

ОТЗЫВ

официального оппонента Бойко Андрея Александровича на диссертационную работу Сагитовой Адилы Маратовны «Генерация излучения в спектральном диапазоне 1.7–19.3 мкм при преобразовании частоты излучения СО- и СО₂-лазеров в нелинейных кристаллах», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 – лазерная физика.

Диссертационная работа Сагитовой Адилы Маратовны посвящена формированию многочастотного лазерного излучения в широком диапазоне длин волн за счёт преобразования излучения многочастотных лазеров среднего инфракрасного диапазона (СО- и СО₂-лазеров) в нелинейных кристаллах.

Источники когерентного излучения среднего ИК-диапазона (от 2 до 20 мкм) находят широкое применение в науке и технике. Ряд таких применений требует непрерывной перестройки длины волны излучения практически во всём среднем ИК-диапазоне. Для генерации в указанном диапазоне лазерного излучения могут быть использованы разные источники. Диодные лазеры обычно имеют небольшую мощность (порядка единиц милливатт в одночастотном режиме) и небольшой диапазон (~ 0.1 мкм) непрерывной перестройки их длины волны. Квантово-каскадные лазеры также обладают относительно небольшим диапазоном перестройки (менее 1 мкм) и имеют высокую стоимость. Газовые лазеры, например СО-лазеры ($\lambda = 2.5\text{--}4.2, 4.8\text{--}8.3$ мкм), распространены и доступны, они выделяются высокой мощностью и эффективностью и широким диапазоном перестройки частоты излучения, хотя перестройка и дискретна. Использование нелинейных кристаллов для конверсии излучения имеющихся лазерных устройств, в свою очередь, позволяет охватить больший диапазон длин волн в средней ИК-области спектра.

Диссертация состоит из введения, шести глав и заключения. Полный объем диссертации составляет 115 страниц, 56 рисунков и 1 таблицу. Список литературы содержит 98 источников.

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, формулируются цели и задачи исследований.

Первая глава носит обзорный характер. В ней описывается состояние исследований, связанных с преобразованием частоты излучения СО- и СО₂-лазеров в нелинейных кристаллах. Проводится обзор нелинейных кристаллов для преобразования частоты в среднем ИК-диапазоне, которые могут быть использованы для широкополосного преобразования излучения вышеуказанных лазеров.

Во второй главе представлены используемые в экспериментах установки: криогенный СО-лазер низкого давления и щелевые СО- и СО₂-лазеры с накачкой ВЧ-разрядом.

В третьей главе проводится комплексное исследование динамики генерации излучения на большом количестве (~100) колебательно-вращательных переходов СО-лазера с модуляцией добротности резонатора в диапазоне длин волн от 4.9 до 6.5 мкм. Теоретически показано, что основной вклад при преобразовании излучения такого лазера в нелинейном кристалле вносят импульсы линий генерации большей мощности, которые наиболее полно перекрываются во времени.

В четвертой главе впервые показана сложная структура спектра генерации суммарных частот излучения многочастотного СО-лазера в нелинейном кристалле ZnGeP₂: он состоит

из групп, каждая из которых состоит из десятка линий с расстоянием между линиями спектра от 10^{-3} до 10^{-1} см^{-1} . Показана возможность измерения профиля линии поглощения молекул CO_2 с помощью спектра суммарных частот, данные эксперимента сравнивались с расчётными, было получено хорошее согласие между ними.

В пятой главе последовательно исследуется внутри- и внерезонаторная генерация суммарных частот в двух образцах нового нелинейного кристалла $\text{BaGa}_2\text{GeSe}_6$. Для внутрирезонаторного преобразования рассматривались различные конфигурации выходных зеркал, получено излучение в спектральном диапазоне от 2.45 до 2.95 $\mu\text{м}$ со средней мощностью излучения ~ 6.0 мВт. Для внерезонаторной генерации суммарных частот подбирались условия работы лазера, обеспечивающие максимальную мощность генерации во втором каскаде. Было получено излучение суммарных частот в диапазоне длин волн от 1.7 до 1.9 $\mu\text{м}$ со средней мощностью 35 мкВт.

В шестой главе приводятся результаты генерации разностных частот излучения CO - и CO_2 -лазеров в нелинейных кристаллах AgGaSe_2 и более новых $\text{BaGa}_2\text{GeSe}_6$ и $\text{PbIn}_6\text{Te}_{10}$. С помощью генерации разностных частот в нелинейном кристалле $\text{PbIn}_6\text{Te}_{10}$ удалось получить излучение на длине волны до 19.3 $\mu\text{м}$ (удалось продвинуться ещё дальше по сравнению с существующими работами, в которых предельная длина волны была ~ 16 $\mu\text{м}$).

В заключении сформулированы основные выводы и результаты диссертации.

При изучении диссертационной работы возникли следующие замечания:

1. В четвёртой главе не хватает теоретических оценок расстояния между линиями второго каскада генерации суммарных частот.
2. В тексте работы встречается опечатки и неудачно сформулированные предложения, подписи на рисунках приведены на английском языке, встречаются мелкие подписи на рисунках.

Приведённые замечания не снижают научную значимость результатов, представленных в диссертации, и общей положительной оценки работы.

Тема диссертации является актуальной, а научные положения и выводы имеют надёжное научное обоснование. Результаты исследования обладают новизной и практической ценностью, прошли апробацию на всероссийских и международных конференциях и семинарах, а также представлены в опубликованных трудах автора (в 5 статьях, которые были опубликованы в рецензируемых научных журналах, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus, и 6 материалах конференций). Достоверность полученных результатов подтверждается их воспроизводимостью и согласованностью, в том числе с данными численного моделирования и работами других исследователей.

Диссертация Сагитовой Адили Маратовны «Генерация излучения в спектральном диапазоне 1.7–19.3 $\mu\text{м}$ при преобразовании частоты излучения CO - и CO_2 -лазеров в нелинейных кристаллах» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, удовлетворяющую всем требованиям к кандидатским диссертациям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, а ее автор, Сагитова Адила Маратовна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 – лазерная физика.

Официальный оппонент:

кандидат физ.-мат. наук, Бойко Андрей Александрович, старший научный сотрудник,
лаборатории квантовых оптических технологий — 2.4, ФГБУН Институт лазерной физики
Сибирского Отделения Российской Академии Наук «ИЛФ СО РАН»

Российская федерация, 630090, г. Новосибирск, пр-кт Академика Лаврентьева, 15Б

Телефон: +7 (383) 333-13-55

e-mail: baa.nsk@gmail.com

/Бойко Андрей Александрович/

«14» сентября 2024 г.

Подпись Бойко Андрея Александровича заверяю:

Покасов Павел Викторович

Ученый секретарь ФГБУН Институт лазерной физики Сибирского Отделения Российской
Академии Наук «ИЛФ СО РАН», к.ф.-м.н.,

Российская федерация, г. Новосибирск, пр-кт Академика Лаврентьева, 15Б

Телефон: +7 (383) 330-8999

e-mail: pokasov@laser.nsc.ru



/Покасов Павел Викторович/

Список основных работ официального оппонента Бойко Андрея Александровича по тематике диссертации Сагитовой Адилы Маратовны «Генерация излучения в спектральном диапазоне 1.7–19.3 мкм при преобразовании частоты излучения СО- и СО₂-лазеров в нелинейных кристаллах» в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. Ba₂Ga₈GeS₁₆: new nonlinear optical crystals with high laser-induced damage threshold for parametric down-conversion in mid-IR. Erushin E., Kostyukova N., Boyko A., Loginova A., Safaraliev G., Shevyrdyaeva G., Badikov D. *Applied Physics B: Lasers and Optics*. 2024. V. 130(1). P. 10.
2. Tunable Optical Parametric Oscillator Based on MgO:PPLN and HgGa₂S₄ Crystals Pumped by an Nd:YAG Laser with Increased Energy Characteristics. Erushin E.Yu., Yakovin M.D., Latkin N.I., Podzyvalov S.N., Kostyukova N. Yu., Boyko A.A. *Bulletin of the Lebedev Physics Institute*. 2024. V. 51 (Suppl 1). P. S39-S50.
3. Barium chalcogenide crystals: a review. Kostyukova N., Erushin E., Boyko A., Shevyrdyaeva G., Badikov D. *Photonics*. 2024. V. 11(3), P. 281
4. A Narrow-Band Optical Parametric Oscillator Based on a Periodically Polarized Structure of Lithium Niobate with Volume Bragg Grating. Kostyukova N.Yu., Erushin E.Yu., Boyko A.A., Kolker D.B. *Instruments and Experimental Techniques*. 2022. V. 65(6). P. 934-941.
5. Selection of Optimal Phase Matching Conditions for Semiconductor Nonlinear Crystals Under Cascade Pumping at 2 μm. Boyko A.A., Kostyukova N.Y., Erushin E.Y., Kolker D.B., Miroshnichenko I.B. *Russian Physics Journal*. 2022. V. 64. P. 1517–1521
6. Источник излучения на основе параметрического генератора света с кристаллом mgo:ppln и объемной брэгговской решеткой, перестраиваемый в диапазонах 2050-2117 и 2140-2208 нм. Костюкова Н.Ю., Ерушин Е.Ю., Бойко А.А., Колкер Д.Б. *Квантовая электроника*. 2022. Т. 52. № 2. С. 144-148.
7. Tunable injection-seeded fan-out-PPLN optical parametric oscillator for high-sensitivity gas detection. Erushin E., Nyushkov B., Ivanenko A., Boyko A., Kostyukova N., Kolker D., Akhmathanov A., Shur V. *Laser Physics Letters*. 2021. V. 18(11). P. 116201.
8. Nanosecond optical parametric oscillator with midinfrared intracavity difference-frequency mixing in orientation-patterned GaAs. Wang L., Chen W., Zhao Y., Petrov V., Ye N., Zhang G., Schunemann P., Schirrmacher A., Buttner E., Boyko A.A. *Optics Letters*. 2021. V. 46(2). P. 332-335.
9. Laser-induced damage threshold of the nonlinear crystals BaGa₄Se₇ and BaGa₂GeSe₆ at 2091 nm in the nanosecond regime. Kostyukova N.Y., Boyko A.A., Eranov I.D., Antipov O.L., Kolker D.B., Kostyukov A.I., Erushin E.Y., Miroshnichenko I.B., Badikov D.V., Badikov V.V. *Journal of the Optical Society of America B: Optical Physics*. 2020. V. 37(9). P. 2655-2659.
10. Перестраиваемый в широком спектральном интервале источник лазерного излучения среднего ИК диапазона для оптико-акустической спектроскопии. Колкер Д.Б., Шерстов И.В., Костюкова Н.Ю., Бойко А.А., Кистенев Ю.В., Нюшков Б.Н., Зенов К.Г., Шадринцева А.Г., Третьякова Н.Н. *Квантовая электроника*. 2019. Т. 49. № 1. С. 29-34.