

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

**«Национальный
исследовательский ядерный
университет «МИФИ»
(НИЯУ МИФИ)»**

Каширское шоссе, д.31, г. Москва, 115409
Тел. (499) 324-87-66, факс (499) 324-21-11
<http://www.mephi.ru>

«УТВЕРЖДАЮ»

Первый проректор НИЯУ МИФИ,

О.В. Нагорнов

О.В. Нагорнов

» октября 2015 г.



№ _____

На № _____

от _____

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Киняевского Игоря Олеговича

**«Генерация второй гармоники, суммарных и разностных частот излучения
лазера на окиси углерода в кристаллах $ZnGeP_2$ и $GaSe$ »,
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальности 01.04.21 – «Лазерная физика».**

Актуальность темы.

Молекулярные газовые лазеры среднего ИК-диапазон на окиси (СО лазер) и двуокиси (CO_2 лазер) углерода является уникальными инструментами для решения широкого круга задач, как в научных исследованиях, так и в промышленных технологиях, связанных с селективным взаимодействием излучения с веществом. Высокая мощность, стабильность и узкая спектральная ширина линии излучения молекулярных лазеров в широком частотном диапазоне перестройки позволяют использовать их в системах контроля природной среды при лазерном зондировании атмосферы, в медицине для коагуляции кровеносных сосудов и опухолей, в химической промышленности для управления химическими реакциями путем селективного фотовоздействия и многих других приложениях.

Преобразование частоты излучения в нелинейных кристаллах позволяет значительно расширить возможности лазерных систем на основе молекулярных газовых лазеров. Так, например, в настоящее время для дистанционного газоанализа атмосферы созданы и используются лидарные системы на основе CO_2 -лазера с удвоением частоты излучения в нелинейных кристаллах. Однако преобразование частоты излучения СО-лазера не получило своего широкого развития, вероятно, из-за невысокой эффективности преобразования, которая не превышала ~5%. Причиной невысокой эффективности преобразования было отсутствие СО-лазерных систем с высокой пиковой мощностью.

В лаборатории Газовых лазеров ФИАН был разработан СО-лазер излучающий цуг наносекундных импульсов с пиковой мощностью излучения до 120 кВт.

Появление подобной лазерной системы дает возможность получения высокой эффективности преобразования частоты излучения СО-лазерных систем. В связи с этим исследования генерации второй гармоники, суммарных и разностных частот излучения лазера на окиси углерода, которым посвящена диссертация И.О. Киняевского, актуальна и представляет несомненный практический интерес.

Структура и содержание диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, четыре главы, заключения и списка литературы.

Во введении обосновывается актуальность темы исследований, формулируются цели работы, излагаются положения, выносимые на защиту, обосновываются научная новизна и практическая ценность полученных результатов.

В первой главе проводится обзор научной литературы по различным СО-лазерным системам и их применениям в решении различных задачах, связанных с газовым анализом и лазерной химией, анализируются преимущества применения преобразованного в нелинейных кристаллах излучения СО-лазера. Проведен критический обзор нелинейных кристаллов среднего ИК-диапазона, на основе которого выбраны наиболее эффективные для преобразования частоты излучения СО-лазера.

Вторая глава посвящена расчёту углов, спектральной и угловой ширины фазового синхронизма для генерации второй гармоники, суммарных и разностных частот излучения СО-лазера в кристаллах $ZnGeP_2$ и $GaSe$. Продемонстрирована теоретическая возможность осуществления широкополосного двухкаскадного преобразования частоты излучения основной полосы СО-лазера в нелинейных кристаллах $ZnGeP_2$ и $GaSe$.

Третья глава посвящена изложению экспериментальных исследований генерации второй гармоники, суммарных и разностных частот с применением неселективного СО-лазера, излучающего микросекундные импульсы. Экспериментально получена широкополосная генерация второй гармоники и суммарных частот в нелинейных кристаллах $ZnGeP_2$ и $GaSe$. Продемонстрировано широкополосное двухкаскадное преобразование частоты, включающее в себя генерацию второй гармоники, суммарных и разностных частот в кристалле $ZnGeP_2$, которое позволило получить одновременную генерацию на ~670 спектральных линий в интервале длин волн от 2.5 мкм до 8.3 мкм.

В четвертой главе приводится описание разработанной СО-лазерной системы задающий генератор – лазерный усилитель, излучающей цуг мощных наносекундных импульсов излучения. Описаны экспериментальные исследования усиления наносекундных импульсов излучения в СО-лазерном усилителе. Применение мощных наносекундных импульсов излучения СО-лазерной системы позволило получить генерацию второй гармоники с эффективностью 37% в кристалле $ZnGeP_2$ и 5% в кристалле $GaSe$. Приводятся результаты экспериментов по селективному двухкаскадному преобразованию частоты (генерация второй гармоники и разностной частоты) излучения мощной наносекундной СО-лазерной системы, работающей в режиме синхронной генерации на двух заданных спектральных линиях.

В заключении диссертации сформулированы основные результаты работы.

Новизна исследований и практическая значимость полученных результатов определяется тем, что в диссертации:

- Впервые экспериментально продемонстрирована двухкаскадная генерация суммарных и разностных частот излучения СО лазера в одном образце нелинейного кристалла $ZnGeP_2$. Получена широкополосная двухкаскадная генерация суммарных и разностных частот в интервале длин волн 2,5-8,3 мкм при накачке кристалла излучением неселективного СО лазера низкого давления и селективная двухкаскадная генерация второй гармоники и разностной частоты при накачке кристалла излучением двух спектральных линий из различных колебательных полос.

- Впервые экспериментально исследовано усиление наносекундных импульсов излучения СО лазера в СО лазерном усилителе, определена интенсивность насыщения усиления наносекундных импульсов - 14 ± 4 кВт/см².

- Разработана СО лазерная система задающий генератор - лазерный усилитель, излучающая цуг наносекундных импульсов с пиковой мощностью излучения до 800 кВт в неселективном режиме, ~ 100 кВт в селективном режиме и ~ 70 кВт в режиме синхронной генерации на двух линиях из различных колебательных полос;

- Впервые исследовано преобразование частоты мощных наносекундных импульсов СО лазера, достигнута рекордная эффективность генерации второй гармоники в кристалле $ZnGeP_2$ - 37%.

Достоверность полученных результатов

Достоверность и обоснованность полученных экспериментальных и расчетных данных обеспечивается использованием современных средств и методик проведения исследований и подтверждается их хорошим согласием между собой, а также с результатами независимых исследований. Достоверность результатов также подтверждается их обсуждением на российских и международных конференциях и семинарах.

По представленной диссертационной работе следует сделать некоторые замечания:

В тексте диссертации не указана расходимость излучения наносекундной СО-лазерной системы задающий генератор - лазерный усилитель, из-за чего сложно оценить интенсивность излучения в месте расположения нелинейного кристалла.

Для мощных наносекундных импульсов излучения СО лазера интенсивность (или плотности энергии) разрушения кристалла не приведена, хотя эффективность генерации второй гармоники в этих условиях ограничивалась именно разрушением кристалла.

В тексте диссертации присутствует некоторое количество опечаток, стилистических и пунктуационных ошибок, на некоторых рисунках (в частности 4.33, 4.34, 4.43) не приведены ошибки измерения.

Указанные замечания не являются принципиальными возражениями по сути выполненной работы и не снижают ценности полученных результатов и достоинств

рецензируемой работы.

Оценка работы

В целом диссертация Киняевского И.О. является завершенной научно-квалификационной работой. Оформление рукописи соответствует принятым нормам.

В соответствии с вышеизложенным считаем, что диссертация «Генерация второй гармоники, суммарных и разностных частот излучения лазера на окиси углерода в кристаллах $ZnGeP_2$ и $GaSe$ » удовлетворяет критериям Положения о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор Киняевский Игорь Олегович за разработку и исследование методов получения лазерного излучения в широкой области длин среднего ИК-диапазона путем генерации второй гармоники, суммарных и разностных частот излучения СО лазера в нелинейных кристаллах заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – Лазерная физика.

Отзыв составлен доцентом кафедры «Лазерная физика» НИЯУ МИФИ, д.ф.-м.н. А.П. Кузнецовым после ознакомления с диссертацией и авторефератом, а также на основании доклада Киняевского И.О. на научном семинаре кафедры «Лазерная физика» НИЯУ МИФИ.

Отзыв обсужден и принят на заседании кафедры "Лазерная физика" НИЯУ МИФИ (протокол №12 от 29 сентября 2015 г.).

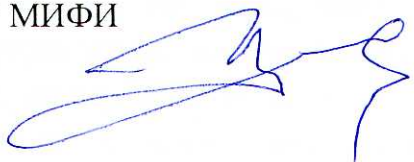
Отзыв составил
доцент кафедры "Лазерная физика"
д.ф.-м.н., доцент

 А.П. Кузнецов

Заведующий кафедрой "Лазерная физика"
д.ф.-м.н., профессор

 Н.Н. Евтихийев

Председатель Совета по аттестации и подготовке
научно-педагогических кадров НИЯУ МИФИ
д.ф.-м.н., профессор

 Н.А. Кудряшов

Список публикаций доцента, доктора физико-математических наук Андрея Петровича Кузнецова, опубликованных за последние пять лет по теме диссертации Киняевского Игоря Олеговича «Генерация второй гармоники, суммарных и разностных частот излучения лазера на окиси углерода в кристаллах $ZnGeP_2$ и $GaSe$ », представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – Лазерная физика.

1. A. Kuznetsov, A. Golubev, K. Gubskii, D. Koshkin Shadow optoacoustic method for measuring thermophysical characteristics of condensed materials under intense impulsive heating // *Physics Procedia* 71 (2015) 282 – 286
2. A. P. Kuznetsov, A. S. Alexandrova, O. I. Buzhinsky, K. L. Gubskiy, T. V. Kazieva, A. V. Savchenkov, and S. N. Tugarinov Fiber Laser Cleaning of Metal Mirror Surfaces for Optical Diagnostic Systems of the ITER // *Physics of Atomic Nuclei*, 2015, Vol. 78, No. 10, pp. 81–89.
3. K. Gubskii, A. Kuznetsov, A. Savchenkov, A. Andreev, S. Tugarinov, O. Buzhinskij Laser cleaning of mirror surface for optical diagnostic systems of the ITER // *Physics Procedia* 71 (2015) 217 – 221
4. K.L. Gubskii, D.S. Koshkin, A.V. Mikhaylyuk, A.M. Korolev, V.A. Pirog, A.P. Kuznetsov Multipoint vernier VISAR Interferometer system for measuring mass velocity in shock wave experiments // *Physics Procedia* 71 (2015) 212 – 216
5. А. П. Кузнецов, Е. А. Елистратов, Д. С. Кошкин, А. В. Михайлюк, А. А. Протасов Измерение параметров импульсных объемных разрядов в воздушной среде атмосферного давления методами эмиссионной спектроскопии и лазерной интерферометрии // *ПТЭ*, 2015, № 5, с. 80–90
6. Koshkin D.S., Gubskiy K.L., Mikhailuk A.V., Kuznetsov A.P. VISAR Interferometer for measuring mass velocity in shock wave experiments // *Optics and Measurement Conference 2014, Proc. of SPIE Vol. 9442, 94420M*, 2015.
7. Kazieva T.V., Kuznetsov A.P., Gubskiy K.L., Reshetov V.N. Three-coordinate laser heterodyne interferometer for metrological assurance of scanning probe microscopes // *Optics and Measurement Conference 2014, Proc. of SPIE Vol. 9442, 94420K* 2015
8. А. П. Кузнецов, О. А. Бялковский, К. Л. Губский, Г. И. Козин, Е. Д. Проценко, Э. И. Додулад, А. С. Савёлов Измерение газокинетического давления корпускулярных потоков плазмы из области микропинчевого разряда методами лазерной интерферометрии // *Физика плазмы*, 2014, том 40, № 4, с. 359–367.
9. А. В. Канцырев, А. А. Голубев, А. В. Богданов, В. С. Демидов, Е. В. Демидова, Е. М. Ладыгина, Н. В. Марков, В. С. Скачков, Г. Н. Смирнов, И. В. Рудской, А. П. Кузнецов, А. В. Худомясов, Б. Ю. Шарков Протонный микроскоп на ускорительном комплексе ТВН-ИТЭФ // *ПТЭ*, 2014, № 1, с. 5–14
10. Кузнецов А. П., Бялковский О. А., Гаврилин Р. О., Голубев А. А., К. Л. Губский, И. В. Рудской Измерение электронной плотности и степени ионизации плазмы в плазменной мишени на основе линейного электрического разряда в водороде // *Физика плазмы*, 2013, том 39, № 3, с. 281–288
11. Елистратов Е. А., Кузнецов А. П., Масленников С. П., Протасов А. А., Школьников Э.Я. Измерение параметров импульсного объемного разряда наносекундной длительности в воздухе атмосферного давления // *Письма в ЖТФ*. 2012. Т. 38. Вып. 17. С. 31–38.
12. Кузнецов А.П., Губский К.Л., Проценко Е.Д., Савелов А.С. Измерение давления потоков импульсной плазмы методами квадратурной интерферометрии // *Письма в ЖТФ*. 2012. Т. 38. В. 23. С. 46–54.

13. Кузнецов А.П., Колесников С.А., Голубев А.А. и др. Лазерный интерферометр для измерения массовой скорости конденсированных веществ в ударно-волновых экспериментах на протонно-радиографической установке ТВН-ИТЭФ // Приборы и техника эксперимента. 2011. № 3. С. 116-125.
14. Yermachenko V.M., Kuznetsov A.P., Petrovskiy V.N. et al. Specific Features of the Welding of Metals by Radiation of High-Power Fiber Laser// Laser Physics. 2011. V. 21. № 8. P. 1530-1537.
15. Кузнецов А.П., Голубев А.А., Губский К.Л. и др. Лазерный оптоакустический метод измерения теплофизических свойств конденсированных веществ при воздействии интенсивных пучков тяжелых ионов // Приборы и техника эксперимента. 2010. № 3. С. 97-103.
16. Кузнецов А.П., Бужинский Р.О., Губский К.Л., и др. Визуализация плазмоиндуцированных процессов проекционной системой с усилителем яркости на основе лазера на парах меди // Физика плазмы. 2010. Т. 36. № 5. С. 463-472.

Доцент кафедры «Лазерная физика»,
доктор физико-математических наук
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
Национальный исследовательский ядерный
университет «МИФИ» 115409,
г. Москва, Каширское шоссе д.31
т. +7 (499) 324-8400,
e-mail.: rector@mephi.ru

Кузнецов Андрей Петрович