched TiN : TiAl/CrO :
Cr Metal/Dielectric
Samples



Section of profile of microstructure



Трехмерный профиль

Предложена новая технология и разработан прототип устройства интерференционного профилометра, основанный на ней, для измерения параметров поверхности микроструктур с нанометрической точностью в условиях производства.

Преимущества устройства - возможность его использования в условиях :

- 1) вибрации
- 2) неточности позиционирования образца
- 3) больших рабочих расстояний.

Разработанные методы оптического контроля перспективны для контроля процесса плазменного травления (распыления) в режиме реального времени.

Эта работа была выполнена совместно в фирмой Sentech (Германия)



Дни немецкой науки в Беларуси в 2010 г. (05.10.2010 г., г. Минск)

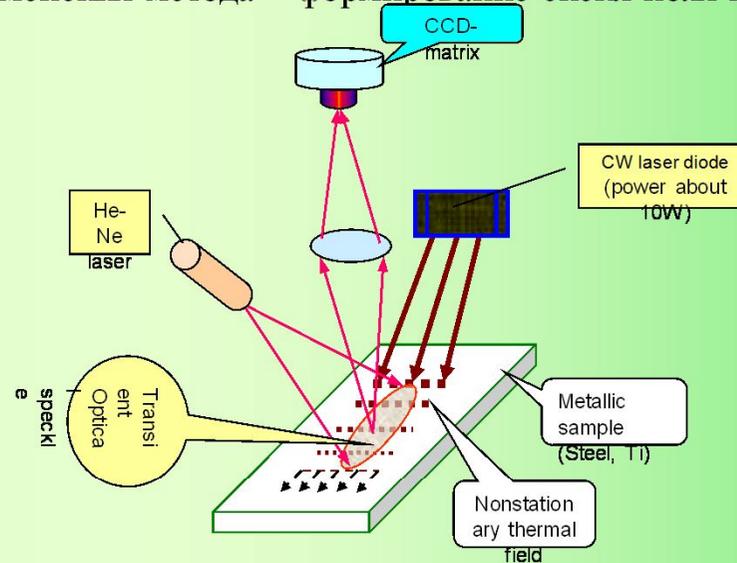


Новый спекл-фотометрический метод измерения коэффициента тепловой диффузии и твердости металлов и сплавов

Разработан метод измерения коэффициента тепловой диффузии (КТД) с широким классом прозрачности и непрозрачности материалов. Необходимое условие применения метода – формирование спекл-поля в отраженных или проходящих лазерных пучках.



Пример материала, который использовался для разработки метода: образец сделан из титана с 4 различными зонами



Оптическая схема спекл-фотометрического измерителя теплопроводности и твердости материалов.

Нагревание материалов может осуществляться:

Лазером, импульсной лампой, электрическим током и т.д.

- Пространственное разрешение ~ 100мкм.
 - Возможно измерение неплоских поверхностей
- Быстродействие: менее 1 сек/измерение

Преимущества метода:

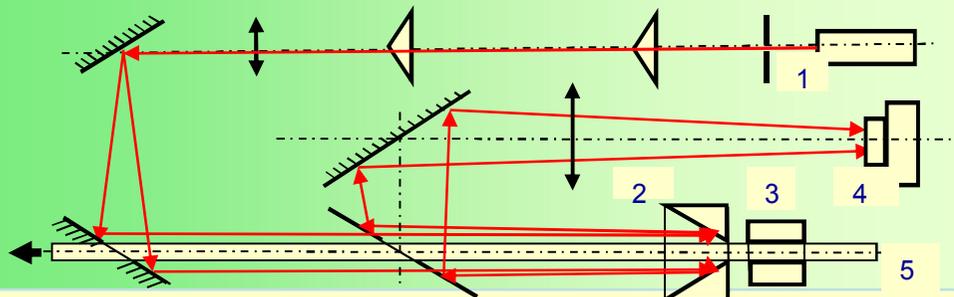
- Метод является полностью оптическим, не использующим приемников теплового излучения;
- Высокая разрешающая способность позволяет измерять пространственные неоднородности КТД материала;
- Позволяет измерять КТД анизотропных материалов;
- Возможно косвенное определение параметров твердости материалов и усталости на основе изучения корреляции данных параметров и измеренного КТД.

Возможно развитие метода применительно к контролю толщины и качества закаленного слоя на поверхности металлов.



Прибор для дистанционной оптической диагностики «поверхностных и приповерхностных дефектов движущейся проволоки»

Устройство предназначено для оптического детектирования поверхностных и приповерхностных дефектов (трещин, пор, внутренних дефектов) движущейся проволоки. Для полно-азимутального видения цилиндрической поверхности проволоки используется коническая оптика, которая формирует конические (бесселевые) лазерные пучки со структурой, максимально адаптированной к профилю объекта. Устройство применимо для неразрушающего дистанционного контроля качества проволоки в процессе ее производства.



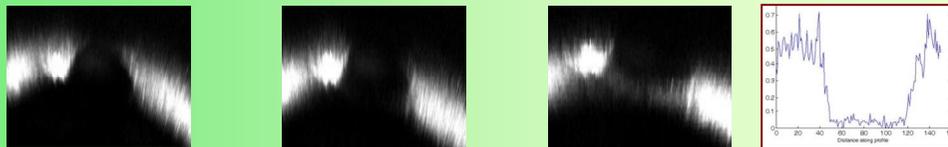
Оптическая схема устройства для дефектоскопии проволоки: 1- He-Ne лазер; 2- конический отражающий элемент; 3- индуктор для возбуждения нестационарного теплового поля; 4- скоростная CCD камера; 5- исследуемый образец.



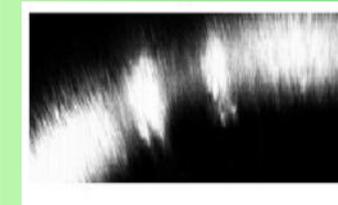
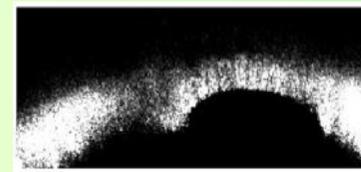
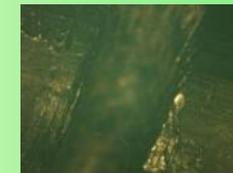
Экспериментальный образец устройства для детектирования поверхностных и приповерхностных дефектов движущейся проволоки.

Характеристики экспериментального образца устройства:

- высокая виброустойчивость (работа в условиях производства);
- способность контроля изделий с неоптическим качеством поверхности;
- диаметр исследуемых образцов 1-10мм;
- контролируемый размер дефектов менее 100мкм;
- скорость движения проволоки до 2м/с;
- индукционный нагрев для выявления приповерхностных и объемных дефектов.



Фрагменты CCD- изображений, показывающие наличие дефекта проволоки и типичный перепад интенсивности, позволяющий определить размер дефекта.



Вид некоторых дефектов и их спекл- изображений

Новые методы лазерной спектроскопии для анализа низких концентраций газов

Принцип: Анализ колебательно-вращательного поглощения спектральных линий (отпечатки химикатов)

Газовый чувствительный элемент (основа газоанализатора):

Внутренний объем: до 5 мм³

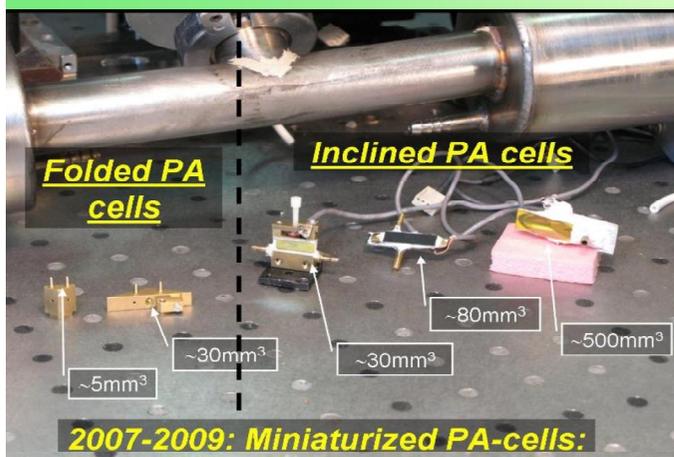
Минимальное определяемое поглощение: < 10⁻⁸ см⁻¹ Вт Гц⁻¹/2

Эквивалентный оптический путь L за 1 сек детектирования

Лазер 1 МВт : L > 1 км

1 Вт : L > 1000 км

В будущем: Детектирование газа с помощью компактных лазеров – многообещающе для применения миниатюрных фото-акустических



Преимущества:

- Высокая чувствительность детектирования
- Надежное определение химикатов

Применение:

Определение небольших утечек газа в промышленности,
Определение взрывных веществ в аэропортах,
Применение в науке о жизни к маленьким биологическим образцам (до клеточного уровня)

Преимущества нашего подхода к новым фото-акустическим клеткам:

- Низкий фон окна
- Акустическая изоляция от окружающей среды
- Простой дизайн
- Широкая чистая апертура
- окно Брюстера: лазерное внутррезонаторное применение и многокомпонентный анализ
- Частота модуляций: 2 - 60 кГц
- Недорогие компоненты
- Маленькие размеры
- Способность к адаптации



Мультисенсорные системы основанные на нанопористом анодном алюминии



Мультисенсоры для контроля концентрации водорода и озона

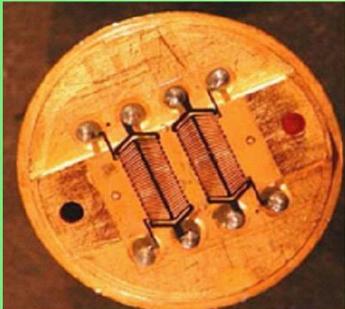


Рис.1. Микросенсорный контроль концентрации водорода

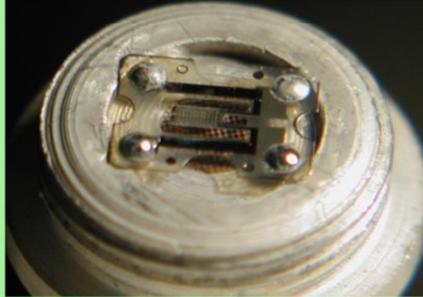


Рис.2. Микросенсорный контроль концентрации озона

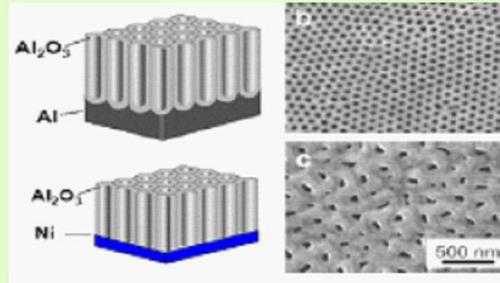


Рис.3. Мульти-нано-сенсорные системы

Возможные области применения:

Мультисенсорные системы для нанобиотехнологии, управления медицинской окружающей среды, машиностроения, авиации и микроробототехники

Разработаны тонкопленочный оксид и сочетание термокatalитического и термокондуктометрического сенсорного контроля на основе термо-электрического эффекта. Они позволяют селективно определить концентрацию водорода (0.01-100 об. %) в атмосфере воздуха (Рис. 1). Открыта возможность конструирования на основе данного принципа выборочного сенсорного контроля горючего газа (Рис. 2).

Преимущества:

- определение высокого уровня концентрации
- Относительно дешевый
- возможность применения в трудных условиях

Будущее применение алюмини-оксидной технологии включает:

- Универсальный биочип (multi-patch clamping)
- ИК-сенсоры
- SNOM матрицы
- Поляризационная микрооптика

Предложены высокоэффективные рентгеновские датчики с высоким пространственным разрешением около 1 мкм и высокой чувствительностью на порядок выше, чем у обычных датчиков



Устройство лазерной сканирующей микроскопии



Перспективные направления исследований в области медицинской диагностики в ИФ НАНБ

На основе лазерного сканирующего микроскопа создан комплекс оборудования, позволяющий осуществлять многофотонное возбуждение биологических объектов, двухфотонную время-разрешенную лазерную сканирующую микроскопию клеток и тканей (FLIM-FRET), рамановскую микроспектроскопию. Данный комплекс позволяет проводить исследования в передовых направлениях современной медицинской диагностики:

- Диагностика ранних патологий и канцерогенных заболеваний на клеточном уровне
- Взаимодействие лекарственных препаратов с внутриклеточными структурами и разработка на этой основе эффективных лекарственных средств
- Установление механизмов повышенной подвижности раковых клеток и разработка методов предотвращения раннего появления метастаз

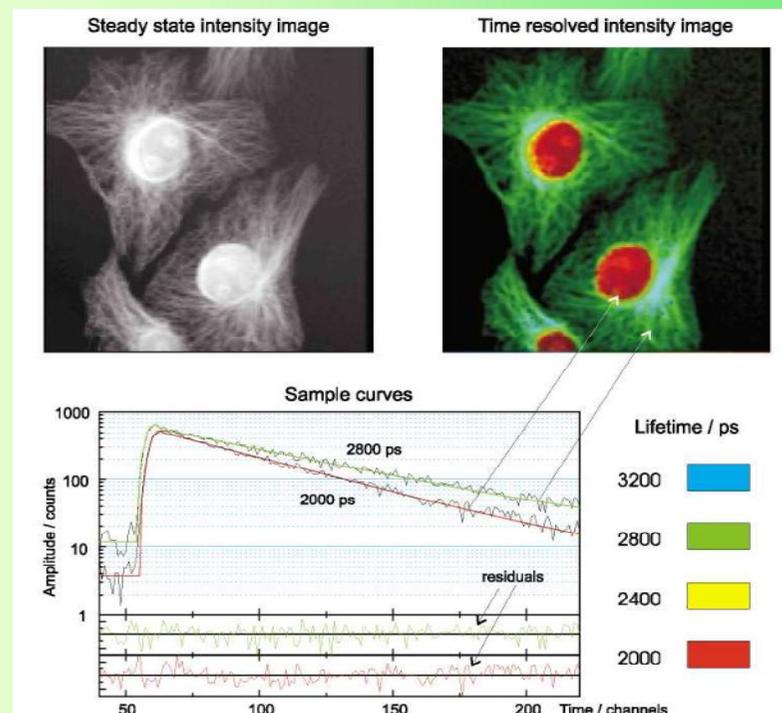


Микроскопия на основе FLIM

- Клетки, окрашенные лекарством против рака

Методы FLIM:

- Измерение параметров окружающей среды внутри живой клетки
- Флуоресцентный резонансный перенос энергии (FRET)
- Авто-флуоресцентная микроскопия тканей
- Характеристика свойств наноструктур

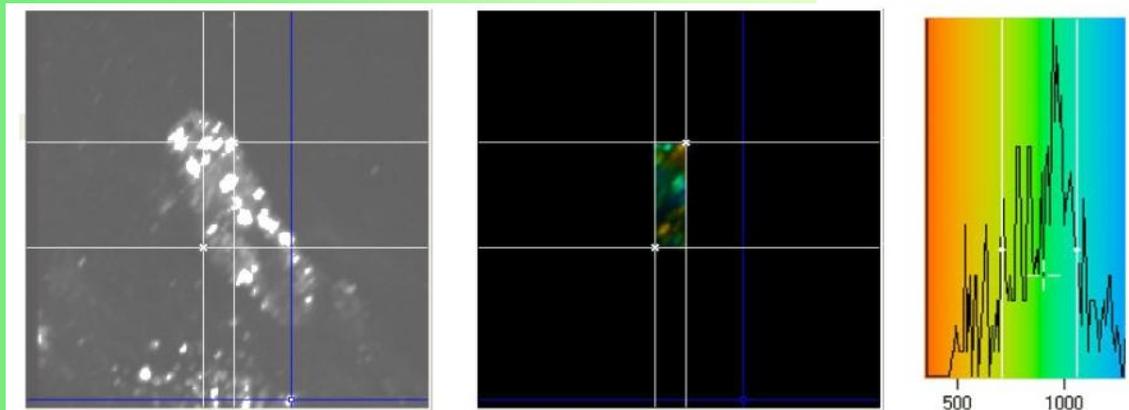
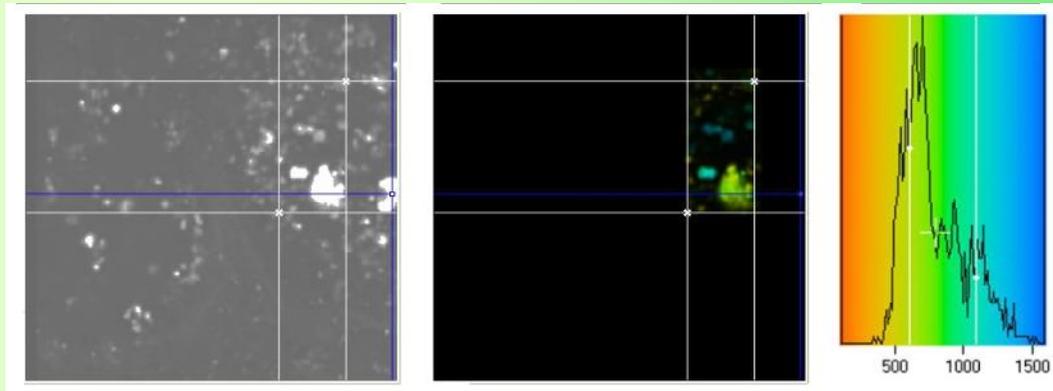


- Кривые затухания флуоресценции в различных отделениях клетки

В ИФ НАНБ впервые использовался метод FLIM для изучения внутриклеточного распределения антираковых препаратов. FLIM позволяет установить местоположения и механизмы взаимодействия молекул лекарства с внутриклеточными органеллами. Полученные результаты позволяют контролировать концентрацию лекарств в клетке и оптимизировать дозировку препарата при терапевтическом лечении. Используя данный метод была исследована динамика эндогенных флуорофоров (изначально присутщих клетке), которые играют самую важную роль в жизнедеятельности клеток в здоровых и раковых тканях. На этой основе предложен метод ранней диагностики злокачественных опухолей, а также возможно создание недорогих портативных устройств.

Диагностика здоровых тканей и раковых тканей щитовидной железы (двухфотонная время-разрешенная лазерная сканирующая микроскопия тканей)

Образцы здоровых тканей



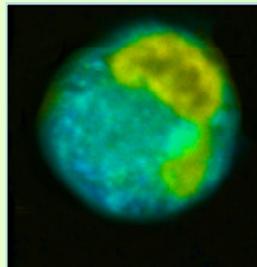
Образцы раковых клеток

FLIM метод был использован для исследования окислительно-восстановительного статуса клеток тканей щитовидной железы. С этой целью были исследованы времена жизни флуоресценции двух эндогенных флуорофоров, определяющих редокс состояния клетки, в здоровых и раковых тканях щитовидной железы. Установлено, что увеличение среднего времени жизни флуоресценции эндогенных флуорофоров в раковых тканях дает прямую информацию о патологических изменениях.

Лазерная сканирующая микроскопия в сочетании с технологией FLIM для управления эффективностью связывания противораковых препаратов

В МНТЦ-МНЛ-ЛОД впервые использован метод FLIM для изучения внутриклеточного распределения антираковых препаратов. FLIM позволяет установить местоположения и механизмы взаимодействия молекул лекарства с внутриклеточными органеллами. Полученные результаты позволяют контролировать концентрацию лекарств в клетке и оптимизировать дозировку препарата при терапевтическом лечении. Используя данный метод была исследована динамика эндогенных флуорофоров (изначально присущих клетке), которые играют самую важную роль в жизнедеятельности клеток в здоровых и раковых тканях. На этой основе предложен метод ранней диагностики злокачественных опухолей, а также возможно создание недорогих портативных устройств.

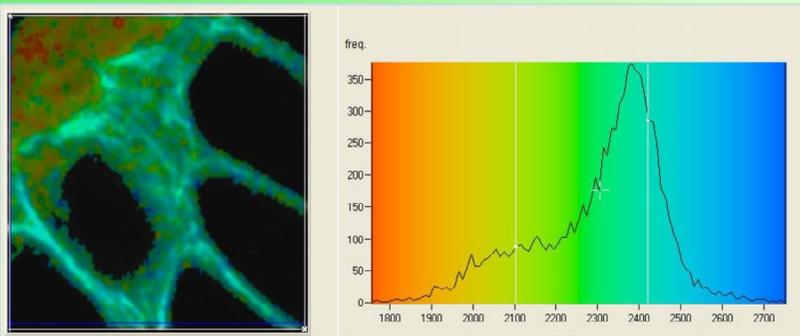
Показано, что сочетание FLIM и FRET позволяет исследовать взаимодействие между внутриклеточными структурами на нанометрическом уровне. Этот метод дает возможность исследовать структурную динамику протеинов и взаимодействие между протеинами, которое открывает новые перспективы в молекулярной биологии и наномедицине. Метод FLIM-FRET позволяет изучить взаимное расположение антител в органеллах на расстоянии 5 нм, чего нельзя достичь методами оптической микроскопии.



FLIM изображение флуоресцентного времени жизни распространения противораковых препаратов в раковой клетке (эпителиальная клетка почки зеленой обезьяны)



Устройство лазерной сканирующей микроскопии



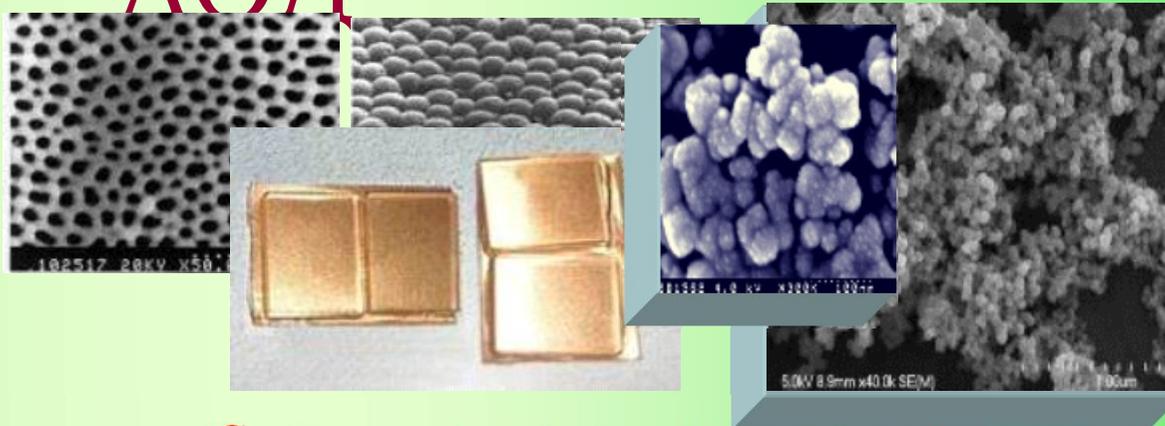
Слева: Межклеточное распределение микротрубочек с маркировкой антителом-Alexa 488 конъюгат дает информацию о структуре скелета и клеточной подвижности. Справа: Распространение флуоресцентного времени жизни (в пикосекундах). Разработка методов для подавления подвижности раковых клеток сможет уменьшить риск формирования метастазов.

Применение FLIM:

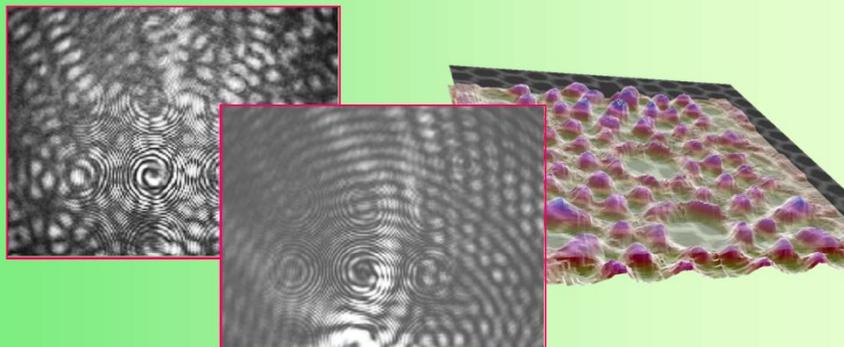
- Измерение параметров окружающей среды внутри живой клетки
- Флуоресцентный резонансный перенос энергии (FRET)
- Авто-флуоресцентная микроскопия тканей
- Характеристика свойств наноструктур

Будущие технологии МНТЦ-МНЛ-ЛОД

Бионаносенсоры и методы тестирования основанные на наноалмазах и пористой технологии Al_2O_3



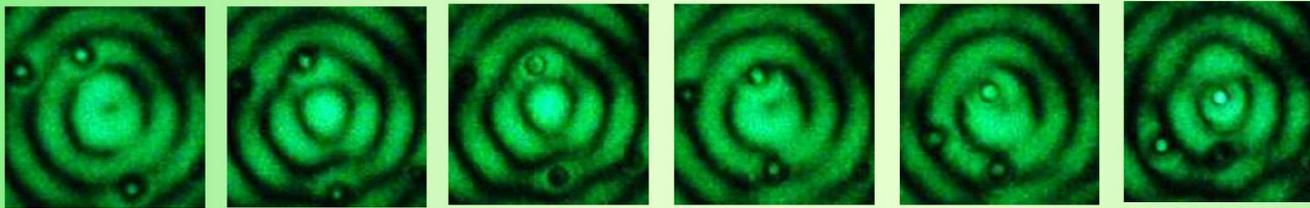
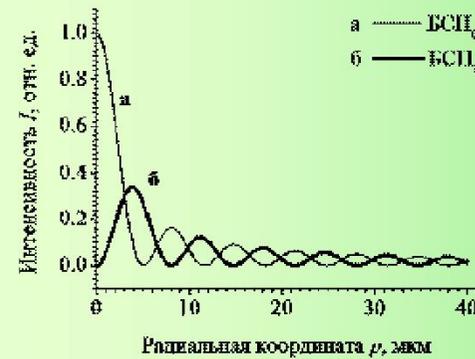
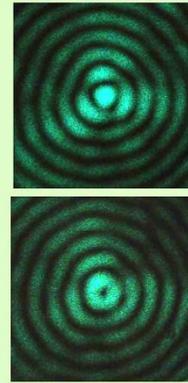
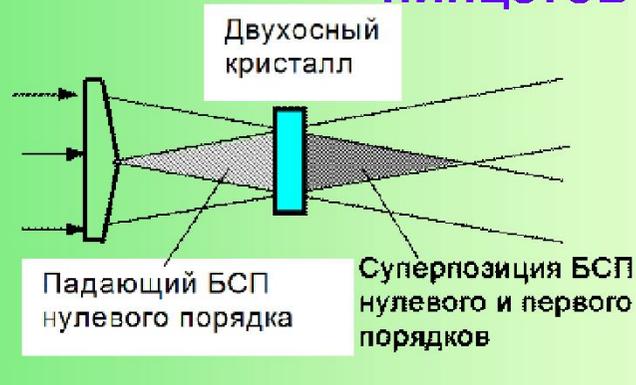
Спекл и опто-акустические методы характеристики материалов и дистанционного контроля в промышленности



Методы и устройства для характеристики материалов в нано-масштабе (основанные на конфокальной микроскопии, пространственно-разрешенной элеспометрии и скатерометрии и SNOM)



Разработка нового поколения оптических пинцетов на бесселевых пучках

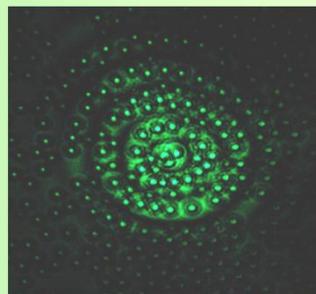
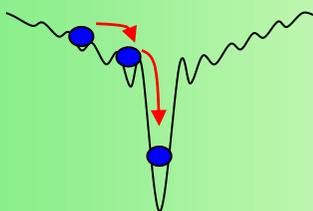


Манипуляция микрочастицами с пинцетами на бесселевых пучках

применение:

- создание устойчивых коллоидных структур путем захвата микрочастиц в желаемые 2 и 3-мерные структуры
- производство искусственных band-gap материалов и фотонных кристаллов
- биомед применение включающее возможность манипуляции липосомами и отдельными клетками

Манипуляция микрочастицами с помощью БСП



Удержание большого числа микрочастиц оптической ловушкой на основе бесселева пучка .

Для манипуляции микрочастицами применяются оптические пинцеты, в которых используются градиентные силы, величина которых пропорциональна градиенту интенсивности поля.

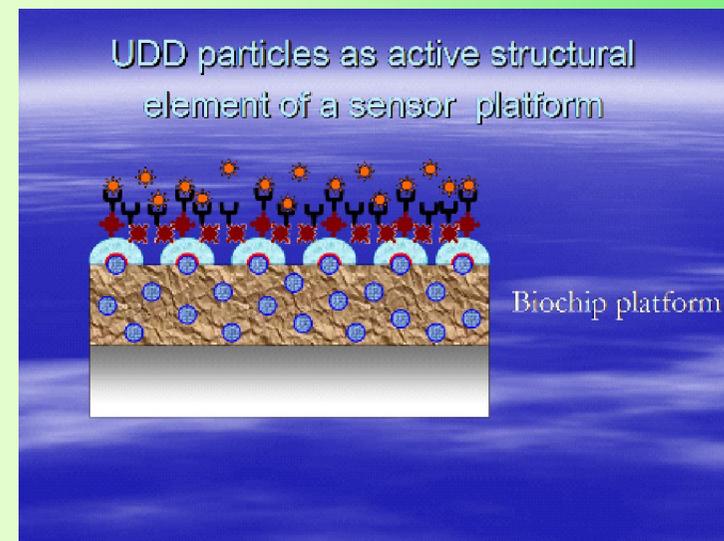
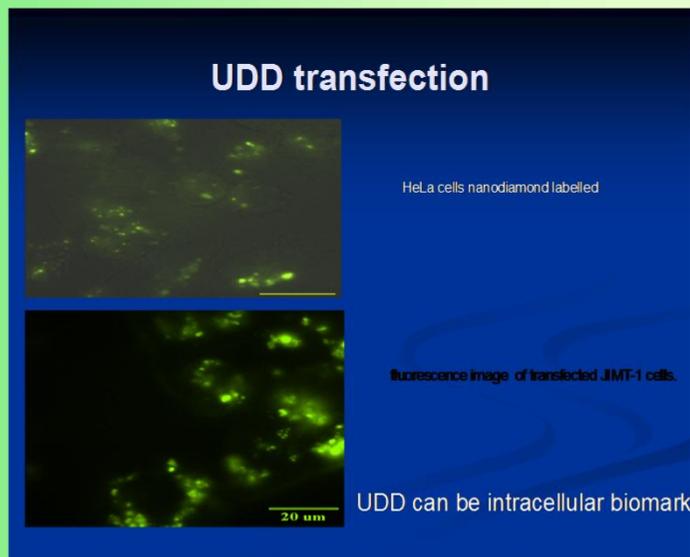
Оптические пинцеты на основе БСП характеризуются:

- большими значениями градиентных сил;
- самовосстановление поперечной структуры ловушки после захваченной микрочастицы;
- комбинация этих свойств позволяет удерживать в области осевого луча одновременно большое число микрочастиц.



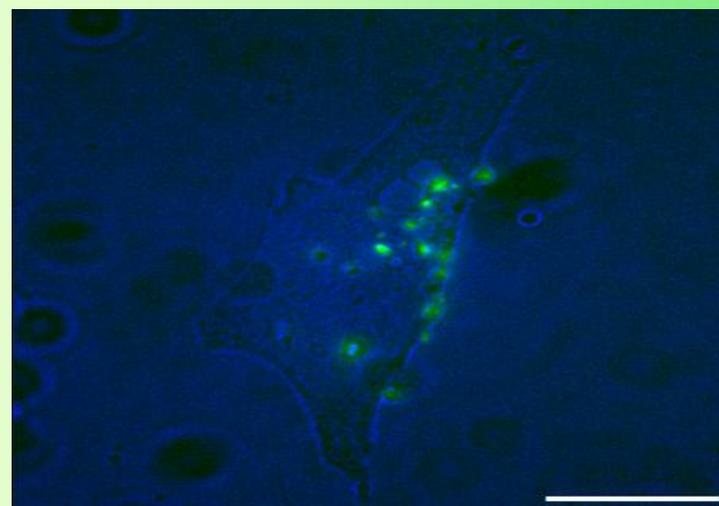
Создание цепи микрочастиц с помощью бесселевых пинцетов

Био-нано-сенсоры на основе наноалмазов и поверхностном плазмонном резонансе



•Применения

- биомедицинская оптика (доставка лекарств, визуализация клеток, диагностика);
- биохимический анализ;
- биотехнология и контроль качества пищевых продуктов;
- экологический мониторинг.



Достижения МНЛ-ЛОД в области выполнения проектов и контрактов

К настоящему времени ЛОД выполнила:

- крупный международный проект МНТЦ В-1065
- 4 партнерских проекта МНТЦ и 1 регулярный проект МНТЦ
- 10 прямых контрактов с Фраунгоферовским институтом неразрушающего контроля и другими промышленными предприятиями Германии и Евросоюза
- начато выполнение двух дополнительных партнерских проектов и 3 прямых контрактов
- выполняется прямой контракт с Национальным лазерным центром ЮАР
- выполняется контракт с Королевским Центром науки и технологий Саудовской Аравии
- предложено 20 инновационных идей, касающихся опто-акустики, интерферометрии, микроскопии, фемто- и нанотехнологий
- подано 15 совместных патентов
- опубликовано более 50 совместных статей и тезисов.

В начале 2011 г. планируется заключение крупных контрактов с российской авиационной промышленностью в рамках программы «Роснано», а также с Южной Кореей в области бионанотехнологий.



Перспективы новых направлений МНЛ-ЛОД связаны с

- разработкой бионаносенсоров для ранней диагностики раковых заболеваний
- созданием технологии повышения коррозиостойкости металлов с использованием наноалмазов
- разработкой и созданием нового поколения оптических пинцетов для изготовления фотонных материалов и наноинжиниринга, а также для лечения заболеваний на уровне отдельных клеток
- созданием новых методов и приборов, основанных на многоканальной лазерно-акустической дефектоскопии, а также устройств контроля изделий микро- и наноэлектроники на основе эллипсометрии с высоким пространственным разрешением
- разработкой нового поколения рентгеновских датчиков, инфракрасных сенсоров с высокой чувствительностью и пространственным разрешением, а также созданием мультисенсорных систем с целью ранней диагностики различных заболеваний на клеточном уровне.



Перспективы развития оптической медицинской диагностики МНЛ-ЛОД

- Одним из новых актуальнейших направлений исследований для ЛОД является развитие медицинской диагностики на основе конфокальной лазерной сканирующей микроскопии и фемтосекундной спектроскопии. В ЛОД впервые в Республике Беларусь развивается новейший инновационный метод конфокальной лазерной микроскопии с разрешением по времени (называемый в зарубежной литературе FLIM – fluorescence lifetime imaging). Применение этого метода позволит вывести микроскопическую медицинскую диагностику в РБ на качественно новый уровень, соответствующий высоким современным мировым стандартам. С использованием такого инновационного метода микроскопии на самом передовом научном уровне будут:
 - изучено пространственное распределение и динамика эндогенных (характерных для тканей) флуорофоров, определяющих основные биологические функции клеток и тканей; влияние патологических изменений живых тканей и клеток на оптические характеристики флуорофоров с целью создания методик ранней диагностики раковых заболеваний. (Совместно с Минским городским онкологическим диспансером).
 - разработаны методы целенаправленной доставки новых антираковых лекарственных препаратов к пораженным клеткам, исследовано их взаимодействие с внутриклеточными структурами с целью создания наиболее эффективного химиотерапевтического препарата. (Совместно с «Диалек»).
 - исследована структура и динамика цитоскелета здоровых и раковых клеток в составе тканей (in vivo), влияние заболевания на структуру внеклеточной ткани и повышенную подвижность раковых клеток с целью разработки методов, снижающих скорость появления метастаз в организме больного. (Совместно Минским гос. Медуниверситетом).



Инновационные пути развития МНЛ-ЛОД

1. Лазерная акустика в сочетании с гетеродинной и фоторефрактивной интерферометрией для обнаружения дефектов в непрозрачных материалах (стали, композиты, наноструктуры) (Проект МНТЦ В-1628)
2. Разработка и создание нового класса оптических пинцетов для манипуляции микро- и наночастицами с целью их применения: а) в нанотехнологии для создания искусственных коллоидных структур типа фотонных кристаллов; б) в нанохимии для сортировки частиц; в) в нанобиологии и наномедицине для препарирования отдельных биоклеток (работы проводятся в рамках контракта с Саудовской Аравией)
3. Разработка оптического дистанционного бесконтактного метода диагностики тела человека с целью определения концентрации гликолизированного гемоглобина в крови и обнаружения таких заболеваний как анемия и диабет (готовится контракт с Южной Кореей)
4. Разработка оптического метода и прибора ранней диагностики заболеваний простаты на основе время-разрешенной флуоресцентной спектроскопии в комбинации с фрактальным подходом (в рамках совместного проекта с Южной Кореей, IZFP и Siemens)



ISL-LOD Sustainability

- Объединение опыта обоих партнеров позволило разработать ряд уникальных методов и создать устройства оптической диагностики и неразрушающего контроля в промышленности, биологии и медицине.
- В настоящее время МНЛ-ЛОД в состоянии формулировать и решать новые научно-технические задачи по требованию конкретных промышленных партнеров и фирм из Германии, Беларуси, России и стран Европейского союза.



Благодарим за внимание



Институт физики Национальной академии наук Беларуси, Минск



Дни немецкой науки в Беларуси в 2010 г. (05.10.2010 г., г. Минск)

