

I. ВАЖНЕЙШИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ 2024 ГОДА

1. Гиро-ЛОВ с октавной полосой перестройки частоты генерации

Г.Г. Денисов*, С.В. Самсонов, И.Г. Гачев, А.А. Богдашов,
М.В. Каменский, К.А. Лещева, А.В. Савилов, Е.М. Новак,
Е.М. Тай, С.Ю. Корнишин

Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики
им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук (ИПФ РАН)

*den@ipfran.ru, (831) 416 06 16

Разработан, изготовлен и испытан новый тип гироприборов, представляющий собой лампу обратной волны (гиро-ЛОВ), с зигзагообразной электродинамической системой (рис.1). Экспериментально продемонстрирована перестройка частоты генерации в октавной полосе частот на киловаттном уровне мощности (рис.2). Заполненность диапазона частот 90–195 ГГц зонами генерации с мощностью более 100 Вт составляет около 70%, что более чем на порядок превышает этот показатель для любых известных экспериментально реализованных приборов в этом диапазоне частот. Эксперименты полностью подтвердили основные выводы теории, согласно которым данный прибор может стать уникальной альтернативой как обычным ЛОВ, так и гиротронам в субтерагерцовой области частот.

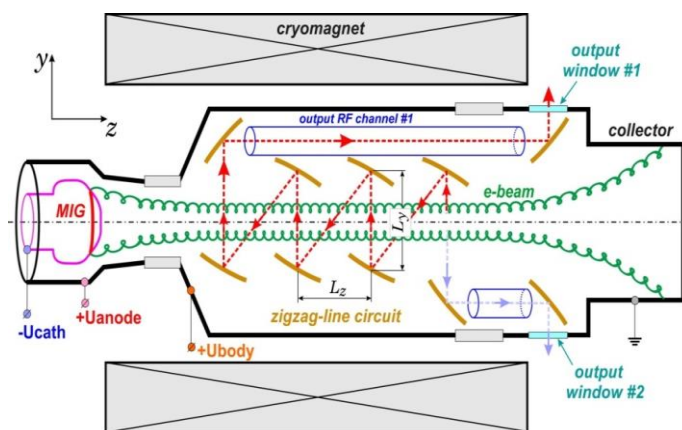


Рис.1. Схема «зигзагообразной» квазиоптической гиро-ЛОВ

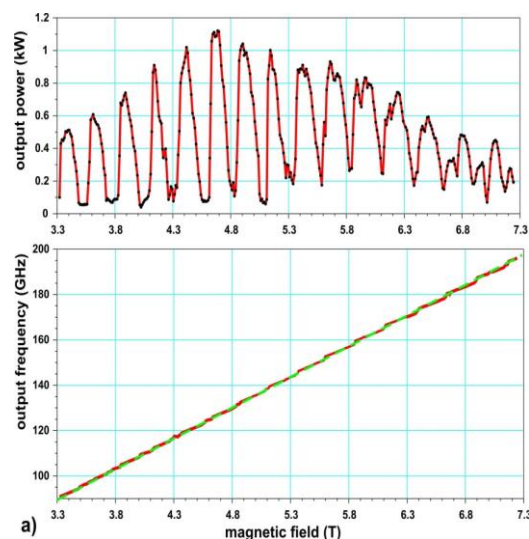


Рис.2. Зоны генерации при магнитных полях от 3.3 Тл до 7.3 Тл

Публикации:

1. S. V. Samsonov, G. G. Denisov, A. A. Bogdashov, I. G. Gachev, M. V. Kamenskiy, A. V. Savilov, and E. M. Novak, «Design and Experiment on One-octave Bandwidth Gyro-BWO with a Microwave Circuit in the Form of Zigzag Quasi-optical Transmission Line», IEEE 2024 Photonics & Electromagnetics Research Symposium (PIERS), Chengdu, China, 2024, DOI: 10.1109/PIERS62282.2024.10618307.
2. S.V. Samsonov, G.G. Denisov, A.A. Bogdashov, I.G. Gachev, M.V. Kamenskiy, K.A. Leshcheva, A.V. Savilov, E.M. Novak «First Experimental Results on Gyrotron Backward-Wave Oscillator with Zigzag Quasi-Optical Transmission Line», IEEE Electron Device Letters, 45, 7, 1333-1336 (2024) DOI: 10.1109/LED.2024.3400976.

Тема: Создание мощных источников электромагнитного излучения ЭЦР диапазона. В рамках КП РТТН.

Направление ПФНИ: 1.3.6.1. Когерентные источники микроволнового излучения и их применение. 1.3.6.2. Развитие методов генерации, усиления, преобразования и приема электромагнитных волн.

2. Новая модель нелинейной упругости биотканей и ее использование для медицинской диагностики на основе компрессионной оптической когерентной эластографии

В.Ю. Зайцев (зав. лаб., д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН; vyuzai@ipfran.ru), А.Л. Матвеев, Л.А. Матвеев, А.А. Советский, Д.В. Шабанов (ИПФ РАН); Е.В. Губарькова, А.А. Плеханов, Е.Б. Киселева, М.Г. Рябков, М.А. Сироткина, Н.Д. Гладкова, Е.В. Загайнова (ПИМУ); С.В. Гамаюнов, (Нижегородский обл. онкодиспансер); Ю.В. Василевский, В.Ю. Саламатова (ИВМ РАН/Сеченовский медуниверситет); П.А. Каравайкин (ЦКБ Управления делами президента РФ)

Предложена и апробирована на большом объеме экспериментальных данных, получаемых методом компрессионной оптической когерентной эластографии (К-ОКЭ), новая модель нелинейно-упругого поведения биотканей. Модель, используя аналогию с геомеханикой, объясняет нелинейность ткани постепенным закрытием податливых пор с ростом сжимающего одноосного напряжения. В отличие от традиционных феноменологических подходов, введенные в модели параметры имеют ясный физический смысл и характеризуют содержание податливых включений/пор, модуль Юнга матричной ткани и характерное значение закрывающего поры упругого напряжения. Модель хорошо описывает нелинейные зависимости напряжение-деформация для различных типов/состояний тканей (от роговицы глаза до различных морфологических компонент тканей раковых опухолей) и позволяет предложить эффективные диагностические критерии дифференцирования таких типов/состояний ткани для широкого класса биомедицинских проблем. Помимо К-ОКЭ модель может быть применена к данным традиционных инденторных методов исследования упругих свойств биотканей.

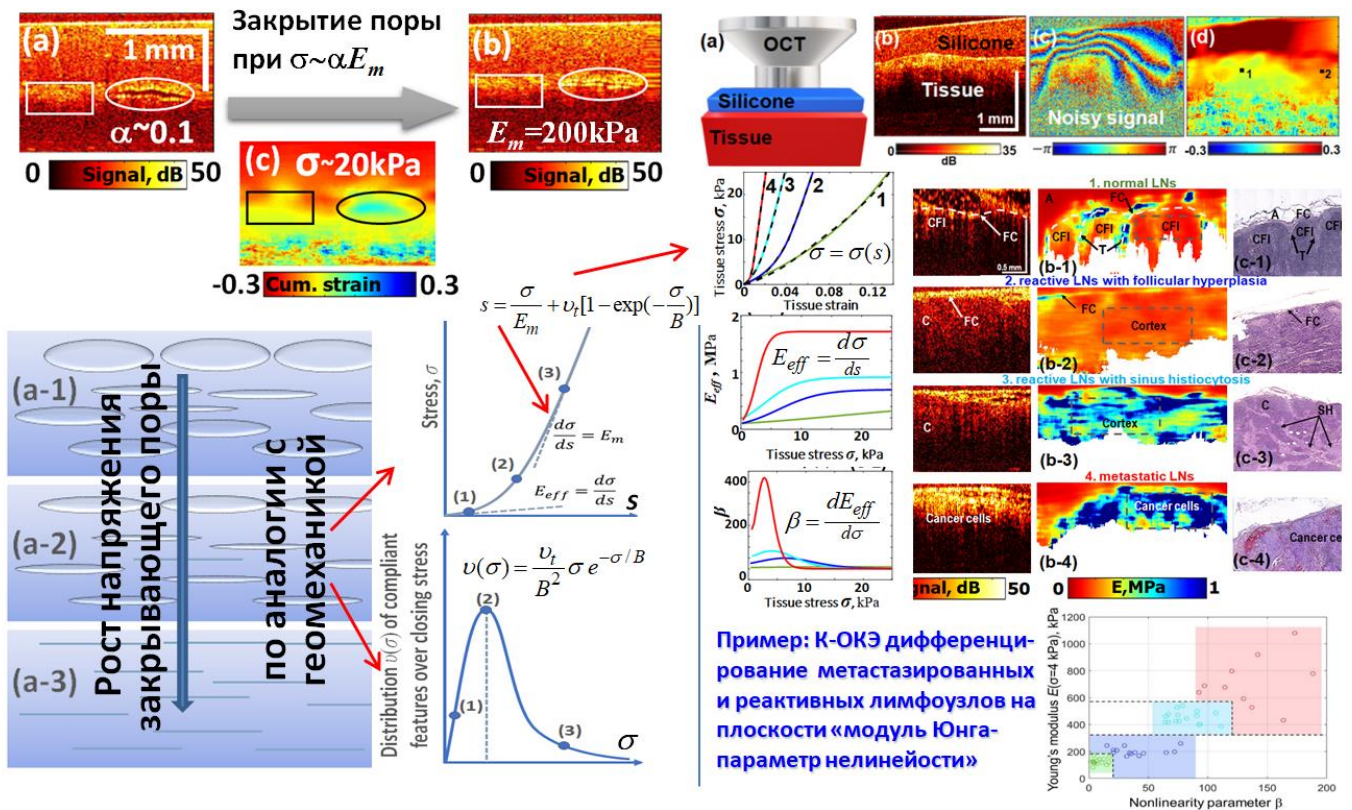


Рис. Механизм нелинейности, описываемый моделью, и пример ее применения к данным К-ОКЭ.

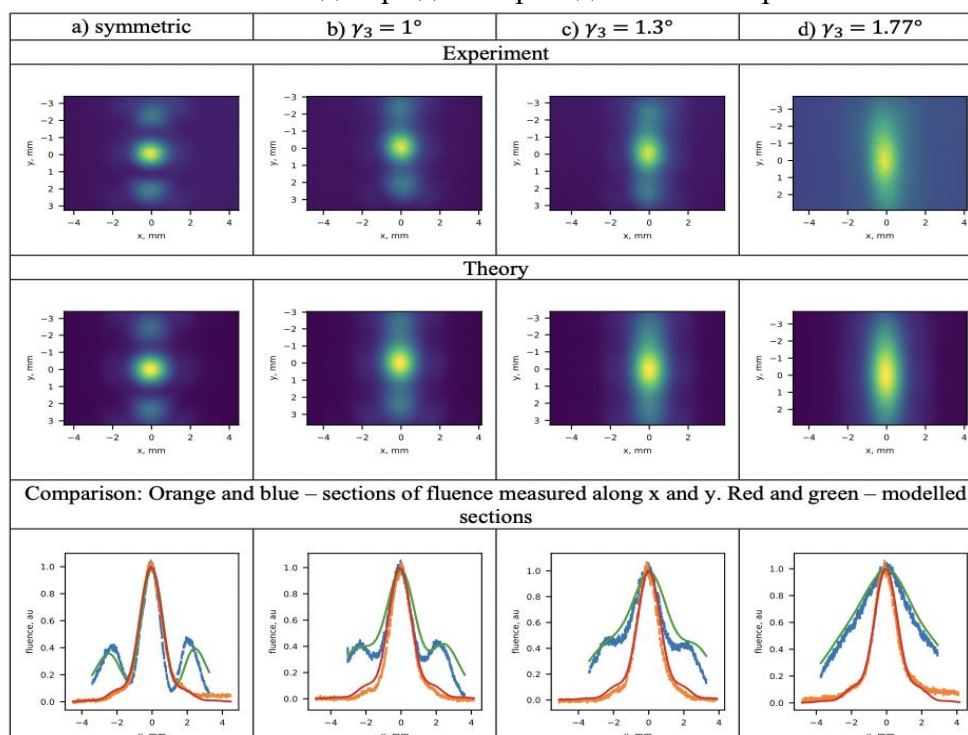
Публикации:

1. V. Y. Zaitsev et al., (2024) Materials, vol. 17, no. 20, p. 5023(1-30),(Q1)
2. E. V. Kiseleva et al., (2024) J. Biophotonics, pp. 1–17 (Q1)
3. A.A. Plekhanov et al.,(2024) Int. J. Mol. Sci., vol. 25, no. 10, p. 5337 (Q1)
4. V. Y. Zaitsev et al., (2023) J. Biophotonics, pp. 1–13, (Q1)
5. A.A. Plekhanov et al., (2023) Biomed. Opt. Express, 14(6), 3037 (Q1)
6. E. V. Gubarkova et al., (2023) Laser Phys. Lett., 20(6), 65601 (Q2)
7. A.A. Plekhanov et al., (2023) Front. Oncol., 13, 1–15 (Q2)

3. Пространственно-временное перемешивание света в компрессоре фемтосекундных импульсов на дифракционных решетках

Киселев Д.Е., Яковлев И.В., Кочетков А.А., Вяткин А.Г., Хазанов Е.А. (ИПФ РАН)

Построена теория, описывающая влияние на параметры выходного излучения эффектов пространственно-временного перемешивания света в компрессоре фемтосекундных импульсов. Получена точная формула для волнового фронта волны, отраженной от дифракционной решетки с произвольной формой поверхности и произвольным пространственным распределением плотности и кривизны штрихов. Получены выражения для флуктуаций флюенса на выходе компрессора и интенсивности в фокальной плоскости как для фазовых (частотно-зависимые искажения волнового фронта), так и для амплитудных (частотно-зависимое “клиппирование” пучка на решетках) искажений, а также для пространственного чирпа, вносимого несимметричным компрессором. Эффект подавления флуктуаций флюенса несимметричным компрессором был количественно подтвержден в проведенных экспериментах.



Профили пучков, прошедших симметричный компрессор с $\gamma = 0^\circ$, а также несимметричный при $\gamma = 1^\circ, 1.3^\circ$ и 1.77° .

Публикации:

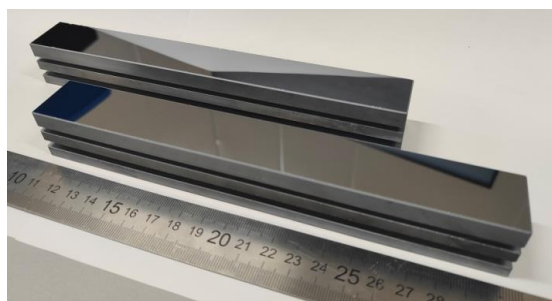
1. A. Vyatkin and E. Khazanov, *Optics Express* 32, 39394-39407 (2024).
2. E. Khazanov, *High Power Laser Science and Engineering* 12, e36 (2024).
3. E. Khazanov, *High Power Laser Science and Engineering* 11, e93 (2023).
4. S. Pan, F. Wu, Y. Zhao, J. Hu, Z. Zhang, Y. Xu, Y. Leng, R. Li, and E. Khazanov, *High Power Laser Science and Engineering* 12, e49 (2024).
5. E. Khazanov, *Laser Phys. Lett.* 20, 125001 (2023).
6. E. Khazanov, *Optics Express*, 32, 46310, (2024).
7. D. E. Kiselev, A. A. Kochetkov, I. V. Yakovlev, and E. A. Khazanov, *Applied Optics*, 63, 9146 (2024)
8. E. Khazanov, *High Power Laser Science and Engineering*, accepted (2024).
9. Киселев Д.Е., Яковлев И.В., Хазанов Е.А., Кочетков А.А. " Сглаживание неоднородного пространственного распределения флюенса в однорешеточном асимметричном компрессоре ". Изв. ВУЗов, принята в печать (2024).

4. Зеркальная рентгеновская оптика на основе монокристаллического кремния для синхротронов

Ахсахалян А.А., Гарахин С.А., Глушков Е.И., Зорина М.В., Короткова Н.А., Малышев И.В., Михайленко М.С., Морозов С.С., Пестов А.Е., Петраков Е.В., Реунов Д.Г., Торопов М.Н., Чернышев А.К., Чхало Н.И., Беляев С.Н., Мальшакова О.А.
(ИФМ РАН – филиал ИПФ РАН)

Разработана методика изготовления плоских, сферических и асферических подложек из монокристаллического кремния, обеспечивающая эффективную шероховатость в диапазоне пространственных частот $0,025\text{--}65\text{ мкм}^{-1}$ менее $0,2\text{ нм}$ и точность формы по параметру СКО на уровне 1 нм . Методика включает стадию химико-механической полировки, обеспечивающей одновременно шероховатость поверхности на уровне ведущих производителей кремниевых пластин для микроэлектроники и точность формы по параметру СКО меньше 10 нм , и ионно-пучковую обработку, обеспечивающую финальную полировку, асферизацию и коррекцию локальных ошибок формы. Для измерения формы поверхности подложек, в том числе асферических и крупногабаритных, чьи размеры превышают рабочую апертуру интерферометра, разработаны специальные методики, алгоритмы и программное обеспечение. Для финальной аттестации рентгенооптических характеристик зеркал разработан лабораторный стенд, позволяющий исследовать угловые ошибки отраженных волновых фронтов с чувствительностью лучше 1 мкрд . Методики продемонстрировала свою эффективность при разработке плоских, фокусирующих и коллимирующих зеркал для двухзеркального монохроматора и нанофокусирующей системы, разрабатываемых в ИФМ РАН для синхротрона СКИФ, а также для высокоразрешающего рентгеновского спектрометра лабораторного рефлектометра. Разработанные методы изготовления и метрологии находятся на уровне, близком к мировым лидерам, компании JTEC (Япония) и ZEISS (Германия), производящим зеркала из монокристаллического кремния для синхротронных применений.

а)



б)



Рис.1. Фото рентгеновских зеркал на основе монокристаллического кремния для двухзеркального монохроматора (а) и нанофокусирующей системы (б) синхротрона СКИФ.

1. Petrakov E.V., et al., «Effective filtering of diffraction rings on surface maps of high-precision X-ray mirrors as reconstructed from high-coherence interferometry data», *Optical Engineering* 63, 114104 (2024).
2. Petrakov E.V. et al. «Metrology of the shape of large-size and aspherical x-ray mirrors with subnanometer accuracy», *J. Surf. Investig.* (принята в печать)
3. Reunov D.G. et al., «Stand for certification of X-ray optical elements and systems for synchrotron applications», *J. Surf. Investig.* (принята в печать)
4. M.S. Mikhailenko et al., «Microstructure of the subsurface layer formed in monocrystalline silicon during etching with Xe⁺ ions investigation», *Appl. Surf. Sci.* (under review)
5. A.E. Pestov et al., «A technique for forming substrates for grazing incidence X-ray mirrors with cylindrical surface profiles», *Appl. Opt.* (under review)
6. Михайленко М.С., и др., «Способ осесимметричной коррекции оптических деталей произвольной формы». Патент номер RU 2793080 С1. Приоритет 29.09.2022.

5. Компрессия излучения с уровнем мощности в десятки киловатт квазиоптическим резонатором с активным сверхразмерным полупроводниковым переключателем

Г.Г. Денисов, А.В. Палицин, Д.И. Соболев, А.Н. Куфтин,
В.В. Паршин, М.В. Морозкин, А.В. Чирков, М.Ю. Глявин*

Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики
им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук (ИПФ РАН)

*glyavin@ipfran.ru, (831) 416 06 16

В квазиоптическом резонаторе с активным сверхразмерным полупроводниковым переключателем, активируемым лазерным импульсом пикосекундной длительности, впервые экспериментально продемонстрирована компрессия излучения гиротрона на частоте 170 ГГц. Для запитки компрессора частота генерации гиротрона стабилизировалась системой ФАПЧ. В проведенных экспериментах исходный уровень компрессируемой мощности на 5 порядков превышает значения указанные в зарубежных публикациях при близком коэффициенте компрессии. При энергии лазерных импульсов 50 мДж получен коэффициент компрессии 20. Мощность компрессируемых импульсов составила 0,4 МВт при длительности 1,2 нс, определяемой временем релаксации носителей. Реализованная схема перспективна для генерации последовательности коротких фазированных импульсов микроволнового излучения. Развитие указанного реализованного подхода позволит получить импульсы мощностью до 100 МВт, востребованные следующего поколения ускорителей заряженных частиц.

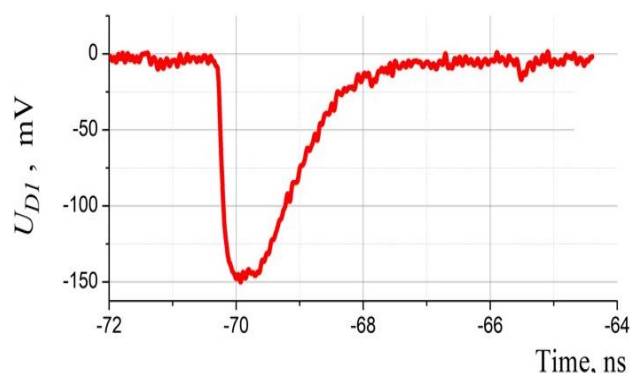
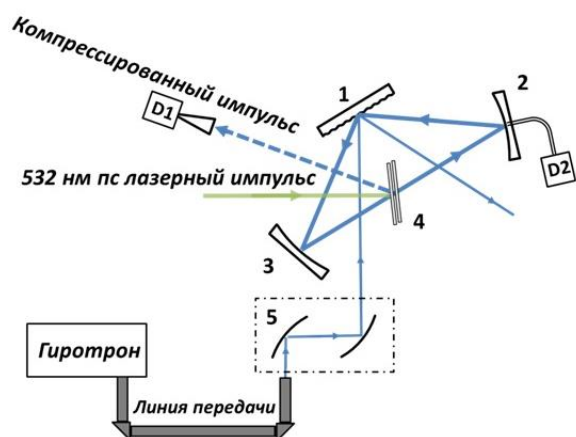


Рис.1. Схема компрессора. 1 – гофрированное зеркало; 2,3 – параболические зеркала; 4 – GaAs переключатель; 5 – система ввода излучения
Сигнал с детектора. Компрессируемый импульс длительностью 1,2 нс при мощности 0,4 МВт (коэффициент компрессии 20)

Публикации:

1. A. V. Palitsin, G. G. Denisov, D. I. Sobolev and M. Yu. Glyavin, "A novel type of quasi-optical microwave pulse compressor based on interference controlled by laser driven semiconductor phase shifter," , IEEE 2024 Photonics & Electromagnetics Research Symposium (PIERS), Chengdu, China, 2024, DOI: 10.1109/PIERS62282.2024.10618648.
2. G. G. Denisov, A. V. Palitsin, D. I. Sobolev, A. N. Kufin, V. V. Parshin, M. V. Morozkin, A. V. Chirkov, and M. Yu. Glyavin, "Compression of 20 kW 170 GHz gyrotron output radiation by quasi-optical resonator with laser activated GaAs switch," in IEEE Electron Device Letters, vol. 45, no. 10, pp. 2040-2043, Oct. 2024, doi: 10.1109/LED.2024.3447127

Тема: Принципы построения сверхмощных субтерагерцовых комплексов. Проект РФФ 19-79-30071

Направление ПФНИ: 1.3.6.2. Развитие методов генерации, усиления, преобразования и приема электромагнитных волн. 1.3.6.6. Наносекундная электроника больших мощностей и ее применение

6. Непрерывный двухфотонный квантовый каскадный лазер терагерцового диапазона

Д.И. Курицын, Р.Х. Жукавин, К.А.Ковалевский, В.А.Анфертьев, В.Л.Вакс, А.В.Антонов, А.А.Дубинов, С.В.Морозов, В.И.Гавриленко (ИФМ РАН – филиал ИПФ РАН), Р.А.Хабибуллин, А.Ю. Павлов, Р.Р.Галиев, Д.С. Пономарев – ИСВЧПЭ РАН, Д.В.Ушаков, А.А.Афоненко (БГУ, Минск), А.Г.Кузьменков, Н.А.Малеев (ФТИ им. А.Ф.Иоффе РАН), А.П.Васильев (НТЦ микроэлектроники РАН), Ф.И.Зубов, М.В.Максимов (АУ им. Ж.И.Алферова РАН), Д.А. Белов, А.В.Иконников (МГУ).

Создан непрерывный двухфотонный терагерцовый квантовый каскадный лазер. Активной областью лазера является решетка GaAs/Al_{0.15}Ga_{0.85}As, каждый период которой содержит 4 квантовые ямы. Продемонстрирована широкополосная лазерная генерация в диапазоне 3,1–3,9 ТГц (104–130 см⁻¹). Благодаря большой (7,34 нм) толщине инжекционного барьера созданный лазер имеет рекордно низкую пороговую плотность тока < 100 А/см² и возможность работы в непрерывном режиме вплоть до температуры 90 К. Перестройка частоты генерации созданного лазера осуществляется с помощью температуры и рабочего тока, что открывает перспективу его использования для спектроскопических приложений.

GaAs/AlGaAs структура для ККЛ с рассчитанным дизайном выращивалась методом молекулярно-пучковой эпитаксии на подложке GaAs(001). На выращенной структуре формировались лазерные полосы с волноводом металл-металл с резонатором Фабри–Перо на сколах. Использована «классическая» для ТГц ККЛ схема зонной структуры активной области с 4 квантовыми ямами GaAs/Al_{0.15}Ga_{0.85}As в периоде структуры (общей толщиной 10 мкм) с резонансной инжекцией электронов на верхний лазерный уровень *u* с уровня *i* и быстрым опустошением нижнего лазерного уровня *l* за счет резонансного туннелирования на уровень экстрактора *l* → *e* и резонансного испускания оптического фона на уровень *i*' (Рис.1). Введение в структуру промежуточного уровня *m* позволяет использовать инверсию населенностей между уровнями *u* и *l* для испускания двух фотонов разной энергии одним электроном на переходах *u* → *m* и *m* → *l* в каждом периоде структуры (рис. 1), что обеспечивает широкую полосу усиления и генерации. Низкая пороговая плотность тока и возможность работы в непрерывном режиме (рис.2) обеспечивается рекордно большой (7,34 нм) толщиной инжекционного (*i* → *u*) барьера (рис. 1).

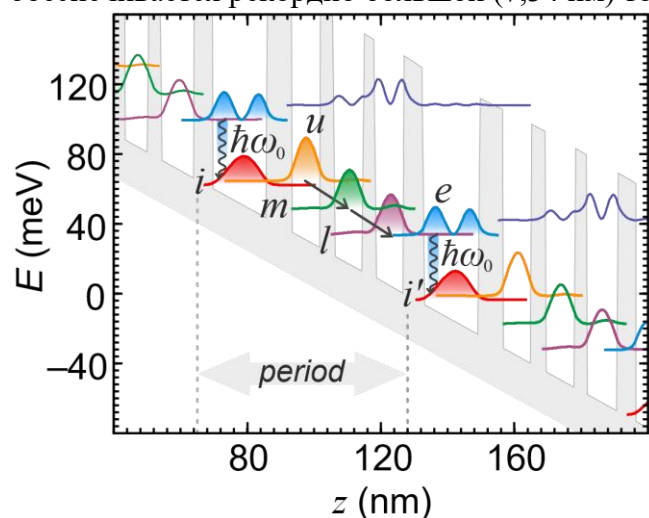


Рис.1. Рассчитанная диаграмма зоны проводимости и квадраты модулей волновых функций электронов в структуре ККЛ при температуре $T = 70$ К и напряжении на периоде структуры 66 мВ. Стрелками обозначены излучательные переходы.

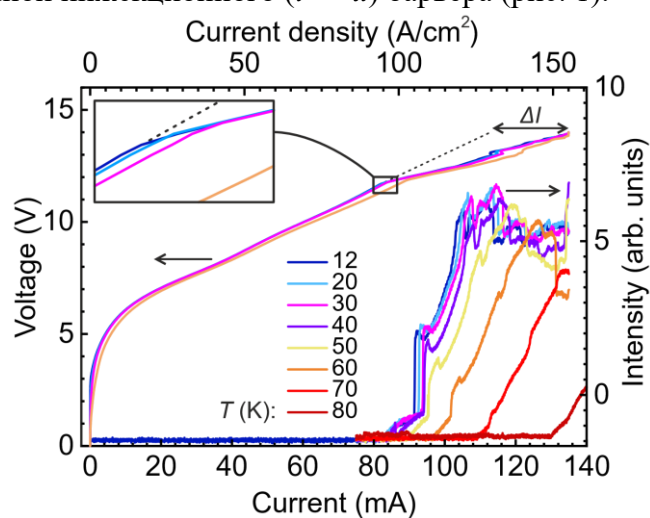


Рис.2. Вольт-амперные и излучательные характеристики ККЛ с шириной полоска 30 мкм и длиной 2.9 мм при различных температурах.

R. A. Khabibullin, D. V. Ushakov, A. A. Afonenko, A. Yu. Pavlov, R. R. Galiev, D. S. Ponomarev, A. P. Vasilyev, A. G. Kuzmenkov, N. A. Maleev, F. I. Zubov, M. V. Maksimov, D. A. Belov, A. V. Ikonnikov, D. I. Kuritsyn, R. Kh. Zhukavin, K. A. Kovalevsky, V. A. Anfertev, V. L. Vaks, A. V. Antonov, A. A. Dubinov, S. V. Morozov, V. I. Gavrilenko. Continuous-wave two-photon terahertz quantum cascade laser. *J. Appl. Phys.* **136**, 194504 (2024); doi: 10.1063/5.0230491.

7. Сенсор на основе алмазного диода Шоттки

М.А. Лобаев, Д.Б. Радищев, А.Л. Вихарев, А.М. Горбачев, С.А. Богданов, В.А. Исаев, С.А. Краев, А.И. Охапкин, Е.А. Архипова, П.А. Юнин, Н.В. Востоков, Е.В. Демидов, М.Н. Дроздов (ИПФ РАН)

Разработаны CVD алмазные структуры, состоящие из слоев сильно легированного бором алмаза с концентрацией до $1,5 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-3}$, имеющего низкое удельное сопротивление до $10^{-3} \text{ Ом}\cdot\text{см}$, и слабо легированного бором алмаза с концентрацией $5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, на которых сформированы диоды Шоттки в псевдовертикальной геометрии (Рис.1), обладающие коэффициентом идеальности равным 1,1 и высокой плотностью прямого тока до 720 А/см^2 при температуре 210°C (Рис.2). С помощью таких диодов впервые продемонстрирована возможность измерения температуры силового диода Шоттки в реальном времени с помощью другого диода Шоттки – сенсора, имеющего меньший диаметр и расположенного на той же алмазной структуре. Величина чувствительности диода-сенсора $3 \text{ мВ/}^\circ\text{C}$ достаточна, чтобы контролировать температурный режим силового прибора (Рис.3). Обладая низкой плотностью тока менее 10^{-9} А/см^2 при обратном напряжении (Рис.4), разработанные диоды Шоттки также перспективны для создания сверхчувствительных датчиков ионизирующего излучения.

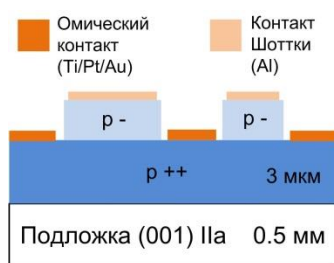


Рисунок 1. Схема диодов Шоттки в псевдовертикальной геометрии. Слева – силовой диод, справа – диод-сенсор.

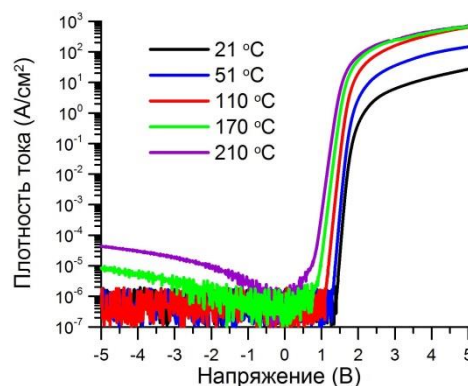


Рисунок 2. ВАХ диода при различных температурах.

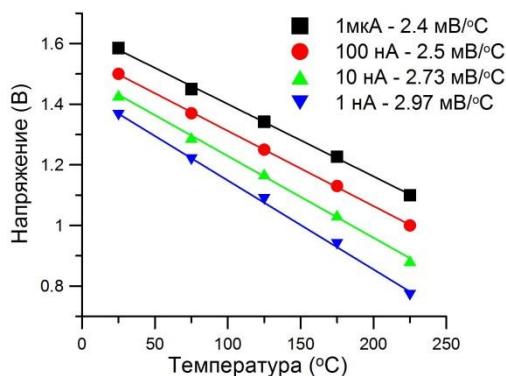


Рисунок 3. Зависимость напряжения на диоде-сенсоре от температуры при постоянном токе.



Рисунок 4. Обратная характеристика диода.

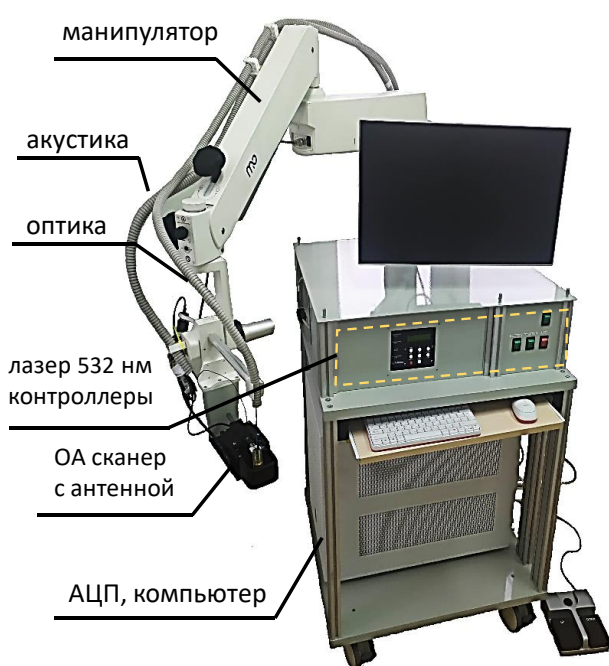
Публикации:

1. М. А. Лобаев, Д. Б. Радищев, А. Л. Вихарев, А. М. Горбачев, С. А. Богданов, В. А. Исаев, С. А. Краев, А. И. Охапкин, Е. А. Архипова, П.А. Юнин, Н.В. Востоков, Е. В. Демидов, М. Н. Дроздов, *CVD алмазные структуры с pn переходом – диоды и транзисторы*, ЖТФ, 2024, в печати
2. M.A. Lobaev, D.B. Radishev, A.L. Viharev, A.M. Gorbachev, S.A. Bogdanov, V.A. Isaev, E.V. Demidov, S.A. Kraev, E.A. Arhipova, S.A. Korolev, A.I. Okhapkin, M.N. Drozdov, *Real-time temperature sensor based on integrated diamond Schottky diode*, Materials Science in Semiconductor Processing, направлено в печать 2024.

8. Мобильный оптоакустический микроскоп для клинической ангиографии

Курников А.А., Прудников М.Б., Воробьев В.В., Казаков В.В., Немирова С.В., Коробов А.Ю., Санин А.Г., Глявина А.М., Войтович Д.А., Ковальчук А.В., Харитонов А.В., Проявин М.Д., Айвазян И.В., Орлова А.Г., Турчин И.В., Субочев П.В. (ИПФ РАН)

Разработан мобильный оптоакустический микроскоп для сканирующей лазерно-ультразвуковой термотомографии поверхностных биологических тканей человека на оптической длине волны 532 нм. Для визуализации кровеносных сосудов различного диаметра (от 50 мкм до 1 мм) разработан пьезополимерный акустический детектор, значительно превосходящий пьезокерамические аналоги по ширине полосы (1–25 МГц) и чувствительности (1 Па). Для улучшения 3D-визуализации и расчёта параметров сосудистой сети разработан алгоритм с открытым исходным кодом, автоматизирующий обработку ангиографических данных. Разработанный оптоакустический микроскоп успешно применен в клинике, продемонстрировав возможность количественной диагностики изменений сосудов при посттромботическом синдроме.



примеры ОА ангиографических изображений

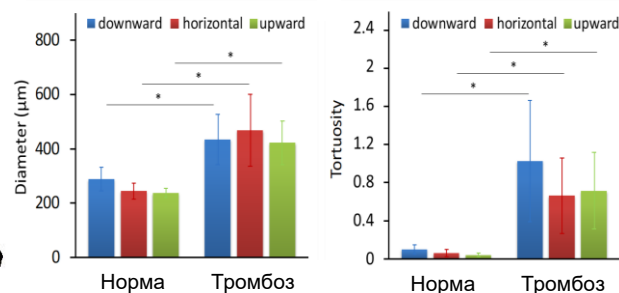
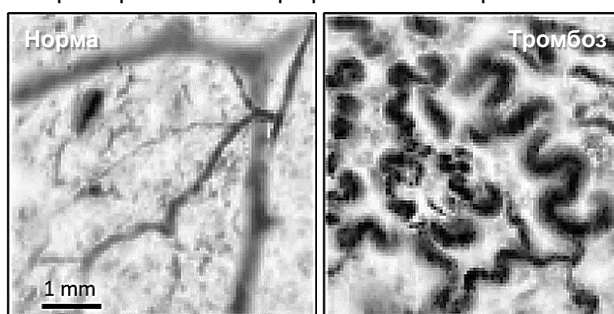


Схема и фотография ОАМ (слева); результаты клинического применения (справа).

Публикации:

1. Nemirova, S.; Orlova, A.; Kurnikov, A.; Litvinova, Y.; Kazakov, V.; Ayvazyan, I.; Liu, Y. H.; Razansky D.; and Subochev, P. Scanning optoacoustic angiography for assessing structural and functional alterations in superficial vasculature of patients with post-thrombotic syndrome: A pilot study. *Photoacoustics* 2024, 38, 100616.
2. Kurnikov, A.; Sanin, A.; Ben, X. L. D.; Razansky, D.; and Subochev, P. Ultrawideband sub-pascal sensitivity piezopolymer detectors. *Ultrasonics* 2024, 141, 107349.
3. Korobov, A.; Besedovskaia, Z.; Petrova, E.; Kurnikov, A.; Glyavina, A.; Orlova, A.; Nemirova S.; Druzhkova I.; Sirotkina M.; Shirshin E.; Gorin D.; Xi L.; Razansky D.; and Subochev, P. SKYQUANT 3D. *Journal of Biophotonics* 2024, e202400143.

Финансирование: РНФ 19–75-10055; НЦМУ “Центр фотоники” при финансовой поддержке Минобрнауки, соглашение № 075-15-2022-316.

ПФНИ: 1.3.6. Радиофизика и электроника, акустика

9. Управляемые режимы генерации рамановских оптических частотных гребенок

Анашкина Е.А., Андрианов А.В., Марисова М.П. (ИПФ РАН),
Осипов А.Н., Юлин А.В. (ИТМО)

Обнаружены и исследованы новые режимы генерации микрорезонаторных рамановских оптических частотных гребенок (ОЧГ) в телекоммуникационных С-, L-, U-диапазонах (1530–1675 нм). А именно, впервые продемонстрированы двунаправленные рамановские солитоны при однонаправленной накачке; предсказан режим фазово-групповой синхронизации рамановского солитона с накачкой; достигнуты рамановские паттерны Тьюринга. Показано, что включение/выключение генерации ОЧГ и управление ее спектральной шириной может быть реализовано с помощью маломощного лазерного диода за счет термо-оптической нелинейности. Для демонстрации концепций использовались микросферы с добротностью 10^7 – 10^8 , изготавливаемые из оптических волокон. Контроль дисперсии, важной для всех режимов, осуществлялся путем выбора диаметра микросферы. Результаты представляют интерес для многих приложений (прецизионной метрологии, спектроскопии, телекоммуникаций). Рамановские ОЧГ могут быть воспроизведены в микрорезонаторах на чипе, а масштабирование энергии может быть осуществлено с помощью волоконных резонаторов с макроскопическими длинами.

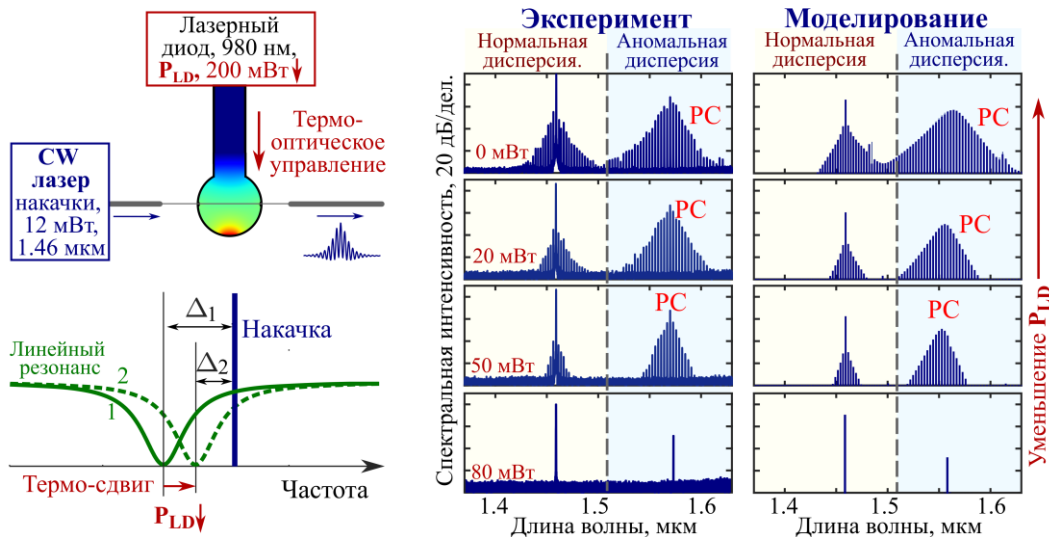


Схема эксперимента (слева); экспериментальные и теоретические спектры, демонстрирующие изменение ширины рамановских солитонов (PC) при изменении мощности вспомогательного диода (справа).

Публикации:

1. A.V. Andrianov, E.A. Anashkina, “Bidirectional Raman soliton-like combs with unidirectional pump in a spherical microresonator,” *Optics Letters* 49, 2301 (2024).
2. E. A. Anashkina, M. P. Marisova, A. N. Osipov, A. V. Yulin, A. V. Andrianov, “Raman Turing Patterns in an Optical Microresonator,” *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics* 30, 2900208 (2024).
3. A.N. Osipov, E.A. Anashkina, A.V. Yulin, “Role of the inverse Čerenkov effect in the formation of ultrashort Raman solitons in silica microspheres”, *Optics Letters* 49, 5743 (2024).

Финансирование: РФФ №20-72-10188-П; НЦМУ “Центр фотоники” при финансовой поддержке Минобрнауки, соглашение № 075-15-2022-316.

ПФНИ: 1.3.5.6. Новые оптические материалы, оптические элементы фотоники, интегральная оптика, голография, нанофотоника, метаматериалы и метаповерхности.

10. Посткомпрессия излучения второй гармоники мощных фемтосекундных импульсов

С.Ю. Миронов, В.Н. Гинзбург, В.В. Ложкарёв, И.В. Яковлев, С. Е. Стукачёв, А.А. Кочетков, А.А. Шайкин, Е.А. Хазанов (ИПФ РАН)

В нелинейном композитном элементе (КНЭ), представляющим собой кристалл KDP толщиной 1 мм, наклеенный на 1 мм кварцевую подложку, реализована генерация импульсов второй гармоники излучения на центральной длине волны 910 нм с интенсивностью порядка 1 ТВт/см^2 и длительностью 45 фс. Импульс на второй гармонике с помощью коммерчески доступных дисперсионных зеркал был сжат до 28,6 фс, что лишь на 20% превышает Фурье-предел. Энергетическая эффективность преобразования во вторую гармонику составила 38%. Благодаря нелинейному преобразованию импульс второй гармоник имел значительно меньшие крылья и бóльший временной контраст. Пиковая мощность на второй гармонике соответствует 74% от пиковой мощности первой, что при должной фокусировке обеспечит увеличение фокальной интенсивности в три раза.

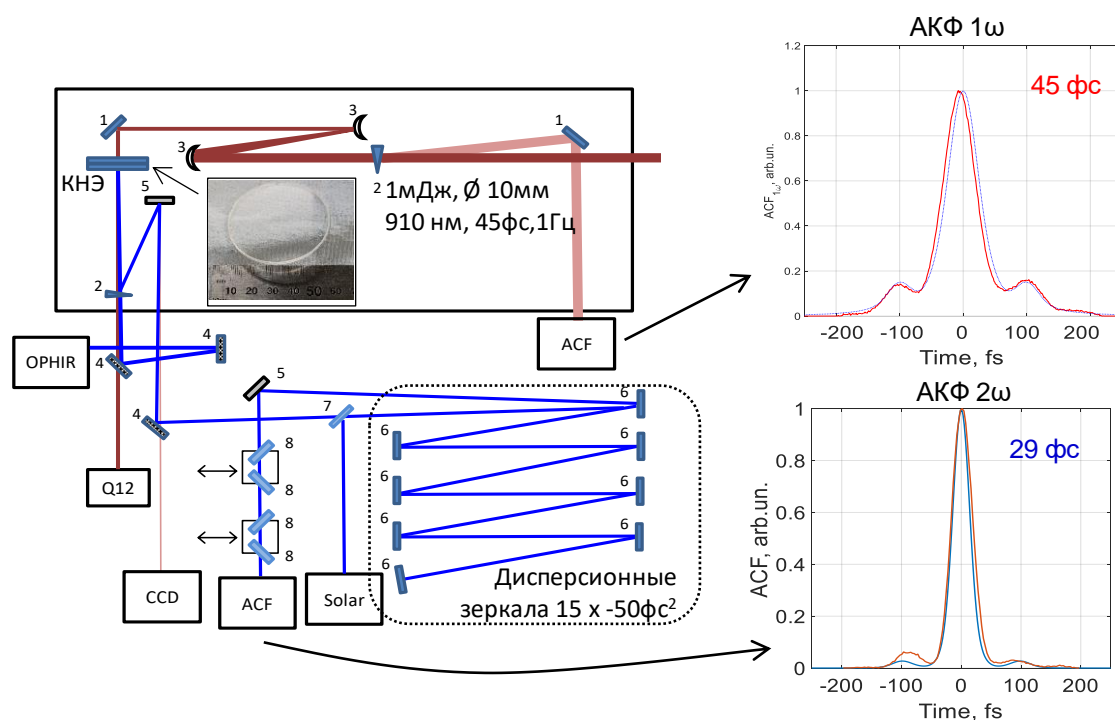


Схема эксперимента (слева) и АКФ импульсов первой и второй гармоник (справа)

Публикации:

1. Миронов С Ю, Хазанов Е А "Посткомпрессия импульса второй гармоники — путь увеличения пиковой мощности и временного контраста сверхмощных лазерных импульсов" *УФН* **194** 106–111 (2024) [10.3367/UFNr.2023.05.039535](https://doi.org/10.3367/UFNr.2023.05.039535)
2. S. Yu. Mironov, V. N. Ginzburg, V. V. Lozhkarev, I. V. Yakovlev, S. E. Stukachev, A. A. Kochetkov, A. A. Shaykin, and E. A. Khazanov, "Post-compression of powerful femtosecond pulses after second harmonic generation," *Appl. Opt.* **63**, 4421-4426 (2024)

Финансирование: в рамках реализации Программы НЦМУ "Центр фотоники" при финансовой поддержке Минобрнауки, соглашение № 075-15-2022-315.

ПФНИ: 1.3.5.5. Физика лазеров и лазерных материалов; нелинейные оптические явления

11. Оптическая квантовая память на однофотонном уровне

Р. А. Ахмеджанов, Л. А. Гушин, И. В. Зеленский, В. А. Низов, Н. А. Низов, Д. А. Собгайда

*Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики
им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук (ИПФ РАН)*

Впервые в России реализованы запись, хранение и считывание сигнала (Рис. 1) в согласованной системе, объединяющей источник коррелированных пар фотонов на основе спонтанного параметрического рассеяния и твердотельную квантовую память. Результат является важным шагом на пути реализации различных схем квантовых коммуникаций и вычислений.

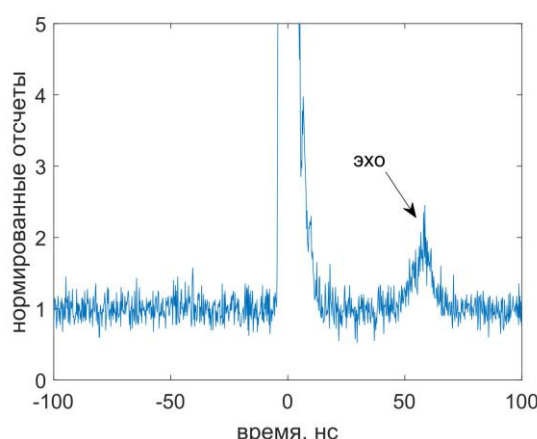


Рисунок 1. Сигнал эха из ячейки квантовой памяти

Публикации:

1. R. A. Akhmedzhanov, L. A. Gushchin, N. A. Nizov, V. A. Nizov, D. A. Sobgayda and I. V. Zelensky. Single-Photon Level Quantum Memory in an Isotopically Pure $^{143}\text{Nd}^{3+}:\text{Y}^7\text{LiF}_4$ Crystal. — JETP Letters, 2024, Volume 119, Number 11, pages 834–837. DOI: 10.1134/S0021364024601167

Исследование поддержано НЦМУ «Центр фотоники», при финансировании Министерством науки и высшего образования РФ, соглашение № 075-15-2022-316.

ПФНИ: 1.3.5.2. Перспективные методы оптических квантовых вычислений и квантовых коммуникаций

12. Планарный релятивистский генератор поверхностной волны суб-ТГц диапазона частот с двумерной распределенной обратной связью

А.В. Палицин*, В.Ю. Заславский, Ю.В. Родин, А.В. Громов, М.Б. Гойхман,
Д.Р. Гульовский, А.Н. Панин, Н.Ю. Песков, Н.С. Гинзбург

Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики
им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук (ИПФ РАН)

*pal@ipfran.ru, (831) 416 06 16

Разработан планарный релятивистский генератор поверхностной волны (рис.1) на базе ленточного электронного пучка, формируемого взрывоэмиссионным ускорителем СИНУКИ (600 – кэВ / 1 кА / 17 нс). Электродинамическая система генератора основана на двумерно-периодической замедляющей структуре, реализующей механизм распределённой обратной связи и обеспечивающей селекцию мод по поперечным пространственным координатам. Экспериментально продемонстрирован согласующийся с расчетом режим устойчивой одномодовой генерации на частоте 160 ГГц с длительностью импульса до 5 нс и выходной мощностью ~ 30 МВт (рис.2) при факторе сверхразмерности (отношении ширины системы к длине волны) ~ 15.

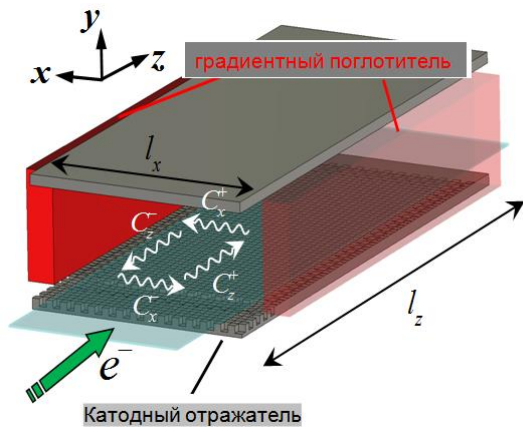


Рис.1. Схема генератора поверхностной волны

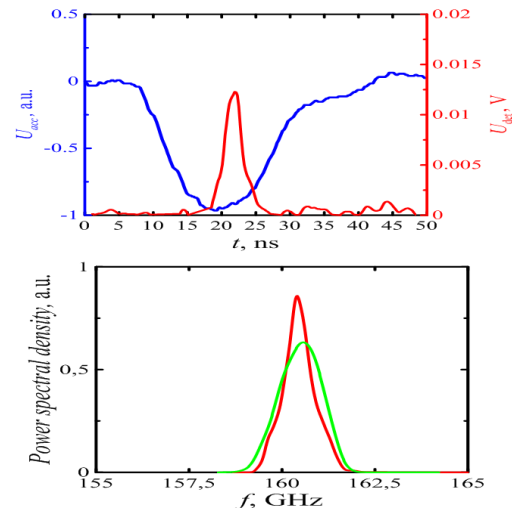


Рис.2. Осциллограммы ускоряющего напряжения, сигнала с детектора (СВЧ импульс) и спектральная плотность мощности выходного излучения

Публикации:

1. V.Yu. Zaslavsky, Yu.V. Rodin, A.V. Palitsin, M.B. Goykhman, A.V. Gromov, A.N. Panin, V.V.Parshin, D.R. Gulovskii, K. A. Leshcheva, N.Yu. Peskov, and N.S. Ginzburg, High-power G-band Relativistic Surface-Wave Oscillator with 2D-periodic Planar Slow-Wave Structure, IEEE Electron Device Lett., 2024
2. В.Ю. Заславский, А.В. Палицин, Ю.В. Родин, Н.Ю. Песков, А.В. Громов, М.Б. Гойхман, Д.Р.Гульовский, А.Н. Панин, Планарные релятивистские генераторы поверхностной волны субтерагерцового диапазона на основе двумерно-периодических замедляющих структур, Известия РАН: серия физическая, 2024

Тема: Создание мощных источников электромагнитного излучения ЭЦР диапазона. В рамках КП РТТН

Направление ПФНИ: 1.3.6.1. Когерентные источники микроволнового излучения и их применение. 1.3.6.2. Развитие методов генерации, усиления, преобразования и приема электромагнитных волн.

13. Природа континуума в газах неполярных молекул

М.Ю. Третьяков, М.А. Кошелев, Е.А. Серов, Т.А. Галанина, А.О. Королева, Д.С. Макаров, И.С. Амерханов, (ИПФ РАН), А.А. Вигасин, Д.Н. Чистиков, А.А. Финенко(ИФА РАН)

Выявлена природа континуального поглощения в газах неполярных молекул. Детальное согласие широкодиапазонных экспериментальных спектров чистых газообразных CO_2 , N_2 , CH_4 и их смесей между собой и с Ar в миллиметровом и субмиллиметровом диапазоне длин волн с результатами исходящих из первых принципов траекторных расчётов позволяет: (а) утверждать, что наблюдаемый континуум полностью объясняется бимолекулярным механизмом поглощения, включающим разные типы молекулярных пар, и (б) открывает возможность физически-обоснованного моделирования континуума в широком интервале термодинамических условий. Продемонстрирована аналогия с континуумом водяного пара, играющим ключевую роль в радиационном балансе Земли.

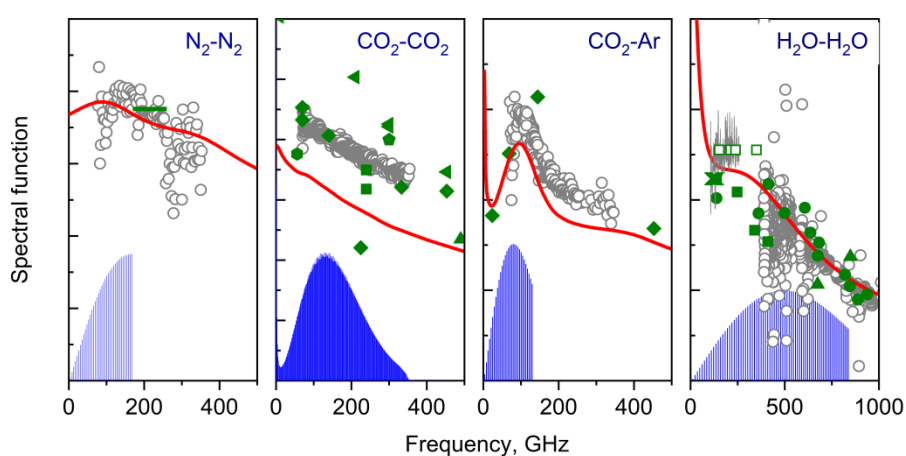


Рис. Спектральные функции различных столкновительных систем в субТГц диапазоне

Публикации:

1. E.A. Serov, T.A. Galanina, A.O. Koroleva, D.S. Makarov, I.S. Amerkhanov, M.A. Koshelev, M.Yu. Tretyakov, D.N. Chistikov, A.A. Finenko, A.A. Vigin. Continuum absorption in pure N_2 gas and in its mixture with Ar. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, **328** 109172 (2024).
2. T.A. Galanina, A.O. Koroleva, I.S. Amerkhanov, E.A. Serov, M.A. Koshelev, M.Yu. Tretyakov, D.N. Chistikov, A.A. Finenko, A.A. Vigin. On the nature of sub-THz continuum absorption in CO_2 gas, its mixture with Ar, and in pure water vapor. *Physical Chemistry Chemical Physics*, **26** 15032 (2024).
3. A.A. Finenko. Accurate neural-network-based fitting of full-dimensional N_2 –Ar and N_2 – CH_4 two-body potential energy surfaces aimed at spectral simulations. *Molecular Physics*. 30 Apr. 2024. DOI: 10.1080/00268976.2024.2348110.

Финансирование: в рамках гранта РФФ № 22-17-00041.

ПФНИ: 1.3.1.4. Физика атомных и молекулярных столкновений.

14. Инвариант распределения поля шумового источника звука в океане

Расширена область применения классического волноводного инварианта Чупрова при описании структуры поля широкополосного источника звука в океане и использовании результатов измерений при решении обратных задач подводной акустики. Волноводный инвариант задает наклоны интерференционных линий в распределении интенсивности источника в плоскости «дистанция – частота». Показано, что аналогичные линии наблюдаются в распределении интенсивности поля в фазовом пространстве «дистанция – глубина – угол прихода – время задержки» (Рис. 1). Это распределение строится на основе измерений поля с помощью вертикальной приемной решетки. Переход в фазовое пространство осуществляется с применением заимствованного из квантовой теории метода когерентных состояний. Интерференционные линии в фазовом пространстве устойчивы по отношению к вариациям параметров среды. Параметры этих линий могут быть использованы в качестве входных данных в робастных алгоритмах решения задач локализации источника и реконструкции неизвестных характеристик среды.

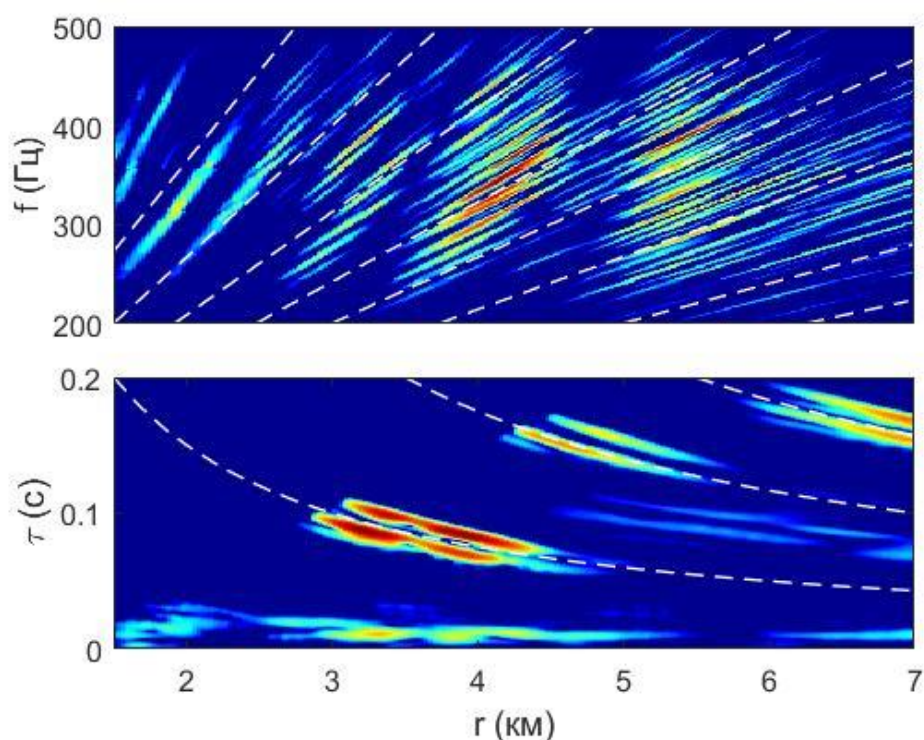


Рис. 1 – Примеры интерференционных линий поля шумового точечного источника в мелком море. Вверху: распределение интенсивности в плоскости «дистанция – частота».

Внизу: сечение распределения интенсивности в фазовом пространстве плоскостью «дистанция – временная задержка». Пунктиром показаны линии, удовлетворяющие уравнениям Чупрова

$$(df/f)/(dr/r) = \beta \text{ (вверху) и } (d\tau/\tau)/(dr/r) = -\beta \text{ (внизу), где } \beta = 1 \text{ – значение волноводного инварианта в данном примере}$$

A.L. Virovlyansky, A.Y. Kazarova. Phase space representation of sound field excited by a noise source in underwater acoustic waveguide// J. Acoust. Soc. Am. 2024. V. 155. No. 6. P. 3930-3941. <https://doi.org/10.1121/10.0026433>

Результат получен в рамках гранта РФФ 20-19-00383.

Направление ПФНИ: 1.3.6.7. Радиофизические и акустические методы диагностики окружающей среды, связи и локации.