

Форма 501. КРАТКИЙ НАУЧНЫЙ ОТЧЕТ

1.1. Номер проекта

11-02-12102

1.2. Руководитель проекта

Китаева Галия Хасановна

1.3. Название проекта

Компактные квазинепрерывные диагностические устройства на основе новых методов генерации и детектирования терагерцового излучения

1.4. Вид конкурса

офи-м-2011 - Конкурс ориентированных фундаментальных исследований по актуальным междисциплинарным темам

1.5. Год представления отчета

2013

1.6. Вид отчета

итоговый (2011-2012)

1.7. Аннотация

Исследованы нелинейно-оптические схемы генерации и детектирования терагерцового излучения (ТИ), предназначенные для работы в непрерывном или квазинепрерывном режиме в диапазоне частот 0.5-2 ТГц. Источники и приемники излучения этого типа перспективны для создания малогабаритных быстродействующих устройств терагерцовой спектроскопии, диагностики и обнаружения, способных функционировать во внелабораторных условиях.

Разработаны и созданы экспериментальные макеты компактных источников монохроматической, бигармонической и широкополосной лазерной накачки терагерцовых устройств:

(1) Твердотельные лазеры с продольной диодной накачкой и акустооптической модуляцией добротности резонатора. Длины волн генерации 1053 нм или 1047 нм (предназначены для накачки нелинейно-оптического детектора ТИ или широкополосного лазера в схеме частотно-перестраиваемой генерации ТИ), длительность импульса 7 нс, энергия до 0.7 мДж, частота повторения до 10 кГц.

(2) Компактные двухчастотные лазеры с продольной диодной накачкой на кристалле Nd:YLF, генерирующие одновременно на двух длинах волн 1047 нм и 1053 нм, в непрерывном или импульсно-периодическом режиме (при модуляции добротности резонатора акустооптическим затвором). Выходная мощность в непрерывном режиме (предназначен для накачки фотомиксеров) составила 0.8 Вт на каждой длине волны, пиковая мощность импульсов в импульсно-периодическом режиме (для бигармонической накачки нелинейно-оптических

генераторов) составила 8 кВт на каждой длине волны.

(3) Система широкополосной лазерной накачки (предназначена для частотно-перестраиваемой генерации квази-непрерывного ТИ методом оптического выпрямления), состоящая из твердотельного лазера на кристалле Nd:YLF с лазерной диодной накачкой и лазера на кристалле LiF с центрами окраски, генерирующего импульсно-периодическое излучение с высокой частотой повторения (до 10 кГц) на центральной длине волны 1145 нм с шириной полосы 25 нм.

Впервые осуществлена генерация ТИ в режиме оптического выпрямления Фурье-неограниченных лазерных импульсов наносекундной длительности. Данный подход, продемонстрированный на примере генерации в пространственно-однородных кристаллах теллурида цинка и периодически поляризованных кристаллах ниобата лития, не требует частотно-перестраиваемой оптической накачки для управления частотой выходного ТИ, что существенно упрощает схему и снижает габариты частотно-перестраиваемого генератора ТИ. Создан компактный (размеры лазерного излучателя 16 см x 5 см x 3 см, длина кристалла 1 см) источник когерентного импульсно-периодического ТИ на частоте 1.64 ТГц, генерируемого при параметрическом вычитании частот бигармонической лазерной накачки (на длинах волн 1047 нм и 1053 нм) в кристалле GaSe. Длительность импульсов генерации - 12 нс, пиковая мощность ТИ 0,75 мВт при частоте повторения 7 кГц.

Разработаны схемы нелинейно-оптического детектирования ТИ в диапазоне 0.5 - 2 ТГц: для детектирования непрерывного ТИ при накачке от Ar-лазера на длине волны 514.5 нм, для детектирования квазинепрерывного излучения при накачке, синхронизованной с импульсами накачки терагерцового генератора (длинах волн 1053 нм, 1047 нм или вторых гармониках этого излучения). Созданы периодически поляризованные кристаллы ниобата лития и измерены перестроечные характеристики детекторов на их основе. На базе эффекта спонтанного параметрического рассеяния развит метод измерения спектрального распределения чувствительности и предложен метод калибровки показаний терагерцовых детекторов нелинейно-оптического типа.

1.8. Полное название организации, где реализуется проект

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова"
физический факультет Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова

Форма 502. КРАТКИЙ НАУЧНЫЙ ОТЧЕТ НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ

2.1. Номер проекта

2.2. *Руководитель проекта*

Kitaeva Galiya Khasanovna

2.3. *Название проекта*

Compact quasi-continuous and continuous wave diagnostics devices based on the new methods of generation and detection of terahertz radiation

2.4. *Год представления отчета*

2013

2.5. *Вид отчета*

итоговый (2011-2012)

2.6. *Аннотация*

The nonlinear-optical schemes for generation and detection of terahertz wave radiation (TR) are investigated, designed to operate in a continuous or quasi-continuous wave mode in the frequency range of 0.5-2 THz. The sources and detectors of this type radiation are promising for developing small high-speed devices for terahertz spectroscopy, diagnostics and evaluation, which can operate in non-laboratory conditions. Compact sources are designed for monochromatic, two-frequency and broadband laser pumping of terahertz devices: (1) Solid-state longitudinally diode-pumped lasers with acousto-optic Q-switching. The lasing wavelength is 1053 nm or 1047 nm (designed to pump a nonlinear-optical detector or a broadband laser in a scheme of frequency-tunable TR generation), pulse duration is 7 ns, pulse energy scales up to 0.7 mJ, and repetition rate is tunable up to 10 kHz. (2) Compact dual-frequency laser with longitudinal diode-pumped crystal of Nd: YLF, generating at two wavelengths, 1047 and 1053 nm, simultaneously, in a continuous or pulsed-periodic mode (with an acousto-optic Q-switching gate). Output power in a continuous mode (intended for pumping of photomixers) was 0.8 W at each wavelength, peak power pulses in the pulse-periodic regime (for two-frequency pumping of nonlinear-optical TR generators) was 8 kW at each wavelength. (3) Broadband laser pumping system (designed for a frequency-tunable generation of quasi-continuous TR via optical rectification), consisting of a solid-state laser based on a diode-pumped Nd: YLF crystal, and a solid-state laser based on a crystal of LiF with color centers, generating a pulse-periodic radiation with a high repetition rate (10 kHz) on the central wavelength of 1145 nm with a bandwidth of 25 nm. TR generation in a mode of optical rectification of Fourier-unlimited nanosecond laser pulses has been implemented for the first time. Demonstrated as for the example under generation in a spatially homogeneous zinc telluride crystal and periodically poled lithium niobate crystals, this approach does not require a frequency-tunable optical pump to control the output frequency of TR, which greatly simplifies and reduces the size of the frequency-tunable TR generator. A compact (laser source has the sizes of 16 cm x 5 cm x 3 cm, the crystal length is 1 cm) source of coherent pulsed-periodic TR at frequency 1.64 THz is created, based on parametric difference frequency generation under two-frequency laser pumping (at the wavelengths 1047 nm and 1053 nm) in a GaSe crystal. Pulse duration is 12 ns, TR peak power is 0.75 mW at a repetition rate of 7 kHz. The schemes of nonlinear-optical detection

of TR in the range of 0.5 - 2 THz are developed: for continuous TR detection, pumped by Ar-laser at a wavelength of 514.5 nm, and for detecting TR under quasi-continuous pumping, synchronized with the pump pulses of the terahertz generator (at the wavelengths 1053 nm and 1047 nm, or at corresponding second harmonics). Periodically poled lithium niobate crystals are manufactured, and the tuning characteristics of TR detectors, which operate with these crystals, are measured. On the basis of effect of spontaneous parametric down-conversion, a method of measuring the spectral sensitivity distribution is developed, and a method of spectral brightness calibration is proposed for the TR detectors of nonlinear-optical type.

2.7. Полное название организации, где реализуется проект

Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University

550. РАЗВЕРНУТЫЙ НАУЧНЫЙ ОТЧЕТ ПО ПРОЕКТУ "ОФИ_М"

50.1.1. Номер проекта

11-02-12102

50.1.2. Название проекта

Компктные квазинепрерывные диагностические устройства на основе новых методов генерации и детектирования терагерцового излучения

50.1.3. Вид конкурса

офи-м-2011 - Конкурс ориентированных фундаментальных исследований по актуальным междисциплинарным темам

50.2.1. Тема исследований

4. - Фундаментальные основы создания в терагерцовом диапазоне новых технологических и диагностических систем

50.2.2. Направление исследований

4.02. - Фундаментальные основы создания диагностических систем, основанных на применении терагерцового излучения. Основы получения и обработки терагерцовых изображений.

50.3. Коды классификатора, соответствующие содержанию фактически проделанной работы

02-320

50.4. Объявленные ранее цели и основные задачи проекта на 2011 год

Разработка новых нелинейно-оптических методов регистрации спектральных и

энергетических параметров терагерцового излучения, основанных на оптико-терагерцовых процессах преобразования частоты.

Оптимизация специализированных лазерных источников монохроматической, бигармонической и широкополосной накачек нелинейно-оптических кристаллов, предназначенных для систем генерации и детектирования квазинепрерывного терагерцового излучения.

50.5. *Степень выполнения поставленных в проекте задач*

Поставленные в проекте задачи 2011 года выполнены полностью.

50.6. *Полученные за отчетный период важнейшие научные результаты с указанием их междисциплинарности и значимости для развития междисциплинарных направлений*

1. Исследованы нелинейно-оптические среды для детектирования прямых и обратных терагерцовых волн: периодически и аperiodически поляризованные кристаллы ниобата лития, созданные по двум альтернативным технологиям, а также пространственно-однородные кристаллы теллурида цинка.

2. Разработаны методы управления спектральным распределением чувствительности и плавной перестройки частоты терагерцовых приемников, основанные на варьировании параметров нелинейной среды и лазерной накачки.

3. Исследованы теоретические основы нового метода квантовой калибровки спектральной яркости терагерцового излучения и разработана схема для его осуществления.

4. На базе Nd:YLF лазера, созданного на первом этапе проекта и работающего в непрерывном режиме двухчастотной генерации, создан компактный источник квазинепрерывной импульсной бигармонической накачки нелинейно-оптических кристаллов с пиковой мощностью 16 кВт.

5. Создан компактный (размеры лазерного излучателя 16 см x 5 см x 3 см, длина кристалла 1 см) источник когерентного импульсно-периодического ТИ на частоте 1.64 ТГц, генерируемого при параметрическом вычитании частот бигармонической лазерной накачки (на длинах волн 1047 и 1053 нм) в кристалле GaSe. Длительность импульсов генерации - 12 нс, пиковая мощность ТИ 0,75 мВт при частоте повторения 7 кГц.

6. Разработаны схемы для компактных квазинепрерывных диагностических устройств на основе исследованных методов генерации и детектирования терагерцового излучения.

50.7. *Степень новизны полученных результатов*

Все основные результаты получены впервые.

50.8. *Сопоставление полученных результатов с мировым уровнем*

В результате выполнения данной работы нам удалось выйти на мировой уровень по

генерации терагерцового излучения с фиксированной частотой в нелинейно-оптических кристаллах при двухчастотной накачке (генерация разностной частоты в терагерцовой области). За последние десять лет был достигнут значительный прогресс в разработке двухчастотных лазеров, которые могут быть для этого использованы. Как правило, в них используются один активный кристалл (керамика или стекло) и продольная диодная накачка. В Nd – активированных средах двухчастотная генерация была получена в диапазонах длин волн 1,06 мкм или 1,3 мкм или даже 0,9 мкм путём подавления генерации в двух других диапазонах, используя зеркала с соответствующим пропусканием. Таким путём, используя разные Nd – активированные среды с несколько различным Штарковским расщеплением лазерных уровней, удалось получить двухчастотную генерацию с разностью частот, лежащей в диапазоне от 0,3 до 7,1 ТГц [например, 1-6]. Двухчастотная генерация была получена также в лазерах, использующих Tm- [7], Er- [8] и Yb- [9] активированные кристаллы. В [10] внутрирезонаторные элементы - эталон Фабри-Перо или фильтр Лио использовались для достижения двухчастотной генерации в Nd:GdVO₄ лазерах с диодной продольной накачкой. Примером использования двухчастотных лазеров для получения терагерцового излучения с фиксированной частотой при нелинейно-оптическом преобразовании может служить работа [11]. В этой работе два Nd:YLF кристалла накачивались отдельными диодными лазерами через отдельные зеркала. Излучения на длинах волн 1,047 и 1,053 мкм со взаимно перпендикулярными поляризациями совмещались на поляризаторе, проходили через общий акусто-оптический модулятор и далее отражались общим выходным зеркалом. Было получено терагерцовое излучение с частотой 1,64 ТГц в кристалле GaSe длиной 15 мм с эффективностью 10⁻⁶. В той же работе была продемонстрирована возможность использования двух разных активных сред для получения двухчастотной генерации: один из кристаллов Nd:YLF был заменён на кристалл Nd:YAG, в результате было получено терагерцовое излучение на частоте 2,98 ТГц. Несомненным достоинством предложенных в проекте схем частотно-перестраиваемой генерации и генерации на частоте 1.64 ТГц является возможность компактного исполнения. В первом случае это реализуется за счет использования одного источника лазерной накачки с фиксированным (широкополосным) спектром излучения длины волны.

Использованный нами подход (оптическое выпрямление Фурье-неограниченных импульсов наносекундной длительности) до сих пор в мировой практике не применялся. Во втором случае - за счет оригинальной конструкции твердотельного лазера накачки, осуществляющего генерацию одновременно на двух оптических частотах. Нелинейно-оптические методы детектирования широко используются в мировой практике при электро-оптическом стробировании коротких импульсов терагерцового излучения, и только начинают применяться для регистрации квазинепрерывного терагерцового излучения. Вместе с тем, предложенный нами метод калибровки спектральной яркости излучения по сигналам спонтанного параметрического рассеяния, по-видимому, до сих пор в терагерцовом диапазоне никогда не использовался. Дальнейшее исследование и экспериментальная реализация этого нового подхода может в будущем вывести нелинейно-оптические методы детектирования на лидирующие позиции и помочь решению проблем фотометрической аттестации терагерцовых приборов.

2819 (2012)

2. H. Yu, H. Zhang, Z. Wang, J. Wang, Y. Yu, Z. Shi, X. Zhang, M. Jiang, Opt. Lett. 34, 151-153 (2009)
3. S. Liu, L. Zheng, J. He, J. Xu, X. Xu, L. Su, K. Yang, B. Zhang, R. Wang, X. Liu, Opt. Express 20. 22448-22453 (2012)
4. Z. Jia, B. Zhang, Y. Li, X. Fu, A. Arcangeli, J. He, X. Tao, M. Tonelli, Laser Phys. Lett. 9, 20-25 (2012)
5. H. Zhu, G. Zhag, C. Huang, Y. Wei, L. Huang, A. Li, Z. Chen, Appl. Phys. B 90, 451-454 (2008)
6. R. Zhou, E. Li, B. Zhang, X. Ding, Z. Cai, W. Wen, P. Wang, J. Yao, Opt. Commun. 260, 641-644 (2006)
7. B. Yao, Y. Tian, G. Li, Y. Wang, Opt. Ezpress 18, 13574-13579 (2010)
8. Y. Chen, Y. Lin, Y. Zou, Z. Luo, Y. Huang, Opt. Express 20, 9940-9947 (2012)
9. Q. Yang, Y. G. Wang, D. H. Liu, J. Liu, L. H. Zheng, L. B. Su, J. Xu, Laser Phys. Lett., 9, 135-140 (2012)
10. А.А.Сироткин, С.В.Гарнов, В.И.Власов, А.И.Загуменный, Ю.Д.Заварцев, С.А.Кутовой, И.А.Щербаков, Квантовая Электроника, 42, 420-426 (2012)
11. P. Zhao, S. Ragam, Yu. J. Ding, Iou. Zotova, Appl. Phys. Lett. 98, 131106 (2011)

50.9. *Методы и подходы, использованные в ходе выполнения проекта*

Исследование нелинейно-оптических сред, перспективных для детектирования терагерцовых волн, проводилось методами спонтанного параметрического рассеяния (СПР) света на нижней поляритонной ветви и терагерцовой спектроскопии временного разрешения (ТСВР).

СПР позволяет исследовать дисперсию показателей преломления, коэффициентов нелинейной передачи кристаллов в терагерцовом диапазоне частот без использования терагерцовых источников и приемников. В основе метода лежит эффект распада фотонов монохроматической оптической лазерной накачки на пары фотонов в среде с ненулевой квадратичной восприимчивостью $\chi^{(2)}$. В результате внутри среды возникает излучение, состоящее из пар коррелированных фотонов, частоты которых (ω_1 и ω_2) лежат в широких пределах (от 0 до частоты накачки ω_0) при условии, что сумма частот падающих фотонов равна частоте оптической накачки: $\omega_1 + \omega_2 = \omega_0$. Измеряя частотно-угловые спектры распределения интенсивности полей фотонов на частотах ω_1 , можно определять дисперсионные характеристики кристаллов на сопряженных частотах ω_2 . В данном эксперименте, для характеристики терагерцовых параметров периодически поляризованных волн, измерялись частотно-угловые спектры распределения интенсивности (Рис. 1) падающих полей "сигнальных" фотонов (на частотах ω_1), соответствующих терагерцовым

'холостых' фотонов (на частотах ω_2), занимающих длинноволновую область нижней

поляритонной ветви на общем законе дисперсии кристалла $k(\omega)$.

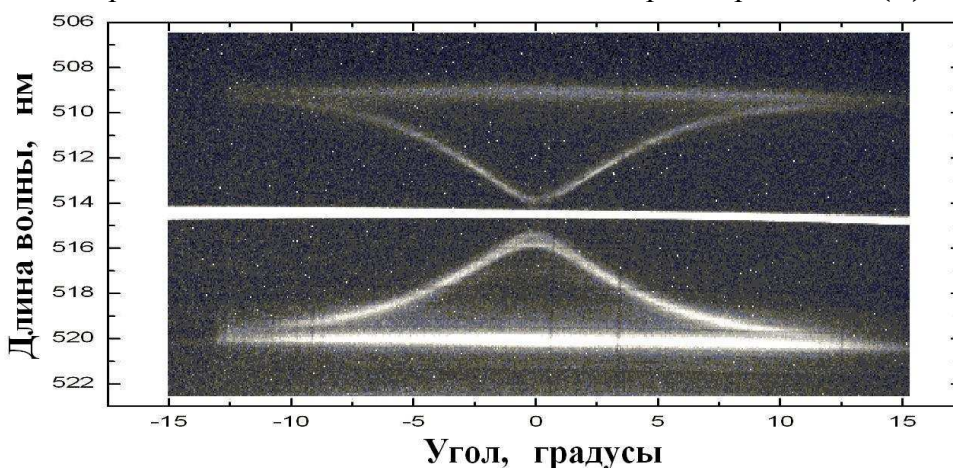


Рис. 1. Пример частотно-углового спектра спонтанного параметрического рассеяния в периодически поляризованном кристалле ниобата лития (геометрия *ooe*). Яркая горизонтальная линия в центре снимка соответствует излучению накачки; ниже неё находится область, соответствующая Стоксовому рассеянию, выше – Анти-Стоксовому. Горизонтальные линии выше и ниже от линии накачки соответствуют рассеянию света на фононах (частота $\approx 232 \text{ см}^{-1}$).

Таким образом были определены зависимости показателей преломления и коэффициентов поглощения в терагерцовом диапазоне для конкретных образцов номинально чистых и легированных магнием кристаллов ниобата лития нестехиометрического состава, а также измерены спектральные распределения функции нелинейной передачи периодически поляризованных кристаллов с той или иной степенью регулярности доменной структуры. Для случая, когда холостые частоты находятся в терагерцовом диапазоне, характерно появление сигнального излучения не только на разностных частотах $\omega_1 = \omega_0 - \omega_2$ (в Стоксовой области частот рассеяния), как при обычном эффекте СПР, но и на суммарных частотах $\omega_1 = \omega_0 + \omega_2$ (в анти-Стоксовой области). Природа данного сигнала - классический эффект параметрического преобразования частоты тепловых флуктуаций поля, которые даже при комнатной температуре дают существенное заполнение холостых мод параметрического преобразователя, сравнимое с аналогичным заполнением за счет квантовых флуктуаций при СПР. Таким образом, по результатам измерения частотно-угловых распределений сигналов в Стоксовой и анти-Стоксовой области сигнальных частот, были определены спектральные параметры терагерцовых детекторов, работающих как на суммарных, так и на разностных частотах. На основании этого были отобраны оптимальные образцы для узкополосного детектирования терагерцовых волн в диапазоне частот 0.6 - 2 ТГц и измерены их частоты детектирования в режиме геометрий *ooe* и *eee*. Измерения функции нелинейной передачи методом СПР проводились также при различных температурах кристаллов при нагреве до 200⁰С. Было показано, что изменение температуры не приводит к существенному изменению частоты детектирования в геометрии *eee*. Так, при накачке на длине волны 0.5145 нм нагрев периодически поляризованного кристалла ниобата лития конгруэнтного состава на 100 градусов дает уменьшение частоты детектирования сонаправленных терагерцовых волн (геометрия "forward") на 0.12 ТГц в диапазоне 1.5-2 ТГц. В тех же кристаллах могут детектироваться

встречные терагерцовые волны (геометрия "backward"), при этом изменение частоты при нагреве на 100 °С еще меньше: 0.02 ТГц. Режим *ooe* при этом отличается в лучшую (с точки зрения температурного управления частотой детектирования) сторону: аналогичный сдвиг доходит до 0.4 ТГц при регистрации сигнала в анти-Стоксовой области спектра и детектировании в геометрии "forward". Следует отметить, что, в отличие от геометрии *eee*, терагерцовая частота детектирования в режиме *ooe* растет при нагреве кристалла.

Помимо метода СПР для исследования кристаллов применялся метод ТСВР, как в прямой модификации - когда измерялись спектральные характеристики терагерцового излучения, генерируемого кристаллами в открытое пространство, так и в модификации "pump-probe". В первом случае терагерцовое излучение генерировалось в кристалле методом оптического выпрямления фемтосекундных лазерных импульсов (длина волны 800 нм, длительность около 100 пс) и измерялось методом электро-оптического стробирования во втором отдельно расположенном кристалле. При этом терагерцовое излучение, выходящее из первого кристалла, фокусировалось на входную поверхность второго кристалла с помощью внецентровых параболических зеркал. Во втором случае и генерация, и стробирование производились в одном и том же кристалле. Таким образом измерялось терагерцовое поле, которое формировалось в толще образца и могло остаться незамеченным внешним детектором из-за высокого поглощения кристалла или полного внутреннего отражения от его граней. С использованием методов ТСВР было проведено сравнение периодически поляризованных кристаллов ниобата лития, созданных двумя различными технологиями, а также исследованы спектральные характеристики детекторов на основе пространственно-однородных кристаллов теллурида цинка.

Наиболее распространенным методом создания периодически поляризованных кристаллов (кристаллов с периодическим изменением знака нелинейной восприимчивости второго порядка $\chi^{(2)}$) в настоящее время является метод переполаризации монокристаллического слоя во внешнем электрическом поле. Альтернативный подход - создание доменной структуры непосредственно в процессе роста кристалла в асимметричном тепловом поле. Благодаря большим поперечным размерам для применений в терагерцовой области более удобны и предпочтительны кристаллы, изготовленные по второй технологии. Однако, точно контролировать толщину доменов в процессе роста сложно и даже специально отобранные (с помощью метода СПР) образцы могут иметь нерегулярную доменную структуру. Прямое сравнение временных и спектральных характеристик излучения, генерируемого кристаллами двух типов (Рис.3), показало, что нерегулярность не приводит к заметному изменению формы спектра и эффективности оптико-терагерцового преобразования в геометрии *eee*. Вместе с тем, благодаря более низкому поглощению и более высокой лучевой стойкости, кристаллы с ростовой доменной структурой имеют преимущества в системах с высокой мощностью лазерной накачки и, за счет этого, более высокой предельной эффективностью оптико-терагерцового преобразования. Возможность получения этим методом периодически поляризованных кристаллов с большими поперечными размерами (до 1 см) делает ростовой метод чрезвычайно привлекательным для использования в

детекторной части терагерцовых схем построения изображений.

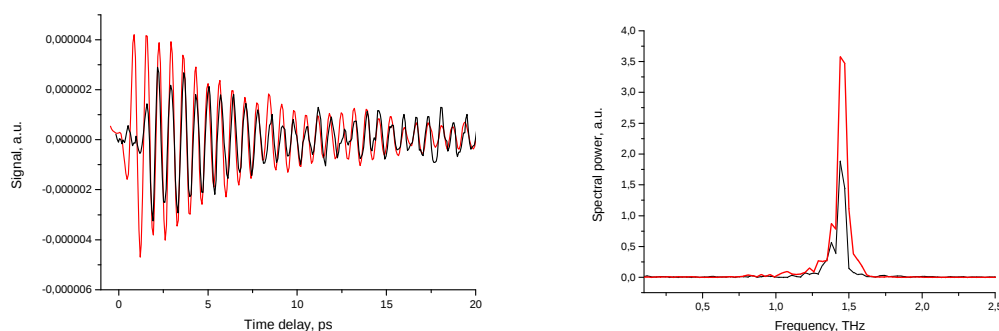


Рис.2. Временная зависимость терагерцового поля (слева) и спектральное распределение мощности (справа), измеренные для двух периодически поляризованных кристаллов ниобата лития, изготовленных по ростовой (черные кривые) и пост-ростовой (красные кривые) технологиям.

На данном этапе проекта были также исследованы теоретические основы нового метода квантовой калибровки спектральной яркости терагерцовых детекторов. Проблема абсолютной калибровки показаний детекторов квази-непрерывного излучения имеет первостепенную важность для дальнейшего развития приборной базы терагерцового диапазона. В основе предложенного нами подхода вновь лежит использование эффекта СПР, который наблюдается в кристалле-детекторе при наличии накачки как в отсутствие измеряемого терагерцового излучения, так и при его подаче. Соответственно, яркость сигнального излучения, регистрируемого в коллинеарном направлении, в первом случае определяется только параметрическим преобразованием частоты тепловых и квантовых флуктуаций вакуума, а во втором случае к этому сигналу (шумовому - с точки зрения работы детектора) добавляется сигнал параметрического преобразования измеряемого излучения. Шумовой сигнал, пропорциональный яркости флуктуационного поля, предлагается использовать в качестве калибровочного для определения коэффициента параметрического преобразования измеряемого излучения. Тем самым появляется возможность прокалибровать яркость внешнего излучения в единицах яркости квантовых и тепловых флуктуаций терагерцового поля в кристалле. Яркость квантовых флуктуаций определяется фундаментальными константами и постоянным числом заполнения мод - 1 фотон на моду излучения. Однако яркость тепловых флуктуаций поля, определяемая Планковским фактором, зависит от температуры в области кристалла, заполненной накачкой. В ходе выполнения проекта были измерены шумовые сигналы в Стоксовой и анти-Стоксовой частях спектра СПР периодически поляризованных кристаллов ниобата лития и определена их связь с температурой кристалла. Разработан метод, позволяющий учесть и также прокалибровать тепловые флуктуации поля на терагерцовой частоте при детектировании терагерцового излучения одновременно в Стоксовой (на разностных частотах) и анти-Стоксовой (на суммарных частотах) частях спектра оптического сигнального излучения (см. схему на Рис.3).

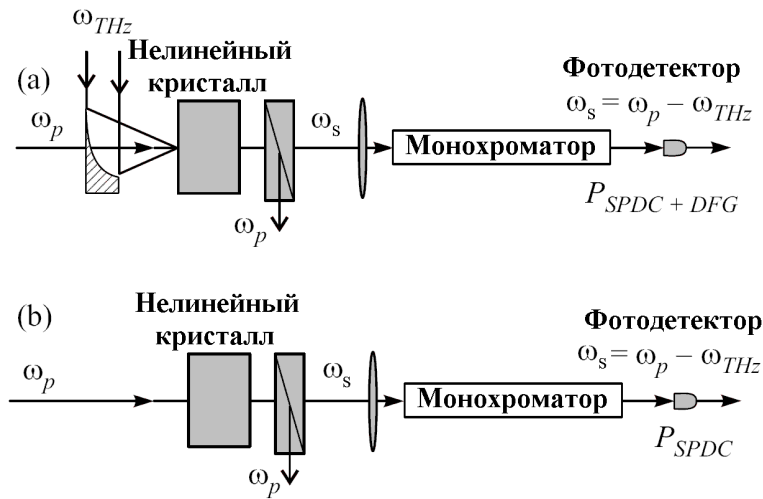


Рис. 3. Оптическая схема для измерения спектральной яркости терагерцового излучения. (а) – на детектор подаётся ТГц излучение, (б) – излучение не подается.

Последний этап работ состоял в разработке схемы генерации для максимально компактного квазинепрерывного диагностических устройства. В отличие от первого этапа (2011г.), на котором был разработан частотно-перестраиваемый квазинепрерывный генератор, основанный на процессе оптического выпрямления Фурье-неограниченных широкополосных наносекундных импульсов, на данном этапе с этой целью был создан узкополосный генератор излучения фиксированной частоты (1.64 ТГц). Схема данного источника была предельно упрощена: на базе Nd:YLF лазера, работающего в непрерывном режиме двухчастотной генерации, был создан компактный источник квазинепрерывной импульсной бигармонической накачки нелинейно-оптических кристаллов с пиковой мощностью 16 кВт; размеры Nd:YLF лазера (без блока питания) 16x5x3 см³. Преобразование оптического излучения в терагерцовый диапазон осуществлялось методом генерации разностной частоты в кристалле селенида галлия (GaSe). Накачкой двухчастотного Nd:YLF лазера служил непрерывный лазерный диод, излучавший на длине волны 0,806 мкм (Рис.4). Радиус пучка накачки на поверхности кристалла Nd:YLF диаметром 4 мм и длиной 10 мм составлял 60 мкм. Входное вогнутое зеркало с радиусом кривизны 120 мм было просветлено на длину волны накачки и являлось глухим зеркалом для длин волн генерации 1,047 и 1,053 мкм. Торцы Nd:YLF кристалла были просветлены на длинах волн накачки и генерации. Плоское выходное зеркало с пропусканием 25% на длинах волн генерации было закреплено на столике параллельного смещения для изменения длины резонатора вблизи полуконфокальной конфигурации (60-90 мм). Для такого резонатора радиус гауссовой моды на входном зеркале, вблизи которого расположен кристалл Nd:YLF, составляет примерно 200 мкм, что заведомо превышает радиус пучка накачки 60 мкм. Между кристаллом Nd:YLF и выходным зеркалом расположен акустооптический модулятор.

Создание малогабаритного источника бигармонической накачки стало возможным благодаря применению нового технологического решения. При увеличении длины резонатора с 60 мм было обнаружено, что длина волны лазера при некоторой длине резонатора переключается с 1,047 на 1,053 мкм, а при увеличении длины резонатора ещё на 4-5 мм переключается на исходную длину волны 1,047 мкм. Соответственно, имеются две области, в которых лазер генерирует на обеих длинах волн

одновременно. Переходная область, соответствующая большей длине резонатора (примерно 82 мм), была выбрана в качестве рабочей в силу более высокого качества профиля излучения. Меняя длину резонатора вблизи 82 мм, удалось совместить импульсы генерации на двух длинах волн длительностью 12 нс. Совмещение импульсов во времени было достаточно стабильным: при эксплуатации лазера в течение трёх месяцев для этого требовался только его прогрев после включения. Исследование порогов генерации Nd:YLF лазера на каждой из длин волн показало, что, в силу большей тепловой линзы на 1,047 мкм, порог генерации на 1,047 мкм при длине резонатора несколько большей полуконфокальной длины (в пределах изменения длины 4-5 мм) становится выше порога генерации на 1,053 мкм, что и приводит к переключению длин волн. Условие возникновения этого переключения: радиус пучка накачки должен быть меньше радиуса гауссовой моды, а пропускание выходного зеркала достаточно большим.

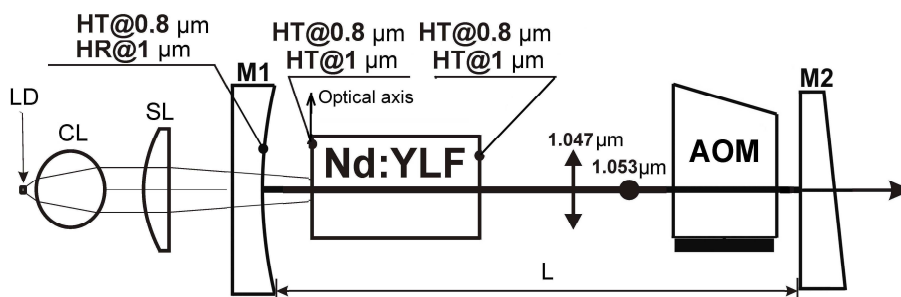


Рис. 4. Схема импульсно-периодического источника бигармонической накачки нелинейно-оптических кристаллов.

Оптико-терагерцовое преобразование излучения двухчастотного Nd:YLF лазера осуществлялось в нелинейно-оптическом кристалле GaSe. Выходное излучение Nd:YLF лазера на двух длинах волн с ортогональными поляризациями попадало в кристалл GaSe (использовались кристаллы толщиной 5 и 10,5 мм), расположенный на расстоянии 14 см от выходного зеркала лазера. Радиусы лазерных пучков на поверхности GaSe составляли 0,6 мм. Плотность мощности накачки на каждой из длин волн составляла 2,2 МВт/см². Терагерцовое излучение собиралось линзой с фокусным расстоянием 50 мм, изготовленной из полимера TPX. Перед детектором терагерцового излучения устанавливались кремниевый и чёрный полиэтиленовый фильтры для подавления лазерного излучения.

При измерении кривой фазового синхронизма (Рис.5), т.е. зависимости мощности терагерцового излучения от угла между падающими лучами накачки и нормалью к поверхности (оптической осью) кристалла GaSe толщиной 5 мм, использовался сверхпроводящий болометр. Кривая синхронизма хорошо совпадает с расчетной кривой. С помощью проволочного поляризатора измерялась поляризация терагерцового излучения. Линейная поляризация терагерцового излучения соответствовала поляризации обыкновенного луча в кристалле GaSe, что обусловлено генерацией разностной частоты по типу *оео*.

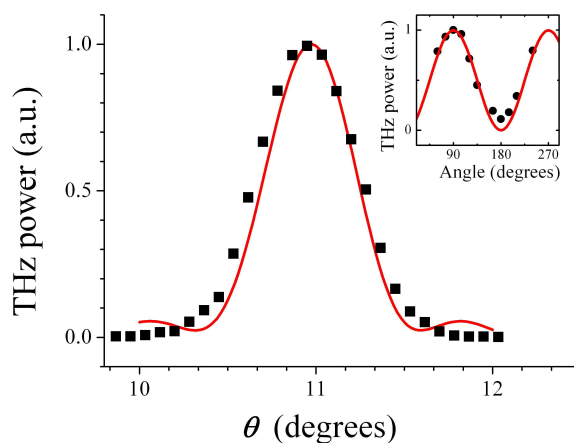


Рис.5. Зависимость мощности терагерцового излучения от угла между направлением накачки и оптической осью кристалла GaSe . На вставке - зависимость мощности в синхронизме от угла поворота поляризатора. (Точки-эксперимент, сплошные кривые - расчет).

Мощность терагерцового излучения в максимуме кривой синхронизма при использовании кристалла GaSe толщиной 10,5 мм измерялась с помощью калиброванной ячейка Голяя. Пиковая мощность терагерцового излучения составила 0,75 мВт.

50.10.1.1. *Количество научных работ, опубликованных в ходе выполнения проекта*

24

50.10.1.2. *Из них включенных в перечень ВАК*

4

50.10.1.3. *Из них включенных в системы цитирования (Web of science, Scopus, Web of Knowledge, Astrophysics, PubMed, Mathematics, Chemical Abstracts, Springer, Agris, GeoRef)*

5

50.10.2. *Количество научных работ, подготовленных в ходе выполнения проекта и принятых к печати в 2012 г.*

23

50.10.3. *Полученные в ходе выполнения проекта результаты-объекты интеллектуальной собственности*

Г.Х.Китаева, А.Н.Пенин, А.Н.Тучак, П.В.Якунин. Способ детектирования электромагнитных волн в терагерцовом диапазоне и устройство для его осуществления. Патент РФ № 2448399. Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, бюл. №11 от 20.04.2012.

50.11. *Участие в научных мероприятиях по тематике проекта, которые проводились при финансовой поддержке Фонда*

6

50.12. *Участие в экспедициях по тематике проекта, проводимых при финансовой поддержке Фонда*

50.13. *Финансовые средства, полученные от РФФИ*

2000000 руб.

50.14.1. *Адреса (полностью) ресурсов в Internet, подготовленных авторами по данному проекту*

<https://wf.qopt.org/redmine/>

50.15. *Библиографический список всех публикаций по проекту*

1. В.В. Безотосный, М.В. Горбунков, П.В. Кострюков, М.С. Кривонос, Ю.М. Попов, В.Г. Тункин, Е.А. Чешев. Двухчастотная генерация в Nd:YLF-лазере с линзоподобным активным элементом и продольной диодной накачкой. // Краткие сообщения по физике, т. 10, с. 43-51 (2011).
2. Тучак А.Н., Гольцман Г.Н., Китаева Г.Х., Пенин А.Н., Селиверстов С.В., М.И. Финкель М.И., Шепелев А.В., П.В. Якунин П.В. Генерация терагерцовых импульсов наносекундной длительности методом оптического выпрямления // Письма в ЖЭТФ. т. 97, с. 97-101 (2012).
3. G. Kh. Kitaeva, S. P. Kovalev, P. V. Yakunin, I. I. Naumova, A. N. Tuchak, Y.-C. Huang, E. D. Mishina, A.S.Sigov. Terahertz wave generation in PPLN crystals fabricated using two alternative techniques // Laser Physics Letters (принято к публикации в 2013 г.).
4. Безотосный В.В., Горбунков М.В., Кострюков П.В., Кривонос М.С., Попов Ю.М., Тункин В.Г., Чешев Е.А. Порог генерации лазеров на Nd-активированных кристаллах, керамике и стеклах при пространственно неоднородной диодной накачке // Краткие сообщения по физике, т.40, с.3-12 (2013).
5. V.V. Kornienko, A.N. Tuchak, P.V. Yakunin, I.I. Naumova, G.Kh. Kitaeva. PPLN Crystals for Nonlinear-optical Detection of Terahertz Wave Radiation// Proceedings of the 20th International Conference on Advanced Laser Technologies ALT'12, Thun, Switzerland, 2-6 September 2012 (принято к публикации в 2013 г.).
6. Безотосный В.В., Горбунков М.В., Кострюков П.В., Кривонос М.С., Попов Ю.М., Тункин В.Г., Чешев Е.А. Двухчастотная генерация в Nd:YLF-лазере с продольной диодной накачкой. // Сборник трудов Пятой Всероссийской школы для студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов по лазерной физике и лазерным технологиям. г. Саров, 26-29 апреля 2011 г., Саров, 2011 - с.183-190.
7. Безотосный В.В., Горбунков М.В., Кострюков П.В., Кривонос М.С., Попов Ю.М., Тункин В.Г., Чешев Е.А. Особенности работы твердотельного лазера с

линзоподобным Nd:YLF при неоднородной продольной диодной накачке // 8-й Белорусско-Российский семинар «Полупроводниковые лазеры и системы на их основе», 17-20 мая 2011. Сборник статей, Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, 2011 - с. 37-41.

8. В.В. Безотосный, М.В. Горбунков, П.В. Кострюков, М.С. Кривонос, Ю.М. Попов, В.Г. Тункин, Е.А. Чешев. Об эффекте синхронизации поперечных мод в твердотельном лазере при неоднородной продольной диодной накачке и возможности его использования для оценки качества активной среды и величины термооптических искажений // Лазерная физика и оптические технологии: материалы IX Международной научной конференции, 2012 - с. 18-21.

9. A.A. Angeluts, V.V. Besootosnii, E.A. Cheshev, G.N. Goltsman, M.I. Finkel, S.V. Seliverstov, M. Evdokimov, M.V. Gorbunkov, G.Kh. Kitaeva, A.L. Koromyslov, P.V. Kostryukov, M.S. Krivonos, A.P. Shkurinov, S.Yu. Sarkisov, V.G. Tunkin. Compact 1.64 THz source based on dual-wavelength diode end-pumped Nd:YLF laser with nearly semiconfocal resonator // (направлено в печать).

10. В.В. Корниенко, Г.Х. Китаева, А.Н. Тучак, П.В. Якунин. Характеризация периодически поляризованных кристаллов, предназначенных для измерения абсолютной яркости терагерцового излучения // Сборник трудов VII Международной конференции молодых ученых и специалистов «Оптика – 2011», т.2 «Терагерцовая оптика и спектроскопия», «Оптические метаматериалы, фотонные кристаллы и наноструктуры», Санкт-Петербург, 17-21 октября 2011 - с. 595-596.

11. С. П. Ковалев, Г. Х. Китаева. Пробно-энергетический подход при детектировании импульсов терагерцового излучения // Сборник трудов VII Международной конференции молодых ученых и специалистов «Оптика – 2011», т.2 «Терагерцовая оптика и спектроскопия», «Оптические метаматериалы, фотонные кристаллы и наноструктуры», Санкт-Петербург, 17-21 октября 2011 - с. 587-588.

12. М.С. Кривонос, Ю.М. Попов. Особенности двухчастотной генерации в Nd:YLF-лазере при неоднородной продольной накачке // Сборник конкурсных докладов IX Всероссийского молодежного Самарского конкурса-конференции научных работ по оптике и лазерной физике, г. Самара, 9-13 ноября 2011 г. - с. 289-295.

13. В.В. Безотосный, М.В. Горбунков, П.В. Кострюков, М.С. Кривонос, Ю.М. Попов, В.Г. Тункин, Е.А. Чешев. Двухчастотная генерация в Nd:YLF-лазере при неоднородной продольной накачке. // Сборник трудов 3-го Симпозиума по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур, Москва-Звенигород, 28-30 ноября 2011 г., ФИАН, Москва - с.36.

14. В.В. Безотосный, М.В. Горбунков, А.Л. Коромыслов, М.С. Кривонос, В.Г. Тункин, Е.А. Чешев. Механизм двухчастотной генерации в Nd:YLF лазерах с линзоподобным и плоскопараллельным активными элементами // Сборник трудов 5 Всероссийской молодежной конференции «Инновационные аспекты фундаментальных исследований по актуальным проблемам физики», Москва, 14-16 ноября 2011 г. - стр. 53.

15. A.N. Tuchak, G.N. Gol'tsman, G. Kh. Kitaeva, A.N. Penin, S.V. Seliverstov, A.V. Shepelev, P.V. Yakunin. Generation of Nanosecond-Duration Terahertz Pulses by means of Optical Rectification // Abstract book of the 2nd International Conference «Terahertz and

Microwave radiation: Generation, Detection and Applications” (TERA-2012), Москва, 20-22 June 2012 - p.20.

16. P.V. Yakunin, V.V. Kornienko, A.N. Tuchak, G.Kh. Kitaeva, A.N. Penin. The method for measuring the spectral brightness of terahertz radiation in the continuous-wave nonlinear-optical detection scheme. // Abstract book of the 2nd International Conference «Terahertz and Microwave radiation: Generation, Detection and Applications” (TERA-2012), Москва, 20-22 June 2012 - p. 51.

17. V.V. Kornienko, I.I. Naumova, A.N. Tuchak, P.V. Yakunin, G.Kh. Kitaeva. LiNbO₃ periodically poled crystals for continuous-wave nonlinear-optical detection of terahertz radiation. // Abstract book of the 2nd International Conference «Terahertz and Microwave radiation: Generation, Detection and Applications” (TERA-2012), Москва, 20-22 June 2012 - p. 57.

18. S.P. Kovalev, G. Kh. Kitaeva, I.I. Naumova, A.N. Penin, Y.C. Huang. Terahertz wave generation in lithium niobate crystals with post- and in-growth domain structure// Abstract book of the 2nd International Conference «Terahertz and Microwave radiation: Generation, Detection and Applications” (TERA-2012), Москва, 20-22 June 2012 - p.35.

19. G. Kh. Kitaeva, A.N. Penin, A.N. Tuchak, P.V. Yakunin. The use of spontaneous parametric downconversion for calibration of terahertz sources. // Abstract booklet of the conference "Quantum 2012 – Advances in Foundations of Quantum Mechanics and Quantum Information with Atoms and Photons", Turin, Italy, 21-25 May 2012 - p.54.

20. Besotosnyy V.V., Gorbunkov M.V., Kostrukov P.V., Krivonos M.S., Popov Y.M., Tunkin V.G., Cheshev E.A. Influence of resonator configurations on mode profiles and threshold in non-homogeneously diode end-pumped Nd-doped lasers // 5th International Conference on Laser Optics "LO-2012", Theses, R1, 2012 - p. 299.

21. В.В. Безотосный, М.В. Горбунков, П.В. Кострюков, М.С. Кривonos, Ю.М. Попов, В.Г. Тункин, Е.А. Чешев. Пороговые зависимости и пространственная структура излучения при синхронизации поперечных мод в твердотельных лазерах с продольной накачкой // Сборник трудов XIV Школы молодых ученых «Актуальные проблемы физики», ФИАН, 2012 - с. 129-130.

22. А.А. Ангелуц, В.В. Безотосный В.В., М.В. Горбунков, М.Г. Евдокимов, Г.Х. Китаева, А.Л. Коромыслов, М.С. Кривonos, С.Ю. Саркисов, В.Г. Тункин, Е.А. Чешев, А.П. Шкуринов. Генерация излучения 1,64 ТГц при использовании Nd:YLF двухчастотного лазера с диодной накачкой // Сборник трудов XIV Школы молодых ученых «Актуальные проблемы физики», ФИАН, 2012 - с. 121-122.

23. Ангелуц А.А., Евдокимов М.Г., Тункин В.Г., Шкуринов А.П., Китаева Г.Х., Саркисов С.Ю., Безотосный В.В., Горбунков М.В., Коромыслов А.Л., Кривonos М.С., Чешев Е.А. Генерация разностной частоты 1,64 ТГц излучения двухчастотного Nd:YLF лазера в кристалле GaSe // Материалы 3-го симпозиума «Полупроводниковые лазеры: физика и технология» (программа и тезисы докладов), Санкт-Петербург, 2012 - с.33.

24. Ковалев С.П., Кузнецов К.А., Китаева Г.Х., Пенин А.Н. Дисперсия диэлектрической проницаемости монокристаллов ниобата лития в терагерцовой

области спектра // Тезисы конференции Фундаментальные проблемы оптики «ФПО – 2012», Санкт-Петербург, ноябрь 2012г. - с. 477.

- 50.16. *Приоритетное направление развития науки, технологий и техники РФ, в котором, по мнению исполнителей, могут быть использованы результаты данного проекта*
безопасность и противодействие терроризму
- 50.17. *Критическая технология РФ, в которой, по мнению исполнителей, могут быть использованы результаты данного проекта*
Технологии диагностики наноматериалов и наноустройств
- 50.18. *Основное направление технологической модернизации экономики России, в котором, по мнению исполнителей, могут быть использованы результаты завершеного проекта*
Космические технологии, прежде всего связанные с телекоммуникациями, включая ГЛОНАСС и программу развития наземной инфраструктуры

Форма 506. ФИНАНСОВЫЙ ОТЧЕТ

6.1. *Объем средств по проекту, полученный от РФФИ в 2012 г.*

2000000

6.2. *Заработная плата*

309763

6.3. *Прочие выплаты*

1807

6.4. *Начисления на выплаты по оплате труда*

93548

6.5. *Услуги связи*

1569

6.6. *Транспортные услуги*

19845

6.7. *Арендная плата за пользование имуществом*

0

6.8. *Работы, услуги по содержанию имущества*

0

6.9. Прочие работы, услуги

665570

6.10. Прочие расходы

0

6.11. Увеличение стоимости основных средств

450657

6.12. Увеличение стоимости материальных запасов

224840

6.13. ИТОГО РАСХОДОВ

1767599

6.14. Организационно-техническое сопровождение проектов (до 15 %)

232401

6.15. Фактические расходы по проекту в 2012 г.

2000000

6.16. Остаток (если таковой имеется)0

II. Финансово-экономическое обоснование расходов по проекту (необходимо обосновать и расшифровать каждый использовавшийся показатель)

1. Заработная плата и надбавки к заработной плате сотрудников физического факультета МГУ за дополнительный объем работ, выполненный по теме (ст.211):Ковалев С.П. 72134 руб. Драбович К.Н. 120 000 руб.Тункин В.Г. 50 000 руб.Китаева Г.Х. 45 000 руб.Корниенко В.В. 22 629 руб.Итого: 309 763 руб. Начисления на выплаты по оплате труда (ст. 213) составляют 30,2% - 93 548 руб. 43 коп.

2. Прочие выплаты (ст.212).Оплата суточных при командировке на конференцию "Conference on Advanced Laser Technologies, ALT'2012", 2 - 6 сентября (Швейцария) В.В. Корниенко - 1 806 руб. 81 коп.

3. Услуги связи (ст.221).Оплата связи, пересылки договоров и платежных документов поставщикам закупленных материалов и оборудования - 1569 руб.

4. Транспортные услуги (ст.222):Оплата перелета Москва - Цюрих - Москва при командировке на конференцию "Conference on Advanced Laser Technologies, ALT'2012" В.В. Корниенко - 19 844 руб. 56 коп.

5. Прочие работы, услуги (ст.226):

5.1 Оплата труда исполнителей проекта по договорам подряда: Сапожников Д.А. 45 000 руб. Безотосный В. В. 80 000 руб. Горбунков М. В. 80 000 руб. Кривонос М. С. 80 000 руб. Чешев Е. А. 90 000 руб. Якунин П.В. 135 256 руб. Итого: 510256 руб.

5.2 Нормативные отчисления на оплату труда по договорам подряда (27.1%): 138 279 руб. 38 коп.

5.3 Оплата организационного взноса при участии Г.Х. Китаевой во Второй Международной конференции «Терагерцовое и микроволновое излучение: генерация, детектирование и применения» (20-22 июня 2012 г., Москва) - 8000 руб.

5.4 Оплата проживания при командировке на конференцию "Conference on Advanced Laser Technologies, ALT'2012", 2 - 6 сентября (Швейцария) В.В. Корниенко - 9034.12 руб.

Итого по ст. 226: 665 569 руб. 50 коп.

6. Увеличение стоимости основных средств (ст.310): Приобретение детекторного модуля опто-акустического приемника GC-1T производства ЗАО "Тидекс" в количестве 1 шт. на сумму 395300.00 рублей (включая НДС); Приобретение блока питания опто-акустического приемника GC-PS/1 производства ЗАО "Тидекс" в количестве 1 шт. на сумму 55357.00 рублей (включая НДС)

Итого: 450657 руб.

7. Увеличение стоимости материальных запасов (ст. 340): Лазерный диод ЛД 810 нм, 10 Вт - 2 шт 19 152.54 руб. Акусто-оптический затвор АОЗ 307 - 2 шт. 11 864.41 руб. Активные элементы лазерных схем: на основе кристалла Nd:YLF (100) - 5 шт. 42 000.00 руб. на основе кристалла Nd:YLF (001) - 5 шт. 42 000.00 руб. Комплект деталей конструктива - 1 шт - 12 855.93 руб. Драйвер питания и термостатирования ЛД - 1 шт. 11 398.31 руб. Драйвер питания АОЗ 9 322. 03 руб. НДС 18% при покупке вышеперечисленных деталей 26 746.78 руб. Водоохлаждаемый резисторно-транзисторный регулятор для блока питания аргонного лазера GS-10F - 1 шт. 49 500 руб. (включая НДС)

Итого : 224840 руб.

Форма 509. ПУБЛИКАЦИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПРОЕКТА (ДЛЯ ИТОГОВЫХ ОТЧЕТОВ)

9.1. Номер проекта
11-02-12102

9.2.1. Первый автор
В.В. Безотосный; 1; Россия; Физический институт РАН

9.2.2. *Первый автор (для издания библиографических сборников)*
Безотосный В.В.

9.3.1. *Другие авторы*
М.В. Горбунков; 1; Россия; Физический институт РАН
П.В. Кострюков; 2; Россия; Физический институт РАН
М.С. Кривонос; 1; Россия; Физический институт РАН
Ю.М. Попов; 2; Россия; Физический институт РАН
В.Г. Тункин; 1; Россия; Физический факультет МГУ
Е.А. Чешев; 1; Россия; Физический институт РАН

9.3.2. *Другие авторы (для издания библиографических сборников)*
Горбунков М.В.
Кострюков П.В.
Кривонос М.С.
Попов Ю.М.
Тункин В.Г.
Чешев Е.А.

9.4. *Название публикации*
Порог генерации лазеров на Nd-активированных кристаллах, керамике и стеклах при пространственно неоднородной диодной накачке

9.5. *Язык публикации*
русский

9.6.1. *Полное название издания*
Краткие сообщения по физике

9.6.2. *ISSN издания*
0455-0595

9.7. *Вид публикации*
статья в журнале

9.8. *Завершенность публикации*
опубликовано

9.9. *Год публикации*
2013

9.10.1 *Том издания*
40

9.10.2 *Номер издания*
3

9.11. *Страницы*
3-12

9.12.1. *Полное название издательства*
Учреждение Российской академии наук Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук

9.12.2. *Город, где расположено издательство*
Москва

9.13. *Краткий реферат публикации*
В области устойчивости резонаторов экспериментально и теоретически изучено влияние синхронизации поперечных мод на зависимость пороговой мощности накачки от длины резонатора в лазерах на Nd-активированных средах с продольной неоднородной диодной накачкой. Обнаружен существенно немонотонный ход зависимости пороговой мощности накачки от длины резонатора. Методом, основанным на разложении комплексной амплитуды поля по Лагерр-Гауссовым модам холодного резонатора, рассчитаны зависимости пороговой мощности накачки от длины резонатора. Наилучшее согласие с результатами расчетов наблюдалось для лазеров с активными элементами из Nd:YLF.

9.14. *Общее число ссылок в списке использованной литературы*
10

Форма 509. ПУБЛИКАЦИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПРОЕКТА (для ИТОВОВЫХ ОТЧЕТОВ)

9.1. *Номер проекта*
11-02-12102

9.2.1. *Первый автор*
В.В. Безотосный; 1; Россия; Физический институт РАН

9.2.2. *Первый автор (для издания библиографических сборников)*
Безотосный В.В.

9.3.1. *Другие авторы*
М.В. Горбунков; 1; Россия; Физический институт РАН
П.В. Кострюков; 2; Россия; Физический институт РАН
М.С. Кривонос; 1; Россия; Физический институт РАН
Ю.М. Попов; 2; Россия; Физический институт РАН
В.Г. Тункин; 1; Россия; Физический факультет МГУ
Е.А. Чешев; 1; Россия; Физический институт РАН

9.3.2. *Другие авторы (для издания библиографических сборников)*
Горбунков М.В.
Кострюков П.В.
Кривонос М.С.
Попов Ю.М.
Тункин В.Г.
Чешев Е.А.

9.4. *Название публикации*
Об эффекте синхронизации поперечных мод в твердотельном лазере при неоднородной продольной диодной накачке и возможности его использования для оценки качества активной среды и величины термооптических искажений

9.5. *Язык публикации*
русский

9.6.1. *Полное название издания*
Лазерная физика и оптические технологии: материалы IX Международной научной конференции

9.6.2. *ISSN издания*

9.7. *Вид публикации*
статья в сборнике

9.8. *Завершенность публикации*
опубликовано

9.9. *Год публикации*
2012

9.10.1 *Том издания*
1

9.10.2 *Номер издания*

9.11. *Страницы*
18-21

9.12.1. *Полное название издательства*
-

9.12.2. Город, где расположено издательство
Гродно Белоруссия

9.13. Краткий реферат публикации

Вблизи конфигураций резонатора, задаваемых соотношением: $\arccos(g_1g_2)^{1/2} = \pi/s$ (1), где π/s – правильная дробь, характеризующая вырождение, $g_{1,2} = 1 \pm L/R_{1,2}$ – параметры устойчивости резонатора, $R_{1,2}$ – радиусы кривизны зеркал резонатора, при неоднородной продольной накачке обнаружено снижение порога генерации. Минимумы пороговых уровней накачки P_n позиционируются на диаграмме g_1g_2 - P_n с высокой точностью, что может быть использовано для определения таких характеристик, как оптическая сила термолинзы в среде, астигматизм среды, астигматизм наведенной термооптики. Пространственная структура излучения в конфигурациях, задаваемых (1), имеет индивидуальные особенности для разных сред, что может дать возможность оценки их качества.

9.14. Общее число ссылок в списке использованной литературы
5

Форма 509. ПУБЛИКАЦИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПРОЕКТА (для ИТОГОВЫХ ОТЧЕТОВ)

9.1. Номер проекта
11-02-12102

9.2.1. Первый автор
А.А. Ангелуц; 2; Россия; Физический факультет МГУ

9.2.2. Первый автор (для издания библиографических сборников)
Ангелуц А.А.

9.3.1. Другие авторы
В.В. Безотосный; 1; Россия; Физический институт РАН
М.В. Горбунков; 1; Россия; Физический институт РАН
М.Г. Евдокимов; 2; Россия; Физический факультет МГУ
Г.Х. Китаева; 1; Россия; Физический факультет МГУ
А.Л. Коромыслов; 2; Россия; Физический институт РАН
М.С. Кривонос; 1; Россия; Физический институт РАН
С.Ю. Саркисов; 2; Россия; Физический факультет МГУ
В.Г. Тункин; 1; Россия; Физический факультет МГУ
Е.А. Чешев; 1; Россия; Физический институт РАН
А.П. Шкуринов; 2; Россия; Физический факультет МГУ

9.3.2. Другие авторы (для издания библиографических сборников)
В.В. Безотосный
М.В. Горбунков
М.Г. Евдокимов
Г.Х. Китаева
А.Л. Коромыслов
М.С. Кривонос
С.Ю. Саркисов
В.Г. Тункин
Е.А. Чешев
А.П. Шкуринов

9.4. Название публикации
Генерация излучения 1,64 ТГц при использовании Nd:YLF двухчастотного лазера с диодной накачкой

9.5. Язык публикации
русский

9.6.1. Полное название издания
Сборник трудов XIV Школы молодых ученых «Актуальные проблемы физики»

9.6.2. ISSN издания

- 9.7. Вид публикации
тезисы доклада
- 9.8. Завершенность публикации
опубликовано
- 9.9. Год публикации
2012
- 9.10.1 Том издания
- 9.10.2 Номер издания
- 9.11. Страницы
121-122
- 9.12.1. Полное название издательства
Издательство ФИАН
- 9.12.2. Город, где расположено издательство
Москва
- 9.13. Краткий реферат публикации
Излагаются результаты экспериментов по генерации разностной частоты излучения 1.64 ТГц в кристалле GaSe. В качестве источника лазерного излучения использовался двухчастотный Nd:YLF (100) лазер с продольной диодной накачкой и модуляцией добротности акустооптическим затвором. Лазер работал в импульсно периодическом режиме с пиковой мощностью 1.5 кВт при частоте повторения до 9 кГц. Генерация осуществлялась одновременно на длинах волн 1,047 и 1,053 мкм.
- 9.14. Общее число ссылок в списке использованной литературы
4

Форма 509. ПУБЛИКАЦИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПРОЕКТА (для ИТОГОВЫХ ОТЧЕТОВ)

- 9.1. Номер проекта
11-02-12102
- 9.2.1. Первый автор
А.А. Ангелуц; 2; Россия; Физический факультет МГУ
- 9.2.2. Первый автор (для издания библиографических сборников)
А.А. Ангелуц
- 9.3.1. Другие авторы
М.Г. Евдокимов; 2; Россия; Физический факультет МГУ
В.Г. Тункин; 1; Россия; Физический факультет МГУ
А.П. Шкуринов; 2; Россия; Физический факультет МГУ
Г.Х. Китаева; 1; Россия; Физический факультет МГУ
С.Ю. Саркисов; 2; Россия; Физический факультет МГУ
В.В. Безотосный; 1; Россия; Физический институт РАН
М.В. Горбунков; 1; Россия; Физический институт РАН
А.Л. Коромыслов; 2; Россия; Физический институт РАН
М.С. Кривонос; 1; Россия; Физический институт РАН
Е.А. Чешев; 1; Россия; Физический институт РАН
- 9.3.2. Другие авторы (для издания библиографических сборников)
Евдокимов М.Г.
Тункин В.Г.
Шкуринов А.П.
Китаева Г.Х.
Саркисов С.Ю.

Безотосный В.В.
Горбунков М.В.
Коромыслов А.Л.
Кривонос М.С.
Чешев Е.А.

9.4. *Название публикации*

Генерация разностной частоты 1,64 ТГц излучения двухчастотного Nd:YLF лазера в кристалле GaSe

9.5. *Язык публикации*

русский

9.6.1. *Полное название издания*

Материалы 3-го симпозиума «Полупроводниковые лазеры: физика и технология» (программа и тезисы докладов)

9.6.2. *ISSN издания*

9.7. *Вид публикации*

тезисы доклада

9.8. *Завершенность публикации*

опубликовано

9.9. *Год публикации*

2012

9.10.1 *Том издания*

9.10.2 *Номер издания*

9.11. *Страницы*

33

9.12.1. *Полное название издательства*

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе
Российской академии наук

9.12.2. *Город, где расположено издательство*

Санкт-Петербург

9.13. *Краткий реферат публикации*

Излагаются результаты экспериментов по генерации разностной частоты излучения 1.64 ТГц в кристалле GaSe. В качестве источника бигармонической накачки использовался двухчастотный Nd:YLF (100) лазер с продольной диодной накачкой и модуляцией добротности акустооптическим затвором. Лазер работал в импульсно периодическом режиме с пиковой мощностью 1.5 кВт при частоте повторения до 9 кГц. Генерация осуществлялась одновременно на длинах волн 1,047 и 1,053 мкм.

9.14. *Общее число ссылок в списке использованной литературы*

3

Форма 509. ПУБЛИКАЦИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПРОЕКТА (для ИТОГОВЫХ ОТЧЕТОВ)

9.1. *Номер проекта*

11-02-12102

9.2.1. *Первый автор*

В.В. Безотосный;1; Россия; ФИАН

9.2.2. *Первый автор (для издания библиографических сборников)*

Безотосный В.В.

9.3.1. Другие авторы

М.В. Горбунков;1; Россия; ФИАН
П.В. Кострюков;2; Россия; ООО "Авеста-Проект"
М.С. Кривонос;1; Россия; ФИАН
Ю.М. Попов;2; Россия; ФИАН
В.Г. Тункин;1; Россия; Физический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова
Е.А. Чешев;1; Россия; ФИАН

9.3.2. Другие авторы (для издания библиографических сборников)

Горбунков М.В.
Кострюков П.В.
Кривонос М.С.
Попов Ю.М.
Тункин В.Г.
Чешев Е.А.

9.4. Название публикации

Двухчастотная генерация в Nd:YLF-лазере с линзоподобным активным элементом и продольной диодной накачкой

9.5. Язык публикации

русский

9.6.1. Полное название издания

Краткие сообщения по физике

9.6.2. ISSN издания

0455-0595

9.7. Вид публикации

статья в журнале

9.8. Завершенность публикации

опубликовано

9.9. Год публикации

2011

9.10.1 Том издания

9.10.2 Номер издания

10

9.11. Страницы

43-51

9.12.1. Полное название издательства

Учреждение Российской академии наук Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук

9.12.2. Город, где расположено издательство

Москва

9.13. Краткий реферат публикации

В лазере с линзоподобным Nd:YLF [100] активным элементом исследована зависимость поляризации и частоты излучения от длины резонатора в условиях продольной диодной накачки. Определены условия, при которых двулучепреломление в Nd:YLF активном элементе позволяет осуществлять двухчастотную генерацию.

9.14. Общее число ссылок в списке использованной литературы

14

- 9.1. *Номер проекта*
11-02-12102
- 9.2.1. *Первый автор*
М.С.Кривонос; 1; Россия; ФИАН
- 9.2.2. *Первый автор (для издания библиографических сборников)*
Кривонос М.С.
- 9.3.1. *Другие авторы*
Ю.М.Попов; 2; Россия; ФИАН
- 9.3.2. *Другие авторы (для издания библиографических сборников)*
Попов Ю.М
- 9.4. *Название публикации*
Особенности двухчастотной генерации в Nd:YLF-лазере при неоднородной продольной накачке
- 9.5. *Язык публикации*
русский
- 9.6.1. *Полное название издания*
Сборник конкурсных докладов IX Всероссийского молодежного Самарского конкурса-конференции научных работ по оптике и лазерной физике.
- 9.6.2. *ISSN издания*
- 9.7. *Вид публикации*
статья в сборнике
- 9.8. *Завершенность публикации*
опубликовано
- 9.9. *Год публикации*
2011
- 9.10.1 *Том издания*
- 9.10.2 *Номер издания*
- 9.11. *Страницы*
289-295
- 9.12.1. *Полное название издательства*
Самарский филиал ФИАН
- 9.12.2. *Город, где расположено издательство*
Самара
- 9.13. *Краткий реферат публикации*
Получена непрерывная двухчастотная генерация в лазере на основе кристалла Nd:YLF с длинами волн 1.047 мкм и 1.053 мкм в резонаторе с линзоподобным активным элементом при неоднородной продольной диодной накачке. Экспериментально определены условия, при которых двулучепреломление в активном элементе позволяет осуществлять двухчастотную генерацию. Показано, что в лазере с линзоподобным АЭ двухчастотный режим генерации обеспечивается расщеплением областей «критических» конфигураций резонатора для обыкновенной (1.053мкм) и необыкновенной (1.047мкм) волн, связанным с бифокальностью двулучепреломляющего АЭ. Предложен метод оценки оптической силы термооптической линзы в АЭ при продольной накачке на основе измерения зависимости порога генерации от длины резонатора вблизи его «критических» конфигураций.
- 9.14. *Общее число ссылок в списке использованной литературы*
11

Форма 509. ПУБЛИКАЦИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПРОЕКТА (ДЛЯ ИТОГОВЫХ ОТЧЕТОВ)

9.1. Номер проекта
11-02-12102

9.2.1. Первый автор
В.В.Безотосный; 1; Россия; ФИАН

9.2.2. Первый автор (для издания библиографических сборников)
Безотосный В.В.

9.3.1. Другие авторы
М.В.Горбунков; 1; Россия; ФИАН
А.Л.Коромыслов; 2; Россия; ФИАН
П.В.Кострюков; 2; Россия; ООО "Авеста-Проект"
М.С.Кривонос; 1; Россия; ФИАН
В.Г.Тункин; 1; Россия; Физический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова
Е.А.Чешев; 1; Россия; ФИАН

9.3.2. Другие авторы (для издания библиографических сборников)
Горбунков М.В.
Коромыслов А.Л.
Кострюков П.В.
Кривонос М.С.
Тункин В.Г.
Чешев Е.А.

9.4. Название публикации
Механизм двухчастотной генерации в Nd:YLF лазерах с линзоподобным и плоскопараллельным активными элементами

9.5. Язык публикации
русский

9.6.1. Полное название издания
Сборник трудов V Вероссийской молодежной конференции "Инновационные аспекты фундаментальных исследований по актуальным проблемам физики"

9.6.2. ISSN издания

9.7. Вид публикации
статья в сборнике

9.8. Завершенность публикации
опубликовано

9.9. Год публикации
2011

9.10.1 Том издания

9.10.2 Номер издания

9.11. Страницы
53

9.12.1. Полное название издательства
ФИАН

9.12.2. Город, где расположено издательство
Москва

9.13. Краткий реферат публикации
Получена двухчастотная CW генерация в с длинами волн 1.047 мкм и 1.053 мкм в резонаторах с линзоподобным и плоскопараллельным Nd:YLF [100] активными элементами (АЭ) при неоднородной продольной накачке. Показано,

что в лазере с линзоподобным АЭ двухчастотный режим генерации обеспечивается расщеплением областей критических конфигураций резонатора для обыкновенной (1.053 мкм) и необыкновенной (1.047 мкм) волн, связанного с бифокальностью двулучепереломляющего АЭ. В лазере с плоскопараллельным АЭ двухчастотный режим генерации обеспечивается как расщеплением, связанным с различными знаками оптической силы наведенных в АЭ термооптических линз для обыкновенной и необыкновенной волн, так и обнаруженным эффектом резкого возрастания порога генерации (падения усиления) вблизи критических конфигураций резонатора.

9.14. *Общее число ссылок в списке использованной литературы*
0

Форма 509. ПУБЛИКАЦИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПРОЕКТА (ДЛЯ ИТОГОВЫХ ОТЧЕТОВ)

9.1. *Номер проекта*
11-02-12102

9.2.1. *Первый автор*
В.В.Безотосный; 1;Россия; ФИАН

9.2.2. *Первый автор (для издания библиографических сборников)*
Безотосный В.В.

9.3.1. *Другие авторы*
М.В.Горбунков; 1;Россия; ФИАН
П.В.Кострюков; 2;Россия; "Авеста-Проект"
М.С.Кривонос; 1;Россия; ФИАН
Ю.М.Попов; 2;Россия; ФИАН
В.Г.Тункин; 1;Россия; Физический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова
Е.А.Чешев; 1;Россия; ФИАН

9.3.2. *Другие авторы (для издания библиографических сборников)*
Горбунков М.В.
Кострюков П.В.
Кривонос М.С.
Попов Ю.М.
Тункин В.Г.
Чешев Е.А.

9.4. *Название публикации*
Двухчастотная генерация в Nd:YLF-лазере при неоднородной продольной накачке

9.5. *Язык публикации*
русский

9.6.1. *Полное название издания*
Сборник трудов III-го Симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур.

9.6.2. *ISSN издания*

9.7. *Вид публикации*
статья в сборнике

9.8. *Завершенность публикации*
опубликовано

9.9. *Год публикации*
2012

9.10.1 *Том издания*

9.10.2 *Номер издания*

9.11. Страницы
243-247

9.12.1. Полное название издательства
ФИАН

9.12.2. Город, где расположено издательство
Москва

9.13. Краткий реферат публикации

В Nd:YLF-лазере при неоднородной продольной диодной накачке реализован режим непрерывной генерации на двух длинах волн 1,047 мкм и 1,053 мкм. Режим двухчастотной генерации осуществлен в лазерах с линзоподобным и плоскопараллельными активными элементами для каждого из которых экспериментально определены условия существования режима двухчастотной генерации. Представляется перспективным использование двухчастотного лазера на Nd:YLF в качестве источника бигармонической накачки компактных генераторов излучения 1.64 ТГц.

9.14. Общее число ссылок в списке использованной литературы
0

Форма 509. ПУБЛИКАЦИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПРОЕКТА (ДЛЯ ИТОГОВЫХ ОТЧЕТОВ)

9.1. Номер проекта
11-02-12102

9.2.1. Первый автор
В.В. Корниенко; 1; Россия; Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова

9.2.2. Первый автор (для издания библиографических сборников)
Корниенко В.В.

9.3.1. Другие авторы
Г.Х. Китаева; 1; Россия; Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова
А.Н. Тучак; 1; Россия; МЛЦ МГУ им. М.В. Ломоносова
П.В. Якунин; 1; Россия; Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова

9.3.2. Другие авторы (для издания библиографических сборников)
Китаева Г.Х.,
Тучак А.Н.,
Якунин П.В.

9.4. Название публикации
Характеризация периодически поляризованных кристаллов, предназначенных для измерения абсолютной яркости терагерцового излучения

9.5. Язык публикации
русский

9.6.1. Полное название издания
Сборник трудов VII Международной конференции молодых ученых и специалистов «Оптика – 2011», т.2
«Терагерцовая оптика и спектроскопия», «Оптические метаматериалы, фотонные кристаллы и наноструктуры»,
Санкт-Петербург, 17-21 октября 2011

9.6.2. ISSN издания

9.7. Вид публикации
тезисы доклада

9.8. Завершенность публикации
опубликовано

9.9. Год публикации
2011

9.10.1 Том издания
2

9.10.2 Номер издания

9.11. Страницы
595-596

9.12.1. Полное название издательства
Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики

9.12.2. Город, где расположено издательство
Санкт-Петербург

9.13. Краткий реферат публикации
Периодически поляризованные кристаллы ниобата лития могут быть использованы в составе нелинейно-оптических детекторов спектральной яркости терагерцового излучения. На основе анализа спектров спонтанного параметрического рассеяния света в данных кристаллах в работе были определены перестроочные характеристики детекторов.

9.14. Общее число ссылок в списке использованной литературы
4

Форма 509. ПУБЛИКАЦИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПРОЕКТА (ДЛЯ ИТОГОВЫХ ОТЧЕТОВ)

9.1. Номер проекта
11-02-12102

9.2.1. Первый автор
Тучак А.Н.; 1; Россия; МЛЦ МГУ им. М.В. Ломоносова

9.2.2. Первый автор (для издания библиографических сборников)
Тучак А.Н.

9.3.1. Другие авторы
Г.Н. Гольцман; 2; Россия; МПГУ Физический университет
Г.Х. Китаева; 1; Россия; Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова
А.Н. Пенин; 2; Россия; Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова
С.В. Селиверстов; 2; Россия; МПГУ
М.И. Финкель; 2; Россия; МПГУ
А.В. Шепелев; 2; Россия; РГУНГ им. Губкина
П.В. Якунин; 1; Россия; Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова

9.3.2. Другие авторы (для издания библиографических сборников)
Г.Н. Гольцман,
Г.Х. Китаева,
А.Н. Пенин,
С.В. Селиверстов,
М.И. Финкель,
А.В. Шепелев,
П.В. Якунин

9.4. Название публикации
Генерация терагерцовых импульсов наносекундной длительности методом оптического выпрямления

9.5. Язык публикации
русский

- 9.6.1. *Полное название издания*
Письма в журнал экспериментальной и теоретической физики
- 9.6.2. *ISSN издания*
0021-3640
- 9.7. *Вид публикации*
статья в журнале
- 9.8. *Завершенность публикации*
опубликовано
- 9.9. *Год публикации*
2012
- 9.10.1 *Том издания*
97
- 9.10.2 *Номер издания*
2
- 9.11. *Страницы*
97-101
- 9.12.1. *Полное название издательства*
Международная академическая издательская компания (МАИК) "Наука/Интерпериодика"
- 9.12.2. *Город, где расположено издательство*
Москва
- 9.13. *Краткий реферат публикации*
Экспериментально продемонстрирована возможность генерации квазинепрерывного терагерцового излучения методом оптического выпрямления широкополосных Фурье-неограниченных лазерных импульсов наносекундной длительности. В качестве источника накачки нелинейно-оптического генератора использовалось широкополосное излучение лазера на кристалле LiF с центрами окраски. Энергетическая эффективность оптико-терагерцового преобразования частоты составила $4 \cdot 10^{-9}$ при плотности мощности накачки 7 МВт/см² в периодически поляризованном кристалле ниобата лития.
- 9.14. *Общее число ссылок в списке использованной литературы*
19

Форма 509. ПУБЛИКАЦИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПРОЕКТА (ДЛЯ ИТОГОВЫХ ОТЧЕТОВ)

- 9.1. *Номер проекта*
11-02-12102
- 9.2.1. *Первый автор*
V.V. Kornienko; 2; Россия; Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова
- 9.2.2. *Первый автор (для издания библиографических сборников)*
V.V. Kornienko
- 9.3.1. *Другие авторы*
I.I. Naumova; 2; Россия; Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова
A.N. Tuchak; 1; Россия; Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова
P.V. Yakunin; 1; Россия; Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова
G.Kh. Kitaeva; 1; Россия; Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова
- 9.3.2. *Другие авторы (для издания библиографических сборников)*
A.N. Tuchak,
P.V. Yakunin,

I.I. Naumova,
G.Kh. Kitaeva

- 9.4. *Название публикации*
PPLN Crystals for Nonlinear-optical Detection of Terahertz Wave Radiation
- 9.5. *Язык публикации*
английский
- 9.6.1. *Полное название издания*
Proceedings of the 20th International Conference on Advanced Laser Technologies ALT'12, Thun, Switzerland, 2-6 September 2012
- 9.6.2. *ISSN издания*
- 9.7. *Вид публикации*
статья в сборнике
- 9.8. *Завершенность публикации*
принято в печать
- 9.9. *Год публикации*
2013
- 9.10.1 *Том издания*
- 9.10.2 *Номер издания*
- 9.11. *Страницы*
- 9.12.1. *Полное название издательства*
Bern University of Applied Sciences
- 9.12.2. *Город, где расположено издательство*
Берн (Швейцария)
- 9.13. *Краткий реферат публикации*
Periodically poled lithium niobate crystals can be utilized in nonlinear-optical spectral brightness detectors of terahertz range. In this paper characteristics of detectors were determined by analyzing spectra of spontaneous parametric down- and up-conversion in these crystals.
- 9.14. *Общее число ссылок в списке использованной литературы*
4

Форма 509. ПУБЛИКАЦИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПРОЕКТА (для ИТОГОВЫХ ОТЧЕТОВ)

- 9.1. *Номер проекта*
11-02-12102
- 9.2.1. *Первый автор*
G. Kh. Kitaeva; 1; Россия; МГУ Физический ф-т
- 9.2.2. *Первый автор (для издания библиографических сборников)*
G. Kh. Kitaeva
- 9.3.1. *Другие авторы*
S. P. Kovalev; 1; Россия; МГУ Физический ф-т
P. V. Yakunin; 1; Россия; МГУ Физический ф-т
I. I. Naumova; 2; Россия; МГУ Физический ф-т
A. N. Tuchak; 2; Россия; МГУ МЛЦ
Huang Y.-C.; 2; Тайвань; NTHU
E. D. Mishina; 2; Россия; МГТУ МИРЭА

9.3.2. *Другие авторы (для издания библиографических сборников)*

S. P. Kovalev,
P. V. Yakunin,
I. I. Naumova,
A. N. Tuchak,
Y.-C. Huang,
E. D. Mishina,
A.S.Sigov

9.4. *Название публикации*

Terahertz wave generation in PPLN crystals fabricated using two alternative techniques

9.5. *Язык публикации*

английский

9.6.1. *Полное название издания*

Laser Physics Letters

9.6.2. *ISSN издания*

1612-2011

9.7. *Вид публикации*

статья в журнале

9.8. *Завершенность публикации*

принято в печать

9.9. *Год публикации*

2013

9.10.1 *Том издания*

9.10.2 *Номер издания*

9.11. *Страницы*

9.12.1. *Полное название издательства*

IOP Publishing

9.12.2. *Город, где расположено издательство*

Бристоль

9.13. *Краткий реферат публикации*

The temporal and spectral characteristics are compared for the THz wave radiation generated under optical rectification of the femtosecond laser pulses in PPLN crystal samples of two different types. The narrow-area post-growth PPLN samples were fabricated by applying the standard electrical poling technique. The large-area in-growth samples were cut from periodically poled Mg:Y:LiNbO₃ crystals obtained directly within the off-center Czochralski growth procedure. It is shown that the generation efficiencies of the post-growth samples and the most regular parts of the in-growth crystals are of the same order. Stochastic character of the in-growth samples does not affect appreciably the width of the generated spectrum, but decreases the peak power. Importance of transverse sizes of the PPLN samples in both generation and detection tasks is analyzed.

9.14. *Общее число ссылок в списке использованной литературы*

23

Форма 509. ПУБЛИКАЦИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПРОЕКТА (ДЛЯ ИТОГОВЫХ ОТЧЕТОВ)

9.1. *Номер проекта*

11-02-12102

- 9.2.1. *Первый автор*
А.А. Angeluts; 2; Россия; Физический факультет МГУ
- 9.2.2. *Первый автор (для издания библиографических сборников)*
А.А. Angeluts
- 9.3.1. *Другие авторы*
V.V. Besootsnii; 1; Россия; Физический институт РАН
E.A. Cheshev; 1; Россия; Физический институт РАН
G.N. Goltsman; 2; Россия; МПГУ
S.V. Seliverstov; 2; Россия; МПГУ
M.I. Finkel; 2; Россия; МПГУ
M.G. Evdokimov; 2; Россия; Физический факультет МГУ
M.V. Gorbunkov; 1; Россия; Физический институт РАН
G.Kh. Kitaeva; 1; Россия; Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова
A.L. Koromyslov; 2; Россия; Физический институт РАН
P.V. Kostryukov; 2; Россия; "Авеста-проект"
M.S. Krivonos; 1; Россия; Физический институт РАН
A.P. Shkurinov; 2; Россия; Физический факультет МГУ
S.Yu. Sarkisov; 2; Россия; Физический факультет МГУ
V.G. Tunkin; 1; Россия; Физический факультет МГУ
- 9.3.2. *Другие авторы (для издания библиографических сборников)*
V.V. Besootsnii,
E.A. Cheshev,
G.N. Goltsman,
M.I. Finkel,
S.V. Seliverstov,
M.G. Evdokimov,
M.V. Gorbunkov,
G.Kh. Kitaeva,
A.L. Koromyslov,
P.V. Kostryukov,
M.S. Krivonos,
A.P. Shkurinov,
S.Yu. Sarkisov,
V.G. Tunkin
- 9.4. *Название публикации*
Compact 1.64 THz source based on dual-wavelength diode end-pumped Nd:YLF laser with nearly semiconfocal resonator
- 9.5. *Язык публикации*
английский
- 9.6.1. *Полное название издания*
Optics Letters
- 9.6.2. *ISSN издания*
0146-9592
- 9.7. *Вид публикации*
статья в журнале
- 9.8. *Завершенность публикации*
сдано в печать
- 9.9. *Год публикации*
2013
- 9.10.1 *Том издания*
- 9.10.2 *Номер издания*
- 9.11. *Страницы*

9.12.1. Полное название издательства
Optical Society of America

9.12.2. Город, где расположено издательство
Вашингтон

9.13. Краткий реферат публикации
Nd:YLF laser operation at 1.047 and 1.053 μm with orthogonal polarizations was obtained by adjusting resonator length near to its semiconfocal configuration. Dual-wavelength operation arises due to essentially non monotonous dependence of threshold pump powers at 1.047 and 1.053 μm on resonator length in the region of semiconfocal configuration when the radius of the pump beam is smaller than the radius of the zero Gaussian mode. Using this dual-wavelength diode end - pumped Q-switched Nd:YLF laser, 1.64 THz radiation was generated in a GaSe crystal.

9.14. Общее число ссылок в списке использованной литературы
15

Форма 509. ПУБЛИКАЦИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПРОЕКТА (ДЛЯ ИТОГОВЫХ ОТЧЕТОВ)

9.1. Номер проекта
11-02-12102

9.2.1. Первый автор
Ковалев С.П.; 1; Россия; Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова

9.2.2. Первый автор (для издания библиографических сборников)
Ковалев С.П.

9.3.1. Другие авторы
Кузнецов К.А.; 2; Россия; Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова
Китаева Г.Х.; 1; Россия; Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова
Пенин А.Н.; 2; Россия; Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова

9.3.2. Другие авторы (для издания библиографических сборников)
Кузнецов К.А.,
Китаева Г.Х.,
Пенин А.Н.

9.4. Название публикации
Дисперсия диэлектрической проницаемости монокристаллов ниобата лития в терагерцовой области спектра

9.5. Язык публикации
русский

9.6.1. Полное название издания
Тезисы конференции Фундаментальные проблемы оптики «ФПО – 2012», Санкт-Петербург, ноябрь 2012г.

9.6.2. ISSN издания

9.7. Вид публикации
тезисы доклада

9.8. Завершенность публикации
опубликовано

9.9. Год публикации
2012

9.10.1 Том издания

9.10.2 Номер издания

9.11. Страницы

9.12.1. Полное название издательства

Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики

9.12.2. Город, где расположено издательство

Санкт-Петербург

9.13. Краткий реферат публикации

Легированные "анти-фоторефрактивными" примесями кристаллы ниобата лития очень перспективны для генерации излучения в терагерцовом диапазоне спектра. Разработка устройств, генерирующих в этом диапазоне, очень важна для различных приложений спектроскопии, техники связи, томографии и биомедицины. В этой работе мы исследовали оптические свойства легированных магнием кристаллов $\text{LiNbO}_3:\text{Mg}$ в терагерцовом диапазоне [1]. Кристаллы были выращены методом Чохральского из начального состава, близкого к конгруэнтному с соотношением $[\text{Li}]/[\text{Nb}]=0.942$. Дисперсионные характеристики монокристаллов $\text{LiNbO}_3:\text{Mg}$ в диапазоне 0.5-6 THz (20-220 см-1) были получены из спектров рассеяния на нижней поляритонной ветви вблизи А-фонона с частотой 253 см-1. Дисперсия мнимой части диэлектрической проницаемости была измерена из видности интерференционной картины при трехчастотной интерференции с участием поляритонов в схеме Юнга [2]. Обнаружено существенное изменение диэлектрической проницаемости, объясняемое исчезновением дефектов NbLi вследствие легирования примесью магния.

9.14. Общее число ссылок в списке использованной литературы

2

Форма 509. ПУБЛИКАЦИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПРОЕКТА (ДЛЯ ИТОГОВЫХ ОТЧЕТОВ)

9.1. Номер проекта

11-02-12102

9.2.1. Первый автор

G.Kh. Kitaeva; 1; Россия; Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова

9.2.2. Первый автор (для издания библиографических сборников)

G.Kh. Kitaeva

9.3.1. Другие авторы

A.N. Tuchak; 1; Россия; МЛЦ МГУ им. М.В. Ломоносова
P.V. Yakunin; 1; Россия; Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова
A.N. Penin; 2; Россия; Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова

9.3.2. Другие авторы (для издания библиографических сборников)

A.N. Penin,
A.N. Tuchak,
P.V. Yakunin

9.4. Название публикации

The use of spontaneous parametric downconversion for calibration of terahertz sources

9.5. Язык публикации

английский

9.6.1. Полное название издания

Abstract booklet of the conference "Quantum 2012 - Advances in Foundations of Quantum Mechanics and Quantum Information with Atoms and Photons", Turin, Italy, 21-25 May 2012

9.6.2. ISSN издания

9.7. Вид публикации

тезисы доклада

9.8. *Завершенность публикации*
принято в печать

9.9. *Год публикации*
2012

9.10.1 *Том издания*

9.10.2 *Номер издания*

9.11. *Страницы*
54

9.12.1. *Полное название издательства*
Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (INRIM)

9.12.2. *Город, где расположено издательство*
Турин (Италия)

9.13. *Краткий реферат публикации*
Generation and detection of terahertz (THz) waves has attracted considerable interest due to promising applications of the THz waves in various areas including spectroscopy, imaging, non-destructive evaluation and others. Among different approaches for compact table-top THz sources and detectors, nonlinear-optical frequency-conversion schemes are in the forefront. They produce conversion of optical energy of visible and NIR lasers into the THz gap under THz generation, and also can be applied for THz detection using advanced optical technologies via up-conversion of the THz radiation into the optical range. Nevertheless, the problem of absolute measurement of terahertz fields is very important for such devices, as well as for other THz schemes, but still remains as not properly solved. We propose to use the quantum-optical effect of spontaneous parametric down-conversion (SPDC) for calibration of the spectral brightness of THz radiation in the course of its non-linear-optical detection. Idea of the calibration is close to the Klyshko method for absolute measurement of the spectral brightness of optical radiation. As it was shown by D.N. Klyshko, generation of signal photons of frequency under SPDC in an optically transparent crystal can be formally treated as parametric conversion of the zero-vacuum electromagnetic field fluctuations at the idler frequency (being a pump frequency). For self-consistency of this analogy, the effective spectral brightness of idler-field quantum fluctuations should be taken as exactly photon per mode (in quantum units), that is in radiometric units. Radiation of the optical source is involved into the frequency conversion process together with the quantum fluctuations; its brightness is calibrated in terms of N_{vac} by measuring the total output signal intensity and intensity of the pure SPDC signal. The SPDC signal radiation at THz-shifted optical frequencies always persists under non-linear-optical THz detection as well, and can be used as a reference-type background. However, the thermal fluctuations are also considerable in the terahertz range. We have studied experimentally relative contributions of thermal fluctuations into the SPDC signals, at Stokes frequencies, and into the sum-frequency signals, at anti-Stokes frequencies. Results of this study, the way to separate contributions of thermal and quantum fluctuations, and the whole procedure of the SPDC-based calibration of THz radiation brightness will be reported.

9.14. *Общее число ссылок в списке использованной литературы*
3

Форма 511офи. ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ЗАВЕРШЕННОГО ПРОЕКТА РФФИ В ПРИКЛАДНОЙ ОБЛАСТИ

11.1.1. В какой форме результаты проекта могут быть доведены до практического использования?
1 – научно-техническая продукция

11.1.2. *Краткое назначение конечной продукции, технологии или услуг, которые будут производиться с применением полученных результатов.*

Генератор импульсно-периодического терагерцового излучения на частоте 1.64 ТГц. Может быть использован, например, в системах наземной ("последние 15 м") или космической связи, устройствах для выявления дефектов композитных материалов, визуализации пространственного распределения взрывчатых веществ на основе аммиачной селитры и ряда других опасных веществ, поглощающих излучение на частоте 1.64 ТГц.

11.2. *Планируемый период проведения дополнительных НИОКР с целью разработки прототипов продукции (технологии) для демонстрации потенциальным инвесторам*
до 3 лет

11.3. *Предполагаемые авторами пути дальнейшего продвижения проекта*

1 - подача заявки в другие фонды

- 11.4. *Информация, связанная с интеллектуальной собственностью*
патентование потребуется в ходе дальнейшей работы

Форма 511офи. ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ЗАВЕРШЕННОГО ПРОЕКТА РФФИ В ПРИКЛАДНОЙ ОБЛАСТИ

- 11.1.1. В какой форме результаты проекта могут быть доведены до практического использования?

3 - технология

- 11.1.2. *Краткое назначение конечной продукции, технологии или услуг, которые будут производиться с применением полученных результатов.*

Диагностика наличия опасных и взрывчатых веществ с частотами резонансного поглощения в диапазоне 1-2 ТГц. В отличие от терагерцовой time-domain спектроскопии может быть собрана в более компактном и переносном исполнении, не требует фемтосекундных лазеров, высокоточных сканируемых линий оптической задержки и т.д. В основе технологии - использование генераторов квазинепрерывного терагерцового излучения и спектральный анализ прошедших (или отраженных) терагерцовых волн без применения спектрально-селективных приборов терагерцового диапазона.

- 11.2. *Планируемый период проведения дополнительных НИОКР с целью разработки прототипов продукции (технологии) для демонстрации потенциальным инвесторам*

до 3 лет

- 11.3. *Предполагаемые авторами пути дальнейшего продвижения проекта*

1 - подача заявки в другие фонды

- 11.4. *Информация, связанная с интеллектуальной собственностью*

2 - имеется ноу-хау

Форма 511офи. ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ЗАВЕРШЕННОГО ПРОЕКТА РФФИ В ПРИКЛАДНОЙ ОБЛАСТИ

- 11.1.1. В какой форме результаты проекта могут быть доведены до практического использования?

3 - технология

- 11.1.2. *Краткое назначение конечной продукции, технологии или услуг, которые будут производиться с применением полученных результатов.*

Визуализация пространственного 2D распределения материалов и веществ с высоким коэффициентом отражения на частотах 1-2 ТГц, скрытых под оптически непрозрачным диэлектрическим покрытием.

- 11.2. *Планируемый период проведения дополнительных НИОКР с целью разработки прототипов продукции (технологии) для демонстрации потенциальным инвесторам*

до 3 лет

- 11.3. *Предполагаемые авторами пути дальнейшего продвижения проекта*

1 - подача заявки в другие фонды

- 11.4. *Информация, связанная с интеллектуальной собственностью*

патентование потребуется в ходе дальнейшей работы