



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.

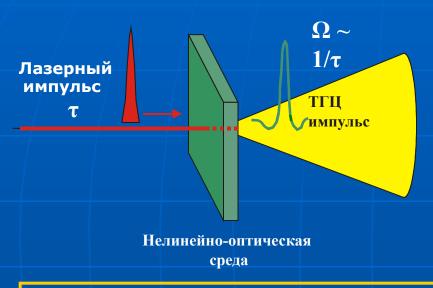


# Задачи проекта

- разработка и изготовление макетных образцов оптикотерагерцового 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



#### Требования к нелинейно-оптической среде:

- высокая нелинейность (большие значения **r**)
- условия фазового синхронизма (  ${f n}={f n}_{{f T}{f \Gamma}{f I}}$
- малое поглощение на лазерной и терагерцовых частотах (малые значения  $\alpha$  и  $\alpha_{\text{тгц}}$ )
- высокая лучевая прочность

```
\eta = (2\Omega^{2} d^{2} LI / \epsilon c^{3} n^{2} n_{T \Gamma_{II}}) A
A = \exp(-\alpha_{T \Gamma_{II}} L/2)
\sinh^{2}(\alpha_{T \Gamma_{II}} L/4) / (\alpha_{T \Gamma_{II}} L/4)^{2}
d = -rn^{4}/4
```

η - эффективность преобразования;

d - квадратичная нелинейность;

L – толщина НЛО среды;

I - интенсивность лазерного излучения;

ε - диэлектрическая проницаемость;

с - скорость света в вакууме;

n – групповой показатель преломления;

n<sub>тги</sub> - ТГц показатель преломления;

 $a_{\mathrm{T}\Gamma_{\mathrm{II}}}^{\mathrm{T}}$  - Т $\Gamma$ ц показатель поглощения;

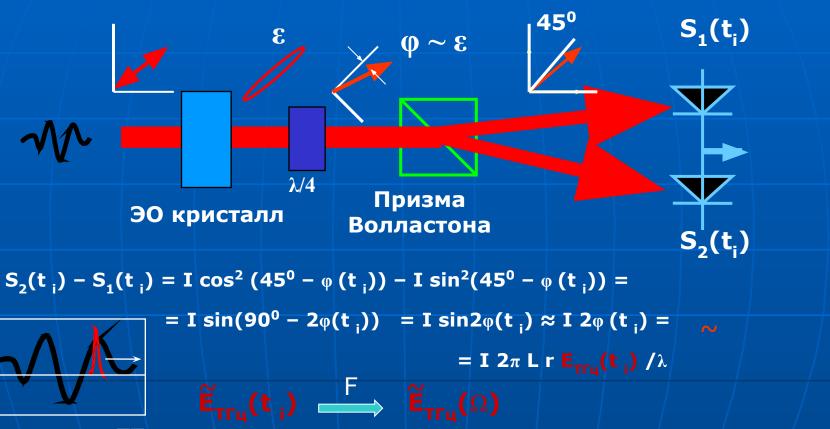
А - потери из-за ТГц поглощения;

r - электрооптический коэффициент

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



Регистрация ТГц излучения поляризационно-оптическим методом основана на эффектах Поккельса 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



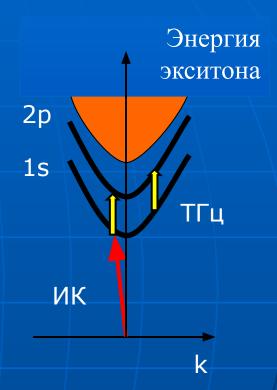
Система предназначена для исследования кинетики возбуждения, передачи и релаксации энергии в наноматериалах и наноструктурах как в режиме «pump-probe» зондирования с регистрацией динамики возбуждения и релаксации энергии, так и в режиме спектрометра.



# 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 в спинов





# Области применения:

# МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ СИСТЕМ ПОНИЖЕННОЙ РАЗМЕРНОСТИ

Динамика электронного возбуждения и релаксации (квантовые проволочки, 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 проволочками на эффекте Autler-Townes Splitting.



# Области применения:

#### БИОЛОГИЯ

Исследование структуры и динамики конформации биологических молекул и молекулярных комплексов, обладающих слабыми водородными связями и/или дальнодействующими 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.



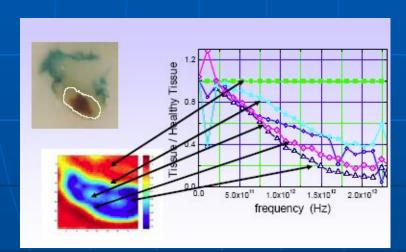
# Области применения:

# МЕДИЦИНА

Клетки, вирусы и бактерии имеют специфические спектры поглощения в терагерцовом диапазоне, позволяющие идентифицировать и отличать

здоровые клетки от больных.

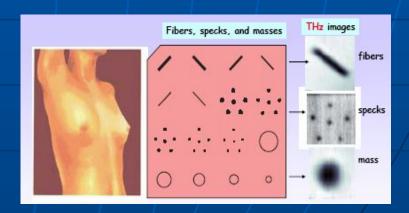
Терагерцовая визуализация и томография



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.