

Отзыв

официального оппонента, доктора физико-математических наук Константина Владимировича Смирнова на диссертацию Коромыслова Алексея Леонидовича «Двухволновая генерация при синхронизации поперечных мод в твердотельных лазерах с продольной диодной накачкой и получение когерентного терагерцового излучения», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 - Лазерная физика.

Диссертационная работа Коромыслова Алексея Леонидовича посвящена исследованию механизма двухволновой генерации, наблюдающейся в областях синхронизации поперечных мод, экспериментальному изучению вынужденного комбинационного рассеяния и его использованию для получения двухволнового излучения, в условиях синхронизации поперечных мод и исследованию возможности создания компактного источника когерентного излучения терагерцового диапазона при использовании метода генерации разностной частоты двухволнового лазера в нелинейном кристалле.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав основного текста и заключения. Объем диссертации составляет 106 страниц, в том числе 4 таблицы, 44 рисунка, 118 наименований списка использованной литературы.

Во Введении сформулирована актуальность выбранной темы диссертации, её научная новизна и практическая направленность, также приведены обоснования достоверности полученных результатов. Цели работы и защищаемые положения диссертации сформулированы кратко и ясно. Перечислены публикации автора, описана структура и краткое содержание работы, указан личный вклад автора в представленных исследованиях.

В первой главе «Состояние исследований синхронизации поперечных мод, двухволновой генерации и генерации терагерцового излучения» представлен краткий обзор состояния исследования синхронизации поперечных мод в условии частотного вырождения мод при продольной диодной накачке. Рассмотрены экспериментальные исследования эффектов синхронизации поперечных мод и теоретические модели, объясняющие механизмы синхронизации поперечных мод. Рассмотрены схемы двухволновой генерации в твердотельных лазерах при продольной лазерной диодной накачке и механизмы, приводящие к двухволновой генерации. Рассмотрены особенности использования вынужденного комбинационного рассеяния для получения двухволнового лазерного излучения. Рассмотрены перспективы создания компактных генераторов терагерцового излучения при использовании метода генерации разностной частоты двухволнового лазера в нелинейном кристалле.

Вторая глава посвящена исследованию генерационных характеристик Nd:YLF лазера с пассивным затвором Cr⁴⁺:YAG в условиях синхронизации поперечных мод. Представлена схема проведенного эксперимента. Полученные экспериментальные данные, свидетельствуют, что в лазерах с модуляцией добротности пассивным Cr⁴⁺:YAG затвором в областях синхронизации поперечных мод наблюдаются падение порога генерации и одновременно резкое увеличение длительности импульса излучения, а также уменьшение импульсной мощности и периода следования импульсов генерации, что связано с ростом усиления за проход при синхронизации поперечных мод.

Третья глава посвящена исследованию механизма двухволновой генерации в областях частотного вырождения поперечных мод. Механизм двухволновой генерации исследован на примере лазера на кристалле Nd:YLF с модуляцией добротности резонатора

как акустооптическим, так и пассивным затворами. По результатам работ создан экспериментальный образец двухволнового лазера на кристалле Nd:YLF с диодной накачкой с модуляцией добротности резонатора акустооптическим затвором. Лазер работал на длинах волн 1047 нм и 1053 нм с взаимно ортогональными поляризациями в импульсно-периодическом режиме. Длительность импульсов составила 12 нс, импульсная мощность - 8 кВт на каждой из длин волн, частота повторений - 7 кГц.

В четвёртой главе приведены результаты исследования вынужденного комбинационного рассеяния в лазере с продольной диодной накачкой в условиях синхронизации поперечных мод. Исследованы генерационные характеристики лазера. Было показано, что в лазере на кристалле Nd:YVO₄ с продольной диодной накачкой и модуляцией добротности резонатора пассивным Cr⁴⁺:YAG затвором в областях синхронизации поперечных мод наблюдается синхронизация одновременно продольных и поперечных мод основной и стоксовой компонент излучения.

В пятой главе: «Генерация разностной частоты двухволнового лазера в нелинейном кристалле», экспериментально реализован и изучен метод генерации терагерцового излучения путем генерации разностной частоты двухволнового лазера на Nd:YLF в нелинейном кристалле GaSe. Представлены основные характеристики источника когерентного терагерцового излучения: частота 1,64 ТГц, импульсная мощность 0.8 мВт, длительность импульсов 10 нс, частота повторения 7 кГц, ширина спектра излучения 0.6 см⁻¹.

В заключении автором сформулированы основные результаты работы и возможные дальнейшие направления исследований в рамках представленной темы.

Таким образом, в представленном диссертационном исследовании А.Л. Коромысловым решен целый ряд актуальных задач современной физики лазеров, объединенных общей темой. Несомненно, что полученные результаты по исследованию твердотельных лазеров с диодной накачкой имеют как фундаментальное значение, так и могут быть использованы во множестве практических приложений, таких как лидарная техника, спектроскопия, техника терагерцового диапазона. Удачное объединение фундаментальной и практической компонент представленного исследования, на мой взгляд, является одной из наиболее значимых особенностей диссертации А.Л. Коромылова.

Другой положительной особенностью представленного исследования является взаимное дополнение и не противоречивость результатов, полученных при решении целого комплекса расчётных задач и данных, полученных в ходе проведения экспериментов. Отмечу, что работа выполнена на высоком научном уровне и при ее проведении диссертант продемонстрировал отличное владение как современными экспериментальными методами в области инфракрасной лазерной техники, так и методами численного расчета.

Диссертационное исследование, несомненно, содержит принципиально новые результаты, полученные и представленные впервые. Выводы, представленные после каждой главы диссертации и в ее заключении, в полной мере отражают результаты проведенных исследований, хорошо сформулированы, полно и ясно выявляют суть работы. Положения, выносимые на защиту, обоснованы, новы и достоверны.

Отмечу, что достоверность полученных результатов не вызывает сомнений и подтверждается публикациями автора в ведущих рецензируемых научных журналах, использованием самого современного экспериментального оборудования, созданием экспериментального образца источника когерентного терагерцового излучения и его успешным применением.

К сожалению, по диссертации следует сделать ряд замечаний:

1. Как показано в третьей главе путем изменения длины резонатора возможно достижение равенства уровней генерации двух волн, дальнейшее смещение полученных излучений и получение излучения на суммарной частоте складываемых волн. Поскольку зависимость уровня генерации для каждой длины волны от длины резонатора достаточно резкая (рис.23), а равенство мощностей излучения достигается только в одной точке по длине резонатора, возникает вопрос о временной стабильности мощности излучения на суммарной частоте. В таблице №2 на стр.60 указана «стабильность энергии в импульсе излучения», но не совсем понятно, в каких условиях она была измерена или как определена и какова стабильность мощности излучения на суммарной частоте?

2. В главе I выводы (п.1.4.) содержат тезис о том, что терагерцовые источники излучения, исследуемые в работе, перспективны для множества практических применений. Однако в диссертации отсутствует какой-либо сравнительный анализ разработанного источника ТГц излучения с другими типами источников этого диапазона, существующих в настоящее время. В п.1.3. «Генерация терагерцового излучения» указаны только «Оптические методы генерации терагерцового излучения», но не указана ни одна из характеристик современных ТГц источников, как не указаны и наиболее популярные в настоящее время источники, например, квантово-каскадные лазеры, диоды Ганна с умножителями частоты и пр.

3. Поскольку при полученной двухволновой генерации поляризация выходного излучения линейна и ортогональна на длинах волн 1047 нм и 1053 нм, не совсем понятна схема реализации для наблюдения излучения на суммарной частоте для двух указанных длин волн и полученные результаты (рис.25) с точки зрения поляризации выходного излучения и равенства амплитуд сигналов на вторых гармониках для каждого из излучений (1047 нм и 1053 нм) и излучения на суммарной частоте.

4. Список литературы диссертации содержит 118 наименований. 15 работ из этого списка работы, вышедшие в 2012 году и позднее. Из этих 15 работ 6 являются работами с участием автора диссертации (работами, в которых отражены результаты исследования), 3 - работами с участием руководителя автора диссертации, 1 – ссылка на использованное оборудование, 1 – диссертационное исследование Кривонос М.С. (Кривонос М.С. Генерационные характеристики и двухволновый режим при синхронизации поперечных мод в твердотельных лазерах с продольной лазерной диодной накачкой: дис. канд. физ.-мат. наук.: 01.04.21: защищена 2013 / Кривонос Михаил Сергеевич. – Москва, 2013. – 120 с.). Из оставшихся 4 работ три работы 2012 года и 1 – 2015 года. Таким образом, складывается, вероятно, ошибочное представление, что за последние годы в научной области настоящей диссертации не было опубликовано работ заслуживающих внимания автора диссертации или автором не был произведен обзор работ коллег за последние годы.

5. Диссертация содержит большое количество опечаток и неточностей, начинающихся уже в первом же абзаце «Введения». Некоторые сокращения не расшифрованы в тексте (например, ТГц или ТГц, АЭ, ПЗС, КТР), некоторые не указаны в «Списке сокращений и условных обозначений» (например, КПД, ПЗС, ЦЛ, КТР), который вынесен в конец диссертации, что также затрудняет восприятие сокращений. Представленные рисунки №№13, 31 не могут быть восприняты в связи с выбранным

Список основных работ Смирнова Константина Владимировича по теме защищаемой диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет.

1. V A Seleznev, A V Divochiy, Yu B Vakhtomin, P V Morozov, P I Zolotov, D D Vasil'ev, K M Moiseev, E I Malevannaya and K V Smirnov, Superconducting detector of IR single-photons based on thin WSi films // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2016. – V. 737. - P.012032. doi:10.1088/1742-6596/737/1/012032.
2. K.V. Smirnov, A.V. Divochiy, Yu. B. Vakhtomin, M.V. Sidorova, U.V. Karpova, P.V. Morozov, V.A. Seleznev, A.N. Zotova, D. Yu. Vodolazov, Rise time of voltage pulses in NbN superconducting single photon detectors // *Applied Physics Letters*. -2016, -V.109, -N5, -p. 052601. doi: 10.1063/1.4960533.
3. V. Shcheslavskiy, P. Morozov, A. Divochiy, Yu. Vakhtomin, K. Smirnov, W. Becker, Ultrafast time measurements by time-correlated single photon counting coupled with superconducting single photon detector // *Review of Scientific Instruments*. – 2016. – Т. 87. – №. 5. – С. 053117.
4. Edward Schroeder, Philip Mauskopf, Genady Pilyavsky, Adrian Sinclair, Nathan Smith, Sean Bryan, Hamdi Mani, Dmitry Morozov, Karl Berggren, Di Zhu, Konstantin Smirnov, Yuriy Vakhtomin On the measurement of intensity correlations from laboratory and astronomical sources with SPADs and SNSPDs // -2016, *Proc. SPIE 9907, Optical and Infrared Interferometry and Imaging V*, 99070P. doi:10.1117/12.2233536.
5. Maria V Sidorova, Alexander V Divochiy, Yury B Vakhtomin, Konstantin V Smirnov Ultrafast superconducting single-photon detector with a reduced active area coupled to a tapered lensed single-mode fiber // *J. Nanophoton.* -2015. -V. 9 (1). - p.093051. doi: 10.1117/1.JNP.9.093051
6. S Seliverstov, Sergey Maslennikov, S Ryabchun, Matvey Finkel, Teunis M Klapwijk, N Kaurova, Yu Vachtomin, K Smirnov, B Voronov, G Goltsman Fast and Sensitive Terahertz Direct Detector Based on Superconducting Antenna-Coupled Hot Electron Bolometer // *Applied Superconductivity, IEEE Transactions on*. – 2015. – Т. 25. – №. 3. – С. 1-4.
7. Alexander A Korneev, Yuliya P Korneeva, Mikhail Yu Mikhailov, Yuri P Pershin, Alexander V Semenov, D Yu Vodolazov, Alexander V Divochiy, Yuri B Vakhtomin, Konstantin V Smirnov, Alexander G Sivakov, Alexander Yu Devizenko, Gregory N Goltsman Characterization of MoSi Superconducting Single-Photon Detectors in the Magnetic Field // *Applied Superconductivity, IEEE Transactions on*. – 2015. – Т. 25. – №. 3. – С. 1-4.
8. Maria V Sidorova, Alexander Divochiy, Yury B Vakhtomin, Konstantin V Smirnov Ultrafast superconducting single-photon detector with reduced-size active area coupled to a tapered lensed single-mode fiber // *SPIE Optics+ Optoelectronics*. – International Society for Optics and Photonics, 2015. – С. 950408-950408-9.
9. Konstantin Smirnov, Yury Vachtomin, Alexander Divochiy, Andrey Antipov, Gregory Goltsman Dependence of dark count rates in superconducting single photon detectors on the filtering effect of standard single mode optical fibers // *Applied Physics Express*. – 2015. – Т. 8. – №. 2. – С. 022501.
10. К. В. Смирнов, Ю. Б. Вахтомин, А. В. Дивочий, А. В. Антипов, Г. Н. Гольцман Ограничение фоном мощности эквивалентной шуму для приемника одиночных ИК фотонов на основе сверхпроводниковых детекторов, сопряженных с одномодовым волокном // *Журнал радиоэлектроники*. – 2015. – N5.
11. R Ozhegov, M Elezov, Y Kurochkin, V Kurochkin, A Divochiy, V Kovalyuk, Y Vachtomin, K Smirnov, G Goltsman Quantum key distribution over 300 km // *The International Conference on Micro-and Nano-Electronics 2014*. – International Society for Optics and Photonics. – 2014. – С. 94401F-94401F-9.

12. Yu P Korneeva, M Yu Mikhailov, Yu P Pershin, NN Manova, AV Divochiy, Yu B Vakhtomin, AA Korneev, KV Smirnov, AG Sivakov, A Yu Devizenko, GN Goltsman Superconducting single-photon detector made of MoSi film // Superconductor Science and Technology. – 2014. – Т. 27. – №. 9. – С. 095012.

13. AV Glejm, AA Anisimov, LN Asnis, Yu B Vakhtomin, AV Divochiy, VI Egorov, VV Kovalyuk, AA Korneev, SM Kynev, Yu V Nazarov, RV Ozhegov, AV Rupasov, KV Smirnov, MA Smirnov, GN Goltsman, SA Kozlov Quantum key distribution in an optical fiber at distances of up to 200 km and a bit rate of 180 bit/s // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Physics. – 2014. – Т. 78. – №. 3.

14. RV Ozhegov, KN Gorshkov, Yu B Vachtomin, KV Smirnov, MI Finkel, GN Goltsman, OS Kiselev, NV Kinev, LV Filippenko, VP Koshelets Terahertz Imaging System Based on Superconducting Heterodyne Integrated Receiver // THz and Security Applications. – Springer Netherlands. – 2014. – С. 113-125.

15. Alexander Korneev, Yulia Korneeva, Nadezhda Manova, Pavel Larionov, Alexander Divochiy, Alexander Semenov, Galina Chulkova, Yury Vachtomin, Konstantin Smirnov, Gregory Goltsman Recent nanowire superconducting single-photon detector optimization for practical applications // IEEE transactions on applied superconductivity. – 2013. – Т. 23. – №. 3.

16. Korneev A.A., Divochiy A.V., Vakhtomin Yu.B., Korneeva Yu.P., Larionov P.A., Manova N.N., Florya I.N., Trifonov A.V., Voronov B.M., Smirnov K.V., Semenov A.V., Chulkova G.M., Goltsman G.N. IR SINGLE-PHOTON RECEIVER BASED ON ULTRATHIN NBN SUPERCONDUCTING FILM // Журнал радиоэлектроники. – 2013. – № 5. – С. 2.

17. AV Smirnov, MS Karmantsov, KV Smirnov, Yu B Vakhtomin, DV Masterov, MA Tarkhov, SA Pavlov, AE Parafin Terahertz response of thin-film YBCO bolometers // Technical Physics. – 2012. – Т. 57. – №. 12. – С. 1716-1719.

18. Семенов А.В., Девятков И.А., Корнеев А.А., Смирнов К.В., Гольцман Г.Н., Мельников А.П. Вывод выражения для термодинамического потенциала «грязного» сверхпроводника // Журнал радиоэлектроники. – 2012. – № 4. – С. 1.

19. Чулкова Г.М., Семёнов А.В., Тархов М.А., Гольцман Г.Н., Корнеев А.А., Смирнов К.В. О возможности использования PNR-SNPD в системах телекоммуникационной связи // Преподаватель XXI век. – 2012. – № 2-2. – С. 244-246.

20. Семенов А.В., Корнеев А.А., Смирнов А.В., Смирнов К.В., Ожегов Р.В., Окунев О.В., Гольцман Г.Н., Девятков И.А. Линейные по мощности поглощаемого излучения поправки к спектральным функциям «грязного» сверхпроводника и отклик сверхпроводниковых детекторов // Преподаватель XXI век. – 2012. – Т. 2. – № 3. – С. 216-220.

21. Казаков А.Ю., Селиверстов С.В., Дивочий А.В., Смирнов К.В., Финкель М.И., Вахтомин Ю.Б. Возможность применения сверхпроводниковых материалов в качестве отражающего покрытия зеркала телескопа, предназначенного для наблюдений анизотропии реликтового излучения // Преподаватель XXI век. – 2012. – Т. 2. – № 3. – С. 221-224.

22. Корнеева Ю.П., Трифонов А.В., Вахтомин Ю.Б., Смирнов К.В., Корнеев А.А., Рябчун С.А., Третьяков И.В., Гольцман Г.Н. Расчет согласующего оптического резонатора для сверхпроводникового нанополоскового детектора // Преподаватель XXI век. – 2012. – Т. 2. – № 3. – С. 225-227.

23. Семенов А.В., Корнеев А.А., Лобанов Ю.В., Корнеева Ю.П., Рябчун С.А., Третьяков И.В., Флоря И.Н., Смирнов А.В., Ковалюк В.В., Смирнов К.В., Гольцман Г.Н. Оценка поляризационных искажений, вносимых оптической системой радиотелескопа миллиметрового диапазона // Преподаватель XXI век. – 2012. – Т. 2. – № 4. – С. 230-236.

доктор физико-математических наук

Смирнов Константин Владимирович

«01» декабря 2016