



ИНСТИТУТ АВТОМАТИКИ И ЭЛЕКТРОМЕТРИИ СО РАН



630090, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 1

тел. (383) 333-37-75, факс (383) 333-38-63

e-mail: potaturkin@iae.nsk.su



**Программа Президиума РАН № 27
«Основы фундаментальных исследований
нанотехнологий и наноматериалов»**

Раздел Программы: 4. Диагностика наноструктур

**Научное направление Программы:
4.3. Оптические методы и спектроскопия**



**Проект «Разработка и исследование
системы терагерцовой диагностики
на основе фемтосекундных волоконных лазеров
для изучения динамики неравновесных процессов
в квантовых системах пониженной размерности»**

Организация Исполнитель:

Институт автоматики и электрометрии СО РАН

Научный руководитель проекта:

зам.директора, д.т.н., профессор О.И. Потатуркин



Цель проекта

Разработка и исследование систем терагерцовой диагностики (с применением оптико-терагерцовых и терагерцово-оптических преобразователей на основе взаимодействия фемтосекундных импульсов волоконных лазеров с нелинейно-оптическими средами и полупроводниковыми гетероструктурами), ориентированных на:

- изучение динамики процессов формирования, трансформации и релаксации элементарных и коллективных возбуждений в квантовых системах пониженной размерности,
- характеризацию качества полупроводниковых наноструктур в процессе зарождения и формирования без нарушения их функционирования.

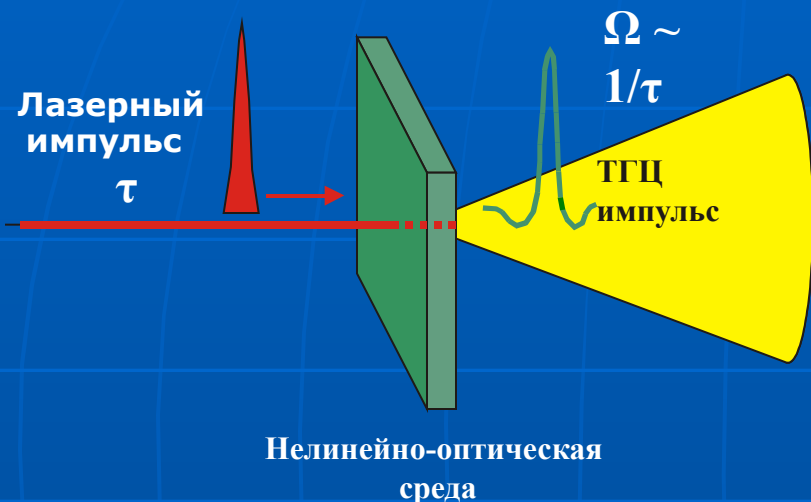


Задачи проекта

- разработка и изготовление макетных образцов оптико-терагерцового и терагерцово-оптического преобразователей на основе нелинейных эффектов в оптических средах и фотоэффектов в полупроводниковых гетероструктурах с применением волоконно-оптических (в т.ч. двухканальных) фемтосекундных лазеров;
- разработка и создание малогабаритной системы терагерцовой диагностики с субпикосекундным разрешением, ориентированной на получение прямой информации об энергетическом спектре, динамике и временной эволюции электронной заселенности квантовых систем;
- исследование основных параметров оптико-терагерцового и терагерцово-оптического преобразователей и системы терагерцовой диагностики в целом.



Генерация терагерцового излучения



$$\eta = (2\Omega^2 d^2 LI / \epsilon c^3 n^2 n_{\text{ТГц}}) A$$

$$A = \exp(-\alpha_{\text{ТГц}} L/2)$$

$$\sinh^2(\alpha_{\text{ТГц}} L/4) / (\alpha_{\text{ТГц}} L/4)^2$$

$$d = -rn^4/4$$

- η - эффективность преобразования;
- d - квадратичная нелинейность;
- L - толщина НЛО среды;
- I - интенсивность лазерного излучения;
- ϵ - диэлектрическая проницаемость;
- c - скорость света в вакууме;
- n - групповой показатель преломления;
- $n_{\text{ТГц}}$ - ТГц показатель преломления;
- $\alpha_{\text{ТГц}}$ - ТГц показатель поглощения;
- A - потери из-за ТГц поглощения;
- r - электрооптический коэффициент

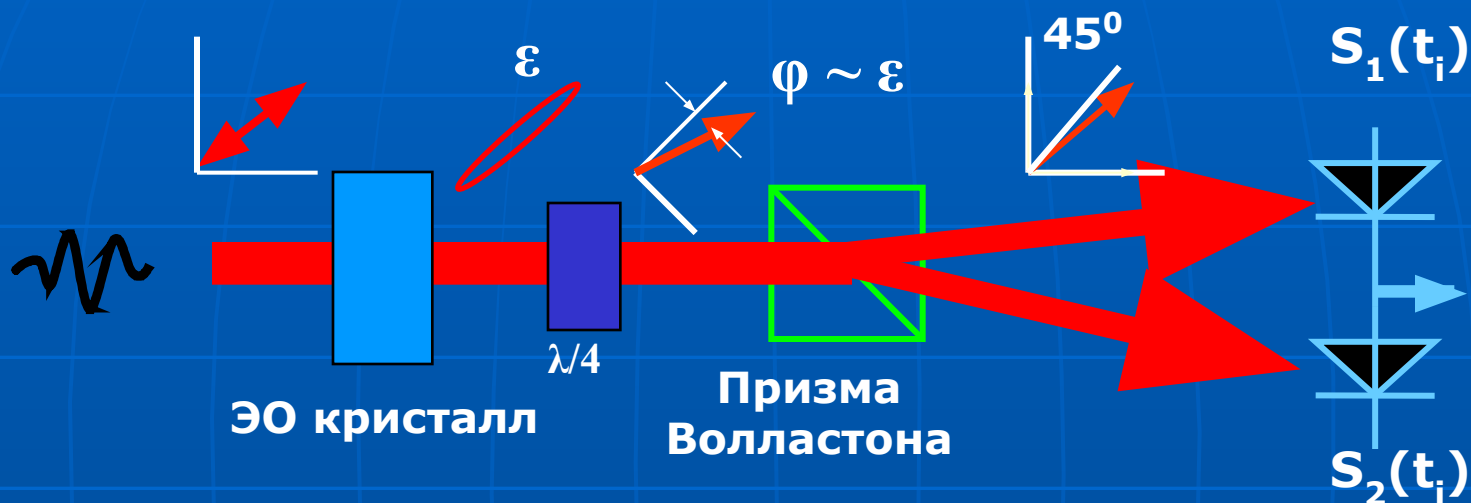
Требования к нелинейно-оптической среде:

- высокая нелинейность (большие значения r)
- условия фазового синхронизма ($n = n_{\text{ТГц}}$)
- малое поглощение на лазерной и терагерцовых частотах (малые значения α и $\alpha_{\text{ТГц}}$)
- высокая лучевая прочность

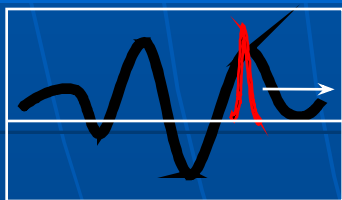
Оптические методы генерации ТГц излучения основаны на взаимодействии коротких мощных лазерных импульсов с веществом, которое приводит к возникновению импульса поляризации, релаксация которых за времена $10^{-13} - 10^{-12}$ с создает волну электромагнитного излучения ТГц спектрального диапазона



Электрооптическая регистрация ТГц излучения



$$\begin{aligned}
 S_2(t_i) - S_1(t_i) &= I \cos^2(45^\circ - \varphi(t_i)) - I \sin^2(45^\circ - \varphi(t_i)) = \\
 &= I \sin(90^\circ - 2\varphi(t_i)) = I \sin 2\varphi(t_i) \approx I 2\varphi(t_i) = \\
 &= I 2\pi L r E_{\text{ТГц}}(t_i) / \lambda
 \end{aligned}$$



$$\tilde{E}_{\text{ТГц}}(t_i) \xrightarrow{F} \tilde{E}_{\text{ТГц}}(\Omega)$$

Регистрация ТГц излучения поляризационно-оптическим методом основана на эффектах Погкельса или Керра: электрическое поле терагерцового импульса, проходящего через нелинейно-оптический кристалл, вызывает изменение эллипсоида показателей преломления кристалла, которое считывается пробными импульсами лазерного излучения.



Блок-схема «pump-probe» терагерцового спектрометра



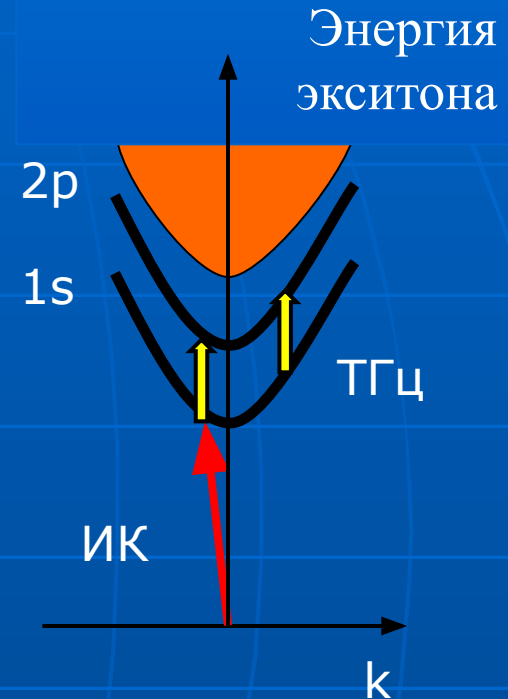
Система предназначена для исследования кинетики возбуждения, передачи и релаксации энергии в наноматериалах и наноструктурах как в режиме «pump-probe» зондирования с регистрацией динамики возбуждения и релаксации энергии, так и в режиме спектрометра.



Области применения:

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

- терагерцовая спектроскопия экситонных, примесных и фононных состояний;
- генерация, передача и быстрая релаксация возбуждений «pump-probe» методом с субпикосекундным разрешением;
- структурные фазовые переходы, переходы металл-диэлектрик, твердое тело - стекло и т.п.;
- фазовые переходы в материалах с сильным спин-спиновым и спин-орбитальным взаимодействиями (магнитные полупроводники, ВТСП и др.), перенос зарядов и спинов



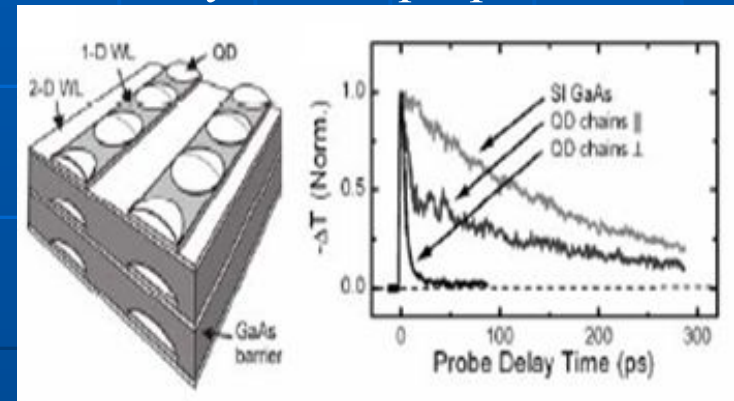


Области применения:

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ СИСТЕМ ПОНИЖЕННОЙ РАЗМЕРНОСТИ

Динамика электронного возбуждения и релаксации (квантовые проволоочки, точки и т.п.), взаимодействие элементарных возбуждений между собой и с внешними полями «pump-probe» методом с субпикосекундным разрешением :

- механизм проводимости, рассеяния и локализации заряда в полупроводниковых наноструктурах;
- взаимодействие электронной подсистемы квантовых точек с барьерными фононами, влияние окружения на релаксационные параметры квантовых точек;
- терагерцовая модуляция света в структурах с квантовыми проволоочками на эффекте Autler-Townes Splitting.





Области применения:

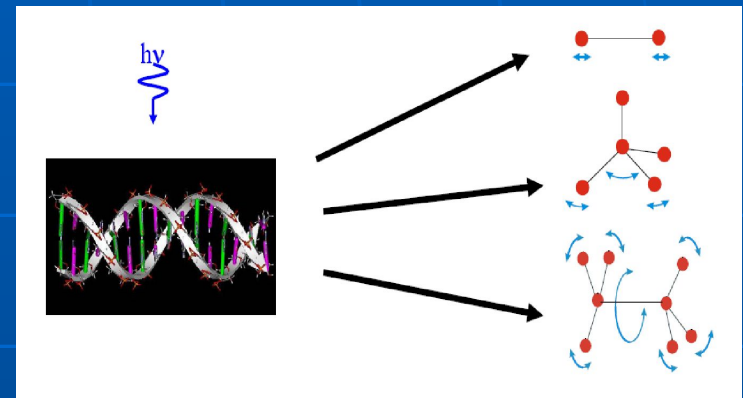
БИОЛОГИЯ

Исследование структуры и динамики конформации биологических молекул и молекулярных комплексов, обладающих слабыми водородными связями и/или дальнедействующими взаимодействиями, на основе анализа спектра колебаний в терагерцовом диапазоне:

- в ДНК и РНК это моды колебаний и движения спиралей (они чувствительны к нуклеотидному составу и топологии молекулы, поэтому несут информацию о трехмерной структуре, эластичности спиралей и о процессах передачи генетической информации);

- в белках это колебательные моды аминокислотных последовательностей, по которым можно идентифицировать белковые молекулы, их структуру и конформационные изменения.

Селективное разрезание биологических молекул и молекулярных комплексов с сохранением их функциональных свойств.



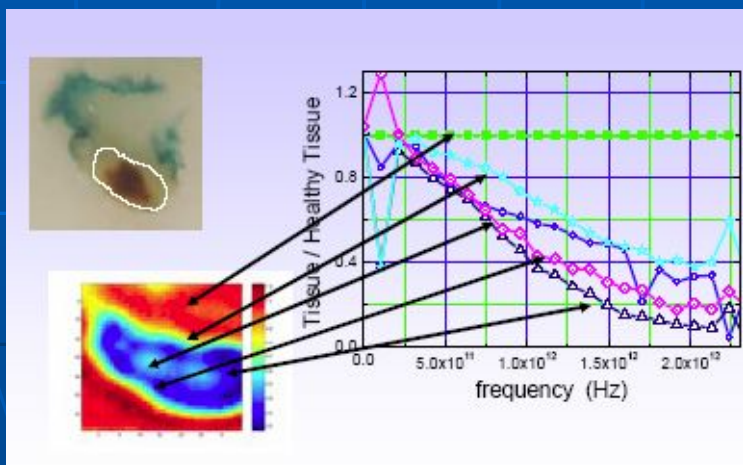


Области применения:

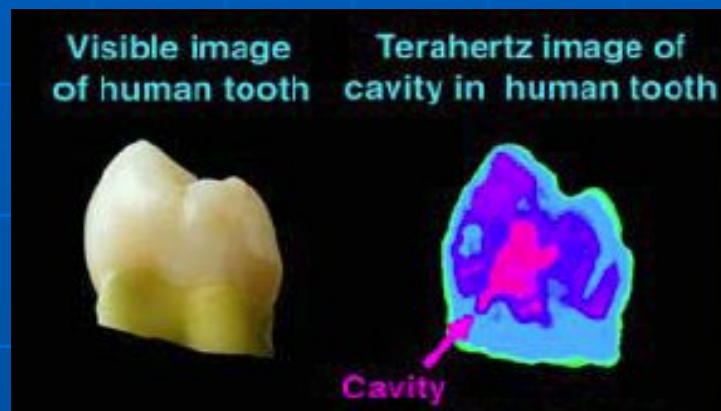
МЕДИЦИНА

Клетки, вирусы и бактерии имеют специфические спектры поглощения в терагерцовом диапазоне, позволяющие идентифицировать и отличать здоровые клетки от больных.

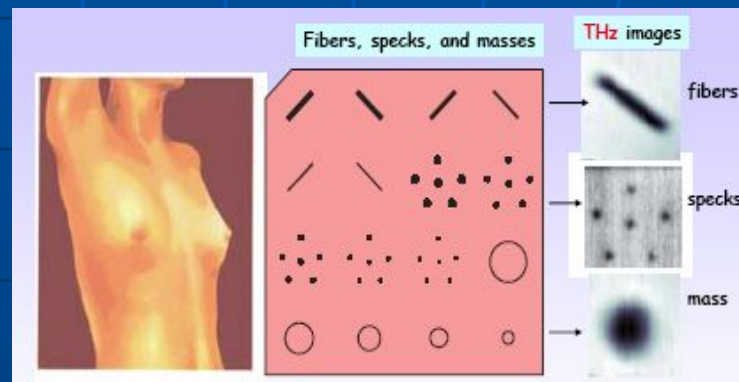
Терагерцовая визуализация и томография



Обнаружение злокачественных новообразований



Дифференциация тканей по спектру терагерцового поглощения





Список публикаций:

1. Плеханов А.И., Калинин Д.В., Сердобинцева В.В. Нанокристаллизация монокристаллических пленок опала и пленочных опаловых гетероструктур // Российские нанотехнологии. 2006. Т. 1, № 1-2. С. 245-251.
2. Анцыгин В.Д., Мамрашев А.А., Потатуркин О.И. Перспективы создания и применения портативных терагерцовых систем диагностики // Российское совещание по актуальным проблемам полупроводниковой электроники «ФОТОНИКА-2008» (19-23 августа 2008 г., г. Новосибирск), тезисы докладов. С. 91.
3. Анцыгин В.Д., Мамрашев А.А., Потатуркин О.И. Перспективы создания малогабаритных систем терагерцовой спектроскопии для исследования наноматериалов // Международный форум по нанотехнологиям (3-5 декабря 2008 г., г. Москва). Сб.тезисов докладов научно-технологических секций. 2008. Т. 1. С. 212-214.
4. Шелковников В.В., Плеханов А.И., Орлова Н.А. Нанометровые пленки полиметиновых красителей в оптической памяти и нелинейной оптике // Российские нанотехнологии. 2008. Т. 3, № 9-10. С. 8–29.