

УТВЕРЖДАЮ

заместитель директора по научной работе  
Федерального государственного  
бюджетного научного учреждения  
«Федеральный исследовательский центр  
Институт прикладной физики Российской  
академии наук», д.ф.-м.н., член-  
корреспондент РАН, Е.А. Хазанов



« 8 » апреля 2019 г.

### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

**Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» (ИПФ РАН)**  
на диссертационную работу Бойко Андрея Александровича  
«Исследование двухкаскадных параметрических преобразователей лазерного излучения в диапазон от 6 до 18 мкм», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – Оптика.

Диссертационная работа Бойко Андрея Александровича посвящена разработке и исследованию параметрических генераторов света (ПГС) на основе нелинейных кристаллов (периодически-поляризованного КТР,  $\text{AgGaSe}_2$  и  $\text{BaGa}_4\text{Se}_7$ ), длина волны генерации которых может перестраиваться в широких пределах в среднем ИК диапазоне.

Тема исследования, несомненно, является актуальной. Задача разработки когерентных источников излучения, перестраиваемых в среднем ИК диапазоне,

является очень важной, так как в этой части спектра существует много хорошо выделенных линий поглощения различных газов. Источники когерентного излучения этого диапазона востребованы при создании приборов для медицины, диагностики и обработки материалов, специальной техники и научных исследований.

Диссертация Бойко А.А. состоит из введения, пяти глав, заключения, содержит 125 страниц, 1 таблицу, 61 рисунка и библиографический список из 109 наименований.

Во введении обосновывается актуальность исследований, проводимых в рамках диссертационной работы, дается краткий обзор по исследуемой теме, формулируется цель и задачи исследования, показана научная новизна полученных результатов и практическая значимость представленной работы, приводятся научные положения, выносимые на защиту.

Первая глава носит обзорный характер. В ней описывается состояние исследований в области твердотельных источников когерентного оптического излучения среднего ИК диапазона. Проводится обзор нелинейно оптических кристаллов для преобразования частоты в среднем ИК диапазоне, которые могут быть использованы для создания параметрического генератора света. Так же в этой главе даны теоретические основы нелинейной оптики, дано теоретическое рассмотрение процессов ПГС, приведены условия фазового согласования.

Для приложений, использующих излучение из коротковолновой части среднего ИК - до 5 мкм, могут быть использованы полупроводниковые, кристаллические и волоконные лазеры, ПГС на основе нелинейных кристаллов, в том числе, с периодической доменной структурой. В области спектра от 5 до 25 мкм выбор ограничивается квантово-каскадными лазерами или схемами ПГС и генерации разностной частоты. Малая часть из используемых сейчас нелинейных оптических кристаллов соответствует всем необходимым требованиям: высокий уровень лучевой стойкости, широкая запрещенная зона, широкая полоса пропускания в среднем ИК диапазоне, высокий нелинейный коэффициент, низкие остаточные потери в рабочем диапазоне, достаточное двулучепреломление,

изотропность теплового расширения и хорошая теплопроводность, высокая механическая твердость, технологическая возможность массового производства образцов оптического качества и большого размера. Выбор кристалла должен осуществляться с учётом его преимуществ и недостатков. При этом, если говорить о ПГС на основе оксидных кристаллов, диапазон их пропускания в редких случаях достигает 5 мкм.

Во второй главе описаны основные результаты работы по получению генерации вторичной холостой волны в спектральном диапазоне от 5,8 до 8 мкм. Приведены результаты экспериментов по получению параметрической генерации в двухкаскадном двухрезонаторном ПГС на основе кристалла Rb:PPKTP, с внешней накачкой импульсно–периодическим лазерным излучением с длиной волны 1,064 мкм. В данной главе исследуется однорезонансный ПГС второго каскада на основе кристалла AGSE с внутриврезонаторной накачкой на 1,85 мкм первичной сигнальной волной от первого каскада двухрезонаторного ПГС. Приведены основные результаты исследования двухкаскадного ПГС при использовании кристалла AGSE для второго типа взаимодействия, перестройка вторичной холостой волны лежит в диапазоне от 8 до 18 мкм. Для достижения искомого диапазона перестройки длин волн оказалось необходимым изменить не только тип взаимодействия кристалла, но и соответствующую оптику.

В третьей главе представлены результаты генерации разностной частоты (ГРЧ) в среднем ИК диапазоне путём смешивания сигнальной и холостой волн ПГС первого каскада в нелинейном кристалле AGSE второго каскада, что представляет собой универсальный подход. В зависимости от типа взаимодействия в двух нелинейных кристаллах, путем подбора соответствующей поляризации, совмещённый резонатор двухкаскадного ПГС с внутриврезонаторной накачкой, может быть преобразован в генератор разностной частоты среднего ИК диапазона, в котором используются два нелинейных кристалла.

В четвёртой главе представлены результаты применения нового

моноклинного кристалла BGSE для генерации разностной частоты в двухкаскадной схеме с внутриврезонаторной накачкой. Кристалл BGSE имеет несколько преимуществ по сравнению с кристаллом AGSE, наиболее заметным из которых является большее значение порога разрушения.

Внутриврезонаторная генерация разностной частоты осуществлялась путём смешивания сигнальной и холостой волн ПГС в кристалле BGSE. Общая квантовая эффективность преобразования составила 7,8 %. Энергия генерируемого импульса при длине волны  $\sim 7$  мкм и частоте следования импульсов 100 Гц составила  $\sim 0,71$  мДж. Перестройка длины волны в среднем ИК диапазоне достигалась путём изменения температуры кристалла Rb:PPKTP, что приводило к изменению параметров периодической структуры и генерации соответствующих пар сигнальной и холостой волн. Использование энергии холостой длины волны для ГРЧ повышало общую эффективность преобразования энергии накачки в энергию излучения в среднем ИК диапазоне в 4-5 раз по сравнению с однорезонансным ПГС, основанном на том же кристалле AGSE.

В заключении диссертации приводятся основные выводы исследования.

**Научная и практическая значимость работы** заключается в том что, автором предложен и реализован двухкаскадный ПГС с внутриврезонаторной накачкой, в котором в качестве нелинейного элемента первого каскада выступает периодически-поляризованная структура кристалла калий титанил фосфата, легированного ионами рубидия - Rb:KTiOPO<sub>4</sub>. Впервые получена перестройка длины волны в диапазоне от 5,8 до 18 мкм за счёт реализации первого и второго типов синхронизма в кристаллах AGSE второго каскада ПГС.

Для увеличения эффективности преобразования энергии накачки в энергию вторичной холостой волны, был предложен и реализован подход генерации разностной частоты с использованием сигнальной и холостой волн от первого каскада ПГС, для накачки нелинейных кристаллов второго каскада ГРЧ, не имеющих фазового синхронизма на длине волны внешней накачки.

**Достоверность и обоснованность результатов**, описанных в

диссертационной работе, подтверждается представлением и обсуждением их на ряде международных научных конференций, а также статьями, опубликованными в рецензируемых научных журналах, в том числе рекомендованных перечнем ВАК.

Основные результаты работы представлены в 9 работах, 3 из которых опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК. Результаты также докладывались и обсуждались на крупных международной конференции по современным твердотельным лазерам ASSL 2015 (г. Берлин, Германия, 2015); конференции по источникам излучения среднего инфракрасного диапазона MICS'2016 (г. Лос-Анджелес, США, 2016); на международной конференции по лазерам и электрооптике CLEO'16 (г. Сан-Хосе, США, 2016) и CLEO'17 (г. Сан-Хосе, США, 2017).

Автореферат диссертации объективно и полно отражает содержание диссертации; положения, выносимые на защиту, соответствуют основным результатам работы.

**Научная новизна результатов** заключается в следующем: предложен новый вариант построения двухкаскадного ПГС, первый каскад которого работает с внешней накачкой неодимовым лазером, а второй каскад – с внутриврезонаторной накачкой излучением сигнальной волны первого каскада; впервые исследованы свойства ПГС на основе тандема из двух нелинейных элементов смешанного типа - периодически поляризованной структуры Rb:PPKTP и объёмного нелинейного кристалла AGSE; впервые экспериментально исследован внутриврезонаторный параметрический преобразователь частоты гибридного типа, первый каскад которого является ПГС на основе периодической структуры из нелинейного кристалла Rb:PPKTP, а второй каскад – генератор разностной частоты излучения сигнальной и холостой волны ПГС первого каскада на основе объёмного кристалла AGSE; впервые создан и экспериментально исследован генератор разностной частоты на основе нового нелинейного кристалла BGSE.

В качестве замечаний по работе можно отметить следующее:

1. В настоящее время широко развиваются твердотельные источники лазерного излучения в спектральном диапазоне 2-3 мкм, который соответствует длинам волн первого каскада ПГС, представленных в диссертации. Прямая накачка ПГС лазерным излучением на длине волны 2-3 мкм является альтернативой двухкаскадным ПГС. В связи с этим, следовало бы более подробно сравнить двухкаскадные ПГС с накачкой лазером на 1 мкм и однокаскадные ПГС с накачкой лазерным излучением на 2-3 мкм.
2. В разделе 1.2 описываются синхронизмы нелинейного взаимодействия, но не обсуждаются типы нелинейных кристаллов, что не вполне соответствует его названию - "Типы нелинейных кристаллов".
3. При обсуждении двухкаскадных ПГС не всего четко описаны методы измерения и оценки внутрирезонаторной энергии и других характеристик сигнальной и холостой волн первого каскада.
4. В главе 4 недостаточно полно, на наш взгляд, описан эксперимент по оценке влияния наличия синхронизма в кристалле второго каскада на оптический пробой ВGSe в двухкаскадной схеме ПГС.
5. В тексте диссертации встречаются стилистические погрешности.

Указанные недостатки не влияют на общую положительную оценку выполненной работы и не ставят под сомнения основные выводы диссертации. Результаты диссертационной работы являются новыми, имеют научную и практическую значимость. Эти результаты могут быть рекомендованы к использованию в различных научно-исследовательских организациях, занимающихся разработками лазеров среднего ИК диапазона, таких как ИЛФ СО РАН, ИПФ РАН, ИЛФИ РФЯЦ-ВНИИЭФ, ГОИ им. С.И. Вавилова, АО «НИИ «ПОЛЮС» ИМ. М.Ф.СТЕЛЬМАХА» и других.

## **Заключение**

Подводя итог написанному выше можно утверждать, что диссертационная работа Бойко А.А. представляет собой законченное научное исследование, выполненное на актуальную тему, характеризующееся новизной и практической значимостью результатов. Диссертация является законченной научно-квалификационной работой и удовлетворяет требованиям, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. (ред. от 02.08.2016), а ее автор Бойко Андрей Александрович заслуживает искомой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – Оптика.

Диссертационная работа была заслушана 2 апреля 2019 г. на заседании семинара отделения Нелинейной динамики и оптики Института прикладной физики Российской академии наук.

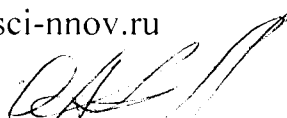
Отзыв составил Антипов Олег Леонидович

В.н.с. ИПФ РАН,

д.ф.-м.н. по специальности 01.04.21 - Лазерная физика

тел. 7(831) 416-49-47

электронная почта: [antipov@appl.sci-nnov.ru](mailto:antipov@appl.sci-nnov.ru)



Антипов О.Л.

6.04.2019

### **Сведения о ведущей организации.**

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук»

Почтовый адрес: 603950, г. Нижний Новгород. БОКС - 120, ул. Ульянова, 46.

Контактный телефон: +7(831) 436-86-10

Интернет-сайт: <http://www.iapras.ru>, email: [igor@appl.sci-nnov.ru](mailto:igor@appl.sci-nnov.ru)