



УТВЕРЖДАЮ

Директор ИСЭ СО РАН

д.ф.м.н.

 И.В. Романченко

« 29 » сентября 2022 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу **Юдина Николая Николаевича** “Оптический пробой монокристалла $ZnGeP_2$ и генерация ИК, ТГц излучения при воздействии импульсным лазерным излучением с длиной волны $\sim 2,1$ мкм”, представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19. — Лазерная физика

Актуальность темы диссертационной работы

Диссертационная работа Юдина Николая Николаевича посвящена визуализации процесса оптического пробоя монокристалла $ZnGeP_2$ методом цифровой голографии и исследованию его механизмов, а также повышению времени работы до отказа и эффективности кристаллов $ZnGeP_2$ в режиме параметрической генерации света (ПГС) и при генерации ТГц излучения на разностной частоте при накачке излучением в области длин волн 2,1 мкм.

Интерес к данному научному направлению вызван тем, что одним из наиболее эффективных кристаллов для нелинейного преобразования излучения в среднем ИК и ТГц диапазоне является $ZnGeP_2$. Тем не менее, известно, что увеличение общего КПД преобразования параметрических генераторов света в среднем ИК диапазоне и генераторов разностной частоты в ТГц диапазоне на базе кристаллов $ZnGeP_2$ ограничивается эффектами оптического пробоя данного монокристалла, механизмы которого до исследований, описанных в данной диссертации были не вполне ясны. Таким образом, получение когерентного перестраиваемого излучения за счет нелинейного преобразования частоты излучения накачки в нелинейных кристаллах с высоким КПД преобразования и широким диапазоном перестройки остается актуальной задачей нелинейной оптики и лазерной физики.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка цитируемой литературы и приложений. Объем диссертации составляет 125 страниц, включая 55 рисунков, 4 таблиц и 142 ссылки на литературные источники.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цели и задачи диссертационного исследования, представлена научная новизна и практическая значимость полученных результатов, сформулированы основные положения, выносимые на защиту, приведены сведения об апробации материалов диссертации, личном вкладе автора, описывается структура и объем работы.

Первая глава посвящена обзору литературы. Приведены сведения о физических, химических и оптических свойствах кристаллов $ZnGeP_2$, также представлены данные о типах дефектов кристаллической структуры $ZnGeP_2$ и о методах их характеристики. Помимо этого, приведены актуальные сведения о достижениях в области параметрической генерации излучения в кристалле $ZnGeP_2$ в средней ИК области и генерации ТГц излучения.

Вторая глава посвящена результатам экспериментов по визуализации объемных дефектов монокристалла $ZnGeP_2$ теньвым оптическим методом и методом цифровой голографии. Также в данной главе представлены результаты визуализации динамических процессов в объеме монокристалла $ZnGeP_2$ методом цифровой голографии. Показано, что оптический пробой монокристалла $ZnGeP_2$ при воздействии излучением в области длин волн 2,1 мкм происходит за счет тепловых процессов.

Третья глава посвящена исследованию энергетических характеристик излучения в области длин волн 3,5-5 мкм, генерируемого в ПГС на базе кристалла $ZnGeP_2$ при накачке Ho:YAG лазером с активной модуляцией добротности. Был получен общий КПД преобразования в 60% по поглощенной мощности. Проведена работа по оптимизации условий генерации в ходе которой получен режим генерации свободный от ограничений, связанных с эффектами накопления и оптическим пробоем кристаллов $ZnGeP_2$.

Четвертая глава посвящена исследованию ТГц генерации на разностной частоте в монокристалле $ZnGeP_2$ при накачке двухчастотным излучением в области максимальной прозрачности кристалла 2-5 мкм. Представлены результаты по генерации ТГц излучения e-o-o типа при накачке излучением ПГС на основе кристаллов КТР, генерирующего излучение в области длин волн 1,9-2,4 мкм. Средняя мощность излучения, генерируемого в $ZnGeP_2$ на длине волны 181 мкм составила 3,3 нВт. Реализована перестройка излучения в области ~ 120-270 мкм.

В заключении приведены основные результаты и общие выводы диссертационной работы.

К наиболее значимым результатам диссертации можно отнести следующее:

- 1) Были визуализированы и охарактеризованы объемные дефекты монокристалла $ZnGeP_2$ при помощи метода цифровой голографии. Фурье анализ голографических изображений полос роста позволил выявить физические механизмы ответственные за их появление. Данные результаты стали основой методики характеристики объемных дефектов $ZnGeP_2$.
- 2) Был визуализирован процесс формирования оптического пробоя монокристалла $ZnGeP_2$. Полученные зависимости, показали, что оптический пробой имеет тепловую природу. Предложена бесконтактная методика определения температуры внутри пробойного трека монокристалла за счет упругих деформаций кристалла в процессе оптического пробоя с использованием цифровой голографической камеры.
- 3) Были исследованы возможности получения мощного ТГц излучения в монокристалле $ZnGeP_2$ при накачке кристалла излучением в области максимальной прозрачности кристалла 2-5 мкм.

Научная ценность: Впервые использован метод цифровой голографии для визуализации динамических процессов, происходящих в объеме нелинейного кристалла.

Практическая значимость: Результаты работы содержат рекомендации по созданию эффективных источников ТГц излучения на основе двухчастотных источников накачки и нелинейных кристаллов $ZnGeP_2$.

Результаты работы содержат рекомендации по созданию эффективных и надежных ПГС на базе кристаллов $ZnGeP_2$, способных длительное время непрерывно осуществлять генерацию излучения без ограничений, связанных с эффектами накопления и оптическим пробоем кристалла $ZnGeP_2$.

Исследования оптического пробоя и дефектной структуры кристаллов $ZnGeP_2$ позволили на порядок повысить порог оптического пробоя отечественных нелинейных кристаллов $ZnGeP_2$.

Внедрение результатов работы и предложения по их использованию: Методика Фурье-анализа голографических изображений квазипериодических объемных дефектов была внедрена в производственный процесс ООО «ЛОК» г. Томск.

Нелинейно-оптические элементы из кристаллов $ZnGeP_2$ с повышенным порогом пробоя, изготовленные в ООО «ЛОК», используются Российскими научными учреждениями для проведения прикладных и фундаментальных исследований, помимо этого данные кристаллы применяются в промышленно выпускаемых параметрических генераторах света.

Результаты представленные в данной диссертации являются актуальными для дальнейших фундаментальных и прикладных исследований в лазерной физике и относятся к таким областям исследований, как физика взаимодействия когерентного оптического излучения с веществом; процессы генерации и преобразования когерентного оптического излучения, физические методы управления свойствами и параметрами лазерного излучения, включая разработку источников излучения с неклассическими свойствами; исследование фундаментальных свойств вещества с помощью когерентного излучения методами нелинейной оптики и лазерной спектроскопии.

Обоснованность и достоверность результатов, выводов и защищаемых положений подтверждается воспроизводимостью характеристик излучения, получаемых на различных кристаллах $ZnGeP_2$, применением общепринятых методик и стандартных поверенных измерительных приборов.

Публикации. По материалам диссертации Н.Н. Юдина опубликовано 16 статей в журналах из списка ВАК, и входящих в базы данных Web of Science и Scopus. Материалы научной работы соискателя представлены на 8 международных конференциях. Получено 3 свидетельства Роспатента о государственной регистрации программ для ЭВМ и три акта о внедрении в производство.

Замечания по диссертационной работе:

1. В положении № 3 не раскрывается физический процесс получения максимальной эффективности параметрического преобразования в монокристалла $ZnGeP_2$ при воздействии импульсным излучением Ho:YAG лазера с интенсивностью в два раза меньшей порогового значения, при котором достигается оптический пробой кристалла.
2. К сожалению, не приведены сравнительные экспериментальные данные по оптическому пробоею монокристалла $ZnGeP_2$ при работе лазера накачки в одиночном и частотном режиме.
3. В тексте автореферата и диссертации имеются опечатки и орфографические ошибки, а также использование сленговых выражений, например, «описанный на языке...» и др. на стр. 5, 6, 31, 32.

Отмеченные недостатки не снижают уровня выполненного диссертационного исследования в целом и не оказывают влияния на высокую научную значимость полученных автором результатов.

Заключение

На основании полученных диссертантом результатов, сделанных выводов и выдвинутых научных положений следует считать, что поставленная цель исследований успешно достигнута. Диссертационная работа Юдина Николая Николаевича выполнена на высоком научном уровне и представляет собой цельное научное исследование, содержащее решение актуальных научных задач. Текст диссертации оформлен в соответствии с требованиями ВАК. Автореферат правильно отражает основные результаты диссертации. Достоверность полученных результатов не вызывает сомнений. Результаты диссертационной работы Юдина Н.Н. опубликованы в 16 публикациях в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (из них 8 статей в зарубежных научных журналах, индексируемых Web of Science и Scopus, 8 статьи в российских научных журналах, переводные версии которых также индексируются в Web of Science и Scopus).

Диссертация Юдина Николая Николаевича является законченной научно-квалификационной работой на актуальную тему, соответствует специальности 1.3.19 — «Лазерная физика» и отвечает требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением правительства РФ №842 от 24.09.2013, для кандидатских диссертаций, а ее автор, Юдин Николай Николаевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 — «Лазерная физика».

Диссертационная работа, автореферат Юдина Н.Н. и настоящий отзыв на диссертацию были рассмотрены и одобрены на научном семинаре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук в качестве ведущей организации (протокол № 20 от 28 сентября 2022 г.).

Отзыв составил Панченко Юрий Николаевич, заведующий лабораторией газовых лазеров ИСЭ СО РАН, доктор физико-математических наук (специальность 01.04.21 – лазерная физика)

Наименование организации: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭ СО РАН)

Адрес: Россия, 634055, Томская обл., г. Томск, пр-кт Академический, 2/3

Тел.: +7(3822) 491-544

Факс: +7(3822) 492-410

E-mail: contact@hcei.tsc.ru

Заведующий лабораторией
газовых лазеров ИСЭ СО РАН,
доктор физико-математических наук

Подпись Панченко Ю.Н. удостоверяю
ученый секретарь ИСЭ СО РАН, к.т.н.



Ю.Н. Панченко

О.В. Крысина