

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
“ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ИМЕНИ Б. И. СТЕПАНОВА
НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ”**

На правах рукописи
УДК 621.373.826; 535.375.54

**Шпак
Павел Валерьевич**

**ВНУТРИРЕЗОНАТОРНОЕ ВКР–ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ
МИНИ–ЛАЗЕРОВ С ПРОДОЛЬНОЙ ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ**

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико–математических наук
по специальности 01.04.21 – лазерная физика**

Минск, 2017

Работа выполнена в Государственном научном учреждении «Институт физики имени Б.И. Степанова Национальной академии наук Беларуси».

Научный руководитель:

Грабчиков Александр Степанович,
доктор физико–математических наук,
ведущий научный сотрудник Института
физики НАН Беларуси

Официальные оппоненты:

Юмашев Константин Владимирович,
доктор физико–математических наук,
профессор, заведующий кафедрой
"Экспериментальная и теоретическая
физика" Белорусского национального
технического университета

Смирнов Андрей Геннадьевич,
кандидат физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник Института
физики НАН Беларуси

Оппонирующая организация:

**Белорусский государственный
университет**

Защита состоится 03 октября 2017 г. в 16⁰⁰ на заседании совета по защите диссертации Д 01.05.01 при Институте физики НАН Беларуси по адресу: 220072, Республика Беларусь, г. Минск, пр. Независимости 68, к. 218.

e–mail: ponyavina@ifanbel.bas-net.by, телефон учёного секретаря: 284–04–50.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института физики НАН Беларуси.

Автореферат разослан “ ” августа 2017 г.

Ученый секретарь
совета по защите диссертации
доктор физико–математических наук

А.Н. Понявина

ВВЕДЕНИЕ

Вынужденное комбинационное рассеяние (ВКР) является одним из нелинейно–оптических эффектов, используемых для преобразования характеристик лазерного излучения : изменения длины волны, улучшения параметра качества пучка, уменьшения длительности импульсов, увеличения мощности. Эффект ВКР наблюдается и исследовался во всех типах сред : газах, жидкостях, плазме, твердых средах. Необходимым условием получения эффекта ВКР является превышение интенсивностью возбуждающего излучения определенной пороговой величины. Применение обратной оптической связи (оптических резонаторов) позволяет создавать лазеры на основе эффекта ВКР (ВКР–лазеры) и снижать пороговую величину интенсивности возбуждающего лазерного излучения.

Появление твердотельных лазерных систем с продольной диодной накачкой и новых комбинационно–активных кристаллических сред обеспечило новое направление для развития ВКР–лазеров. Существуют сверхкомпактные лазеры с продольной диодной накачкой и плотной упаковкой оптических элементов, называемые в литературе микрочип-лазерами. Лазеры без плотной упаковки с сохранением минимальных размеров, ставшие объектом исследования данной диссертации, получили название мини-лазеров. К моменту начала работ по теме диссертации было известно лишь несколько публикаций, описывающих ВКР–преобразование излучения микрочип–лазеров в первую стоксову компоненту с энергией, не превышавшей единиц микроджоулей. Физические особенности ВКР в компактных резонаторах были изучены в недостаточной мере. Не был раскрыт потенциал компактных лазерных систем с точки зрения получения импульсов субнаносекундной длительности с высокой пиковой мощностью. Исследовались системы с общим резонатором для лазерной и стоксовой генерации, неоптимальным с точки зрения согласования мод и наличия потерь.

Исследование физических особенностей ВКР, обусловленных свойствами мини–лазеров, является первой задачей диссертации. Второй задачей исследования компактных систем с ВКР-преобразованием является повышение выходной мощности стоксова излучения. Важной задачей является также поиск новых схем, оптимальных для развития ВКР, а также для расширения спектрального диапазона излучения мини–лазеров за счет генерации ВКР более высокого порядка рассеяния (второго, третьего), в том числе в безопасный для глаз диапазон.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с научными программами (проектами) и темами

Все основные разделы диссертации связаны с темами, входящими в планы важнейших научно-исследовательских работ в области естественных наук по республиканским комплексным программам научных исследований, выполнявшимся по постановлению Государственного Комитета по науке и технологиям Республики Беларусь и Президиума НАН Беларуси: «Разработка и создание миниатюрных диодно-накачиваемых лазеров с внутрирезонаторным ВКР-преобразованием частоты» (Задание 2.02 ГКПНИ «Фотоника», № ГР 20063817, 2006-2010 г.г.), «Исследование, разработка и создание твердотельных импульсных и непрерывных лазерных систем видимого и ближнего ИК диапазонов длин волн для применений в промышленности, обороне, медицине, охране окружающей среды и научных исследованиях» (Задание 2.1.02 ГПНИ «Электроника и фотоника», № ГР 20110359, 2011–2013 г.г.), а также с заданиями проектов, выполнявшихся по договорам с БРФФИ: «Генерационная динамика импульсных микрочип и мини лазеров с внутрирезонаторным ВКР преобразованием» (Ф08В-006/16, № ГР 20083492, 2008-31.07.2010 г.г.), «Микрочип-лазер с внутрирезонаторным нестационарным ВКР-преобразованием» (Ф07-175-937, № ГР 20072139, 2007-2009 г.г.), «Многочастотные импульсные диодно-накачиваемые миниатюрные лазеры с ВКР-преобразованием частоты и длительности импульсов» (Ф11ЛИТ-026/564, № ГР 20111053, 2011-2013 г.г.), с Техническим заданием Международного контракта № 1763 "Совместная разработка диодно накачиваемого мини лазера, генерирующего «безопасное» для глаз излучение", (№ ГР 20093257, 2009-2010 г.г.), с Техническим заданием Договора № 330 «Создание лазерно-оптического и мишенного блоков экспериментального образца лазерно-плазменного двигателя для коррекции орбиты микроспутника нового поколения» по программе Союзного государства «Космос НТ» (№ ГР 20090217, 2008 г.), с проектом Международного научно-технического центра **В-1679** «Непрерывные полностью твердотельные лазеры с продольной накачкой излучением диодных лазеров и внутрирезонаторным ВКР-преобразованием», 01.04.2009-31.03.2012.

Цели и задачи исследования

Целью диссертационной работы является установление характеристик процессов лазерной генерации и внутрирезонаторного ВКР-преобразования в мини-лазерах с продольной диодной накачкой. В процессе выполнения работы решались следующие задачи:

- Определение генерационных параметров мини-лазеров на новых композитных лазерных активных кристаллах с диффузно-сращенным затвором.
- Исследование внутрирезонаторного ВКР-преобразования излучения мини-лазеров в первую, вторую и третью стоксову компоненту.
- Определение условий эффективной генерации излучения заданной компоненты.
- Анализ условий, способствующих компрессии импульсов стоксовой генерации.
- ВКР-преобразование излучения мини-лазеров в условно-безопасный для глаз спектральный диапазон.

Объектом исследований являются компактные твердотельные лазеры с внутрирезонаторным ВКР-преобразованием.

Предметом исследования является внутрирезонаторное ВКР-преобразование в условиях компактных лазерных систем (мини-лазеров), а также режимы генерации таких лазеров, обеспечивающих высокую эффективность преобразования и уменьшение длительности импульсов лазерного излучения.

Научная новизна

1. Показано, что в компактной импульсной лазерной системе с композитными активными элементами $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}/\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$ реализуются условия для развития внутрирезонаторной ВКР-генерации.

2. Впервые в мини-лазере с диодной накачкой получена внутрирезонаторная ВКР-генерация на частотах двух стоксовых компонент в системе с общим резонатором для лазерного и стоксова излучения, и в системе с выделенным резонатором для стоксова излучения.

3. Предложен и реализован метод по управлению характеристиками ВКР-генерации в мини-лазерах со связанными резонаторами для эффективной одно- и многокомпонентной ВКР-генерации излучения и реализации режима компрессии длительности импульсов ВКР-излучения.

4. Экспериментально показано, что генерация второй стоксовой компоненты в условиях внутрирезонаторного ВКР-преобразования в изотропной кристаллической комбинационно-активной среде в припороговом режиме осуществляется по параметрическому механизму.

5. Впервые получена генерация условно-безопасного для глаз излучения в полностью твердотельном мини-лазере с продольной диодной накачкой и пассивной модуляцией добротности при внутрирезонаторной ВКР-генерации трех стоксовых компонент.

Положения, выносимые на защиту

1. Сокращение длительности стоксовых импульсов до 0,1-0,5 нс при внутрирезонаторном ВКР-преобразовании излучения импульсных мини-лазеров со связанными резонаторами обусловлено динамикой ВКР-генерации в коротком резонаторе, обеспечивающем большое превышение усиления над потерями, пространственное согласование взаимодействующих потоков излучения и малое время жизни стоксовых фотонов.

2. В импульсных мини-лазерах с продольной диодной накачкой и внутрирезонаторным ВКР-преобразованием использование дополнительного резонатора обеспечивает низкопороговое высокоэффективное преобразование лазерного излучения (1,064 мкм) в несколько стоксовых компонент (1,18-1,37 мкм) с расширенной возможностью управления энергией импульсов каждой из них.

3. Параметрический механизм внутрирезонаторной ВКР-генерации излучения второй стоксовой компоненты в мини-лазере осуществляется благодаря выполнению требований фазового синхронизма в изотропной комбинационно-активной среде малой длины.

4. Мини-лазер на основе Nd:YAG с пассивной модуляцией добротности и каскадным внутрирезонаторным ВКР-преобразованием излучения лазерной генерации 1,064 мкм в третью стоксову компоненту обеспечивает излучение в условно безопасной для глаз области 1,5-1,6 мкм со спектральной шириной линии не более 0,3 нм.

Личный вклад соискателя

Диссертация отражает личный вклад автора в исследования, выполненные в Институте физики НАН Беларуси. Он заключается в планировании хода выполнения экспериментальных работ, выполнении запланированных задач, анализе и интерпретации полученных результатов, формулировке гипотез и выводов, представлении полученных результатов для опубликования. Научный руководитель доктор физико-математических наук А.С. Грабчиков сформулировал общее направление и задачи научного исследования, участвовал в анализе научных результатов, подготовке их к публикации. Академик В.А. Орлович, будучи инициатором исследований в области компактных лазеров с диодной накачкой и ВКР-преобразованием, активно способствовал реализации планов работ, участвовал в критическом анализе полученных результатов. Вклад соавторов совместных научных работ состоял в научных и технических консультациях и участии в отдельных экспериментах (А.А. Демидович, М.Б. Данаилов, В.И. Дашкевич). В публикациях с численными симуляциями разработка моделей и расчет проведены С.В. Войтиковым.

Апробация результатов диссертации

Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на следующих конференциях и семинарах: VII Международная конференция “Лазерная физика и оптические технологии”, Минск 2008; XI Всероссийская школа-семинар "Волновые явления в неоднородных средах", Москва, 2008; International Workshop on Photonics and Applications (IWPA–2008): Vietnam, Nha Trang, 2008; 7–ой Белорусско-Российский семинар “Полупроводниковые лазеры и системы на их основе”, Минск 2009; V Asian Symposium on Intense Laser Science, Hanoi, 2009; IV international conference "Northern Optics", Vilnius, 2009; XII Всероссийская школа-семинар «Физика и применение микроволн», Москва, 2009; IV Белорусский космический конгресс, Минск, 2009; International conference on Nonlinear Optics / Lasers and Technology (ICONO/LAT), Казань, 2010; Международная конференция “Оптика лазеров”, С.–Петербург, Россия, 2010; International Conference CLEO/ Europe, Munich, 2011.

Опубликованность результатов диссертации

Результаты научных исследований по теме диссертации опубликованы в 4 статьях в научных изданиях, соответствующих п.18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь; в 9 трудах международных научных конференций; в 4 тезисах международных конференций.

Общий объем публикаций по теме диссертации, соответствующих пункту 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, составляет 3,3 авторских листа.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из перечня условных обозначений, введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения и библиографического списка, одного приложения. Первая глава представляет собой обзор литературы об эффекте ВКР, твердотельных лазерах с диодной накачкой. Во второй главе представлены результаты экспериментальных исследований процессов лазерной генерации и ВКР-преобразования в первую стоксову компоненту в мини-лазерах. В третьей главе обсуждаются особенности ВКР-преобразования излучения мини-лазеров в две стоксовых компоненты. В четвертой главе приводятся результаты исследования процесса генерации условно-безопасного для глаз лазерного излучения в спектральном диапазоне 1,5-1,6 мкм при ВКР-преобразовании излучения компактного твердотельного лазера с продольной диодной накачкой в три стоксовых компоненты. В приложении дается расчет погрешностей экспериментальных

измерений физических величин. Объем диссертации – 163 страницы, включая 134 страницы основного текста, перечень условных обозначений на 2 страницах, 60 рисунков и 6 таблиц на 54 страницах, список используемых источников из 175 наименований, включая 4 работы, выполненных в соавторстве с соискателем, а также список публикаций соискателя по теме диссертации из 17 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

В первой главе диссертации содержится обзор литературы по теме исследований. Описывается сущность эффекта ВКР, приводятся закономерности и пороговые условия генерации ВКР как в однопроходном случае, так и в случае наличия резонатора для рассеянного излучения (так называемого ВКР-лазера), излагаются требования для реализации эффективного преобразования. Приводятся основные направления применения эффекта ВКР для преобразования характеристик лазерного излучения, описываются реализации ВКР-лазеров различных типов. В отдельном разделе дается краткий обзор современных лазерных систем с продольной диодной накачкой, их преимущества и недостатки по сравнению с поперечной диодной или ламповой накачкой, способ решения проблемы увеличения выходной энергии лазерных импульсов с применением новых композитных лазерных элементов $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}/\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$. На основе анализа литературы определен круг актуальных задач по исследованию особенностей протекания процесса ВКР в условиях компактных резонаторов, расширению диапазона характеристик выходного излучения компактных мини-лазеров с продольной диодной накачкой с помощью внутрирезонаторного ВКР-преобразования в требуемую стоксову компоненту, получению условно-безопасного для глаз излучения.

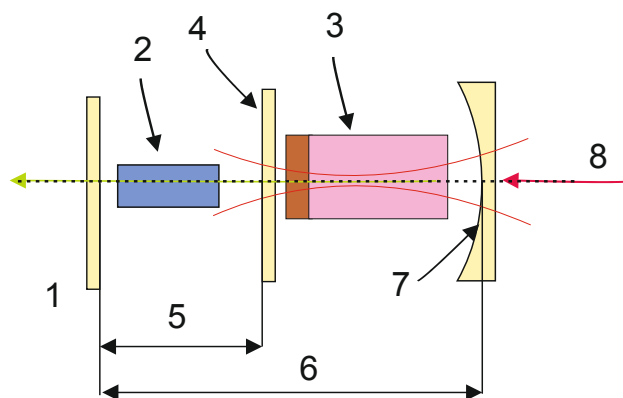
Вторая глава диссертации посвящена исследованию характеристик лазеров на основе композитных лазерных элементов $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}/\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$, а также процесса внутрирезонаторного ВКР-преобразования излучения таких лазеров в первую стоксову компоненту.

В первом разделе представлены результаты по определению сечений поглощения пассивных поглотителей композитных элементов $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}/\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$ из невозбужденного и возбужденного состояния [6]. Объединение двух элементов в один методом диффузного сращивания уменьшает количество оптических поверхностей и снижает нежелательные потери. В то же время, окончательная обработка таких композитных кристаллов происходит уже после процесса диффузного сращивания и зачастую сечения поглощения полученных образцов требуют уточнения,

поскольку неизвестно как расположились компенсационные атомы кальция в решетке граната. Измеренные значения сечения поглощения из невозбужденного состояния варьировались от $2,48 \cdot 10^{-18}$ до $4,5 \cdot 10^{-18} \text{ см}^2$.

Второй раздел главы посвящен экспериментальному исследованию генерационных характеристик мини-лазеров на основе композитных активных элементов $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}/\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$, а также определению соответствия этих характеристик условиям эффективного развития процесса ВКР. Установлено, что энергия импульсов лазерного излучения варьируется от 0,08 до 0,25 мДж, а интенсивность лазерного излучения внутри резонаторов мини-лазеров достигает 1 ГВт/см^2 , причем пороговая интенсивность генерации ВКР составляет около 40 МВт/см^2 при длительности импульса накачки 1 нс. Расходимость при этом не превышает дифракционного предела более чем в 1,3 раза, а спектральная ширина линии не превышает 0,3 нм. Показано, что в резонаторе мини-лазеров с композитными элементами реализуются условия для эффективного ВКР-преобразования.

Третий и четвертый разделы главы посвящены экспериментальному исследованию процесса ВКР-генерации первой стоксовой компоненты (1СК) [2] в комбинационно-активных (КА) кристаллах, обладающих различными коэффициентами ВКР-усиления (нитрате бария, вольфрамате бария, синтетическом алмазе). Для реализации эффективного ВКР-преобразования излучения мини-лазеров была предложена схема связанных резонаторов для лазерного и стоксова излучения (см. рисунок 1), позволяющая снизить потери для стоксова излучения в пассивном модуляторе добротности, управлять величиной пространственного перекрытия пучков [2, 15, 8].



1 - выходное зеркало, 2 - КА кристалл, 3 - композитный кристалл $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}/\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$, 4 - внутрирезонаторное зеркало, 5 - резонатор ВКР-лазера, 6 - лазерный резонатор, 7 - входное зеркало, 8 - излучение накачки

Рисунок 1. – Схема лазера с ВКР-преобразованием в первую стоксову компоненту в связанных резонаторах

Различные сочетания характеристик резонаторных зеркал и КА кристаллов позволяют реализовать режимы работы ВКР-лазера, в которых наблюдается генерация импульсов 1СК с малой длительностью или с высокой энергией. Было установлено, что, во-первых, короткие импульсы излучения стоксовых компонент длительностью 0,15-0,3 нс реализуются в резонаторах малой длины в случае наибольшего заполнения резонатора ВКР-лазера КА средой. Во-вторых, существует оптимальный коэффициент отражения выходного зеркала резонатора на длине волны первой стоксовой компоненты, близкий к 70 %, при котором энергия выходных импульсов максимальна. В-третьих, в случае высокой эффективности ВКР-преобразования может наблюдаться срыв лазерной генерации, в результате которого инверсия населенности в лазерной среде не успевает полностью истощиться и может наблюдаться генерация лазерного излучения, испускаемого после затухания импульса 1СК, не участвующая в ВКР-преобразовании. Экспериментально показано, что снижение внутрирезонаторной интенсивности излучения лазерной генерации позволяет задержать момент начала развития генерации 1СК и, таким образом, реализовать более эффективное снятие инверсии населенности лазерной среды, с последующим преобразованием в излучение 1СК. Длины волн генерации 1СК составили 1,18 мкм, 1,2 мкм и 1,24 мкм при ВКР-преобразовании в кристаллах вольфрамата бария, нитрата бария и синтетического алмаза, соответственно, с длительностью импульсов, лежащей в субнаносекундном диапазоне.

Третья глава диссертации посвящена изучению внутрирезонаторного ВКР-преобразования излучения мини-лазеров в две стоксовых компоненты [1, 3, 5, 7, 13, 14, 16]. В первом разделе приводятся результаты исследований процесса внутрирезонаторного ВКР-преобразования в резонаторе мини-лазера на основе кристалла Nd:LSB [1], в котором ранее была реализована генерация излучения первой стоксовой компоненты с рекордно малой (48 пс) длительностью импульсов. Также был осуществлен расчет динамики лазерной и ВКР-генерации в такой системе с учетом каскадного и параметрического механизмов генерации излучения первой и второй стоксовой компонент.

На рисунке 2 представлены экспериментальные данные по значениям энергии импульсов стоксова излучения и сопоставление их с результатами численных расчетов для различных значений коэффициента многоволнового смещения $\delta_{\text{eff}, \text{mw}}$, учитывающего вклад параметрического процесса в генерацию второй стоксовой компоненты. Наилучшее соответствие между экспериментальными и теоретически рассчитанными значениями энергии первой и второй стоксовых компонент были получены при значении коэффициента многоволнового смещения $\delta_{\text{eff}, \text{mw}}$ равном 0,04 (кривые №3 на рисунках 2 а и 2 б). В численном эксперименте с нулевым вкладом

параметрического процесса порог генерации второй стоксовой компоненты не достигался (кривые №5 на рисунках 2 а и 2 б).

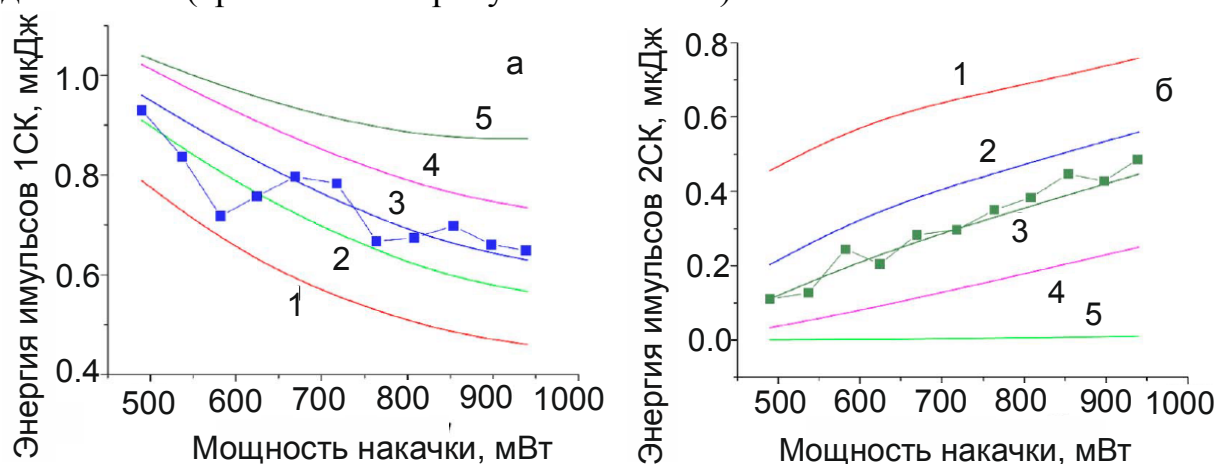


Рисунок 2. – Экспериментальные (точки) и расчетные (сплошные кривые) зависимости энергии импульсов первой стоксовой компоненты (а) и второй стоксовой компоненты (б) от мощности накачки для различных значений коэффициента многоволнового смешения $\delta_{\text{eff, mw}}$: кривая 1 – 0,125, кривая 2 – 0,06, кривая 3 – 0,04, кривая 4 – 0,02, кривая 5 – $2,5 \cdot 10^{-3}$

Во втором разделе главы описывается оптическая схема мини-лазера на основе композитного кристалла $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}/\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$ с внутрирезонаторным ВКР–преобразованием излучения в две стоксовых компоненты в системе связанных резонаторов [3, 5, 7, 13, 14, 16]. Важнейшее преимущество системы связанных резонаторов – возможность гибкого независимого управления добротностями двух резонаторов – позволило избежать развития конкурирующей лазерной генерации с длиной волны излучения 1,34 мкм в кристалле $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$, и при этом обеспечить достаточно высокую добротность резонатора ВКР-лазера на длине волны 2СК, равной 1,37 мкм. В проведенных исследованиях использование пассивных затворов с различным коэффициентом начального пропускания (79 %, 57% и 51%) и изменение мощности оптической накачки в пределах от 4 до 12 Вт позволяло в широких пределах варьировать условия развития лазерной и стоксовой генерации. Применение двух различных выходных зеркал с коэффициентами отражения на длине волны 2СК 31% и 84% обеспечивало реализацию резонаторов с существенно различной добротностью для стоксова излучения, что было использовано для исследования особенностей ВКР в мини-лазерах в условиях вблизи и вдалеке от порога. Кроме того, появилась возможность отдельно изменять длину резонатора ВКР-лазера и тем самым менять длительности импульсов и степень перекрытия взаимодействующих пучков.

Было установлено, что в условиях малой длины КА среды и резонатора ВКР-лазера дисперсионные фазовые расстройки для четырехволнового

параметрического взаимодействия лазерной и стоксовых волн становятся малыми и проявляется параметрический механизм генерации 2СК. Он выражается в практически одновременном развитии излучения 1СК и 2СК. Так, при малой добротности резонатора и малой интенсивности лазерного излучения, близкой к пороговой интенсивности генерации ВКР, задержка момента начала генерации 1СК от фронта нарастания лазерного импульса составляет 1,64 нс (на половине высоты), в то время как задержка фронта генерации 2СК относительно фронта развития 1СК составляет всего 0,13 нс (см. рисунок 3 а). За такое малое время каскадный механизм ВКР-преобразования не успевает развиваться. При этом фронт затухания импульса 2СК опережает фронты затухания остальных компонент на 0,12 нс, что также подтверждает гипотезу о преимущественном вкладе параметрического механизма в генерацию 2СК.

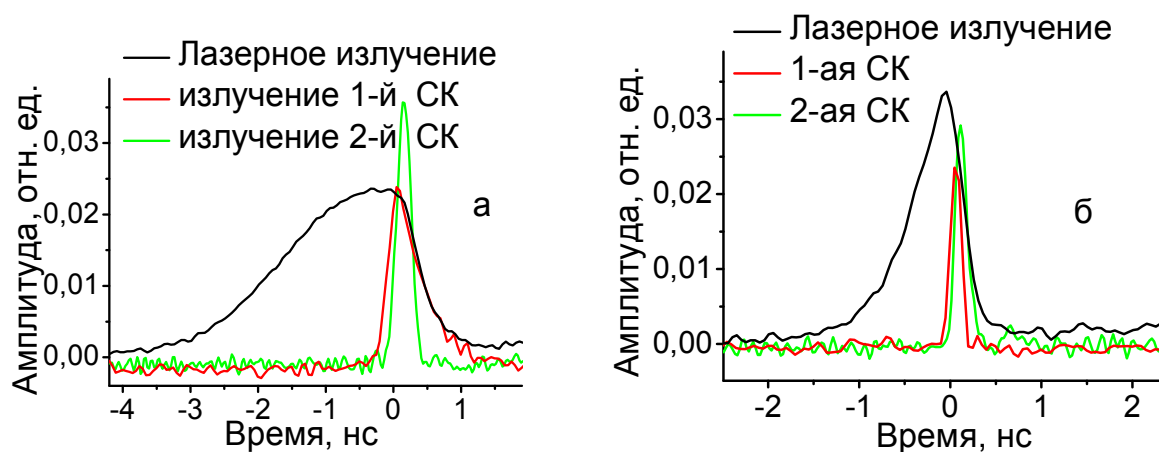


Рисунок 3. – Осциллограммы импульсов лазерного и стоксова излучения в различных условиях

При увеличении энергии лазерного излучения на длине волны 1,064 мкм и повышении внутрирезонаторной интенсивности время между фронтами лазерного импульса и 1СК сокращается до 0,45 нс, а между фронтами 1СК и 2СК составляет всего 0,05 нс (см. рисунок 3 б). При этом фронт затухания 2СК запаздывает относительно фронта затухания 1СК, что более характерно для каскадного механизма генерации ВКР. Необходимо отметить, что укорочение длительности импульсов 2СК относительно импульсов лазерной генерации сопровождается повышением пиковой мощности излучения, свидетельствуя, таким образом, о реализации режима компрессии [3, 13, 16]. Выходная энергия импульсов 2СК лежала в пределах 10-17 мкДж при длительности 0,1-0,2 нс. Внутри резонатора пиковая мощность стоксова излучения превышала мощность лазерного излучения. Пиковая мощность выходного излучения 2СК превышала 150 кВт

Основной причиной компрессии длительности импульсов являются высокое усиление ВКР в резонаторе (сокращается фронт нарастания импульсов 1СК и 2СК), истощение заднего фронта импульса 1СК за счет генерации импульса 2СК, малое время жизни фотонов в резонаторе на длине волны 2СК (эффективно сокращается фронт затухания импульса 2СК).

В третьем разделе главы приводятся результаты экспериментальных исследований внутрирезонаторной ВКР-генерации 2СК в условиях изменения длины резонатора ВКР-лазера. Показано, что длительность импульсов 2СК эффективно уменьшается с сокращением длины резонатора. Продемонстрировано удовлетворительное соответствие результатов экспериментальных измерений и численного моделирования динамики генерации лазерного и стоксова излучения в таких системах.

Мини-лазеры с ВКР-преобразованием излучения характеризуются довольно высоким пространственным качеством стоксова излучения. Расходимость генерируемого излучения не превышала дифракционного предела в 1,5 раза. Поперечное распределение интенсивности лазерного излучения хорошо аппроксимировалось гауссовой функцией. В то же время, поперечное распределение интенсивности излучения 1СК характеризовалось наличием пространственной модуляции с довольно интенсивными боковыми крыльями (см. рисунок 4), связанной с несколько большим уровнем потерь в коротком резонаторе ВКР-лазера.

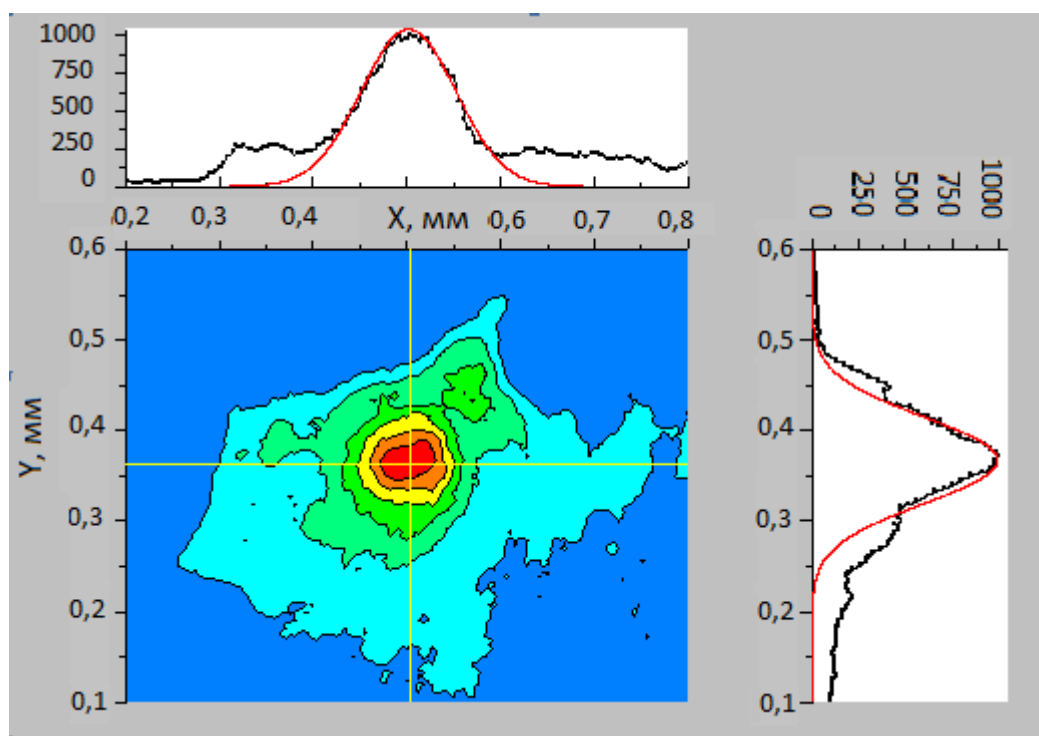


Рисунок 4. - Распределение интенсивности излучения 1-ой стоксовой компоненты при мощности накачки 10,3 Вт

В четвертой главе представлены результаты по применению развитого в предыдущих главах подхода к генерации ВКР в связанных резонаторах с целью получения излучения в условно–безопасном для глаз диапазоне длин волн методом каскадного преобразования лазерного излучения в три стоксовых компоненты [4, 17].

В первом разделе главы описана оптическая схема лазера, работающего в режиме непрерывной продольной диодной накачки, в котором возможна генерация третьей стоксовой компоненты. Резонатор лазера был сформирован с помощью высокоотражающих зеркал так, чтобы обеспечить фокусировку лазерного излучения в КА среду (см. рисунок 5).

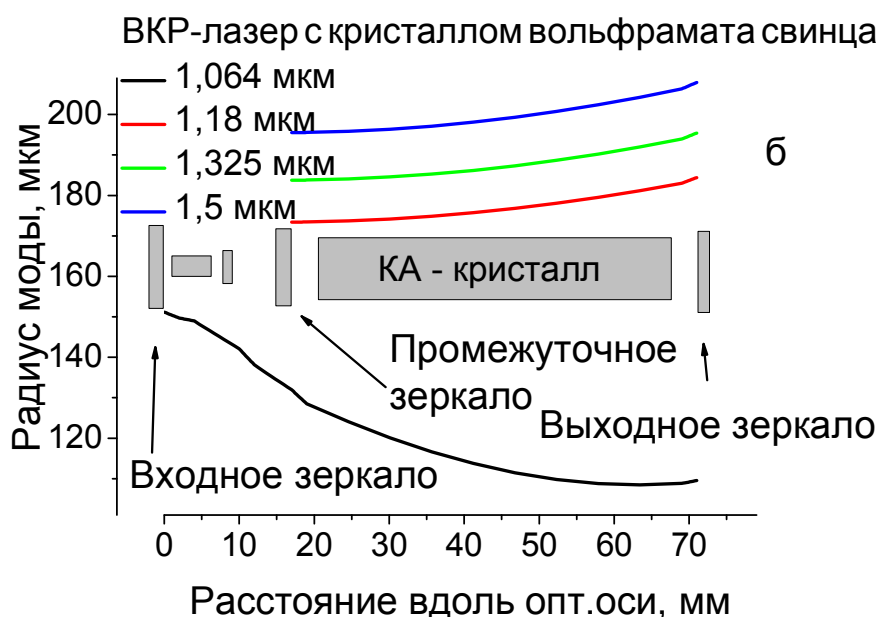


Рисунок 5. – Зависимость радиуса моды резонатора вдоль оптической оси для излучения лазера и трех стоксовых компонент

Стоксово излучение накапливалось в высокодобротном для 1СК и 2СК резонаторе, сформированном плоским промежуточным зеркалом и выходным сферическим зеркалом.

Во втором разделе главы представлены энергетические характеристики лазера с КА–кристаллом внутри, но с выходным зеркалом, не поддерживавшим генерацию ВКР (для предварительного анализа работы лазера). Средняя энергия лазерных импульсов составила 110 ± 11 мкДж, при этом частота следования импульсов достигала 5 кГц при мощности накачки 13 Вт.

В третьем и четвертом разделах главы приведены результаты исследования внутрирезонаторного ВКР-преобразования в три стоксовых компоненты в кристаллах нитрата бария и вольфрамата свинца. Установлено, что в резонаторе ВКР-лазера с КА-кристаллом длиной 30-50 мм преобладает каскадный механизм многочастотной генерации ВКР (см. рисунок 6 а).

Благодаря высокой добротности связанных резонаторов на длинах волн лазерной генерации и первых двух стоксовых компонент, на выходе лазера преобладало излучение третьей стоксовой компоненты. Средняя выходная энергия импульсов третьей стоксовой компоненты при ВКР-преобразовании в кристалле **нитрата бария** составила 4,5 мкДж (с дисперсией 2,5 мкДж), при частоте следования импульсов до 2 кГц. Длина волны излучения составила 1,6 мкм. Средняя выходная энергия импульсов третьей стоксовой компоненты при ВКР-преобразовании в кристалле **вольфрамата свинца** достигала 6,5 мкДж (с дисперсией 2,8 мкДж), с частотой следования импульсов до 3 кГц. Длина волны излучения составила 1,493 мкм. Ширина линии излучения третьей стоксовой компоненты на длине волны 1493,4 нм составила 0,3 нм.

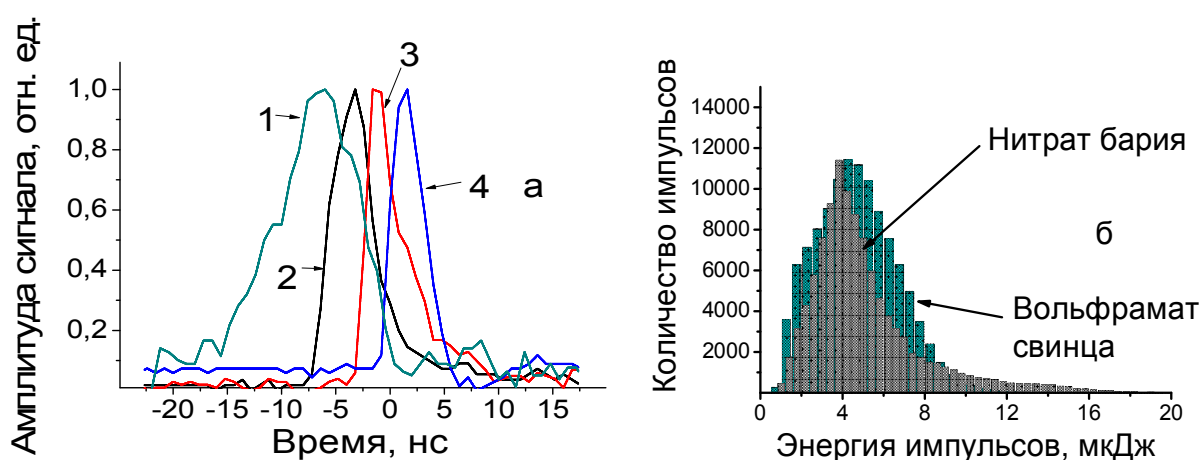


Рисунок 6. – а) осциллограммы импульсов излучения лазера (кривая 1), первой (кривая 2), второй (3) и третьей (4) стоксовых компонент в режиме каскадной внутрирезонаторной ВКР-генерации; б) гистограмма значений энергии импульсов ЗСК в кристаллах нитрата бария и вольфрамата свинца

Значительный разброс значений энергии импульсов третьей стоксовой компоненты (см. рисунок 6 б) обусловлен большой дисперсией значений энергии лазерного излучения в такой системе, а также накоплением флуктуаций, возникающих в процессе ВКР.

Исследовались также пространственные характеристики излучения ЗСК. Параметр качества пучка M^2 составил 1,8. Поперечное распределение интенсивности стоксова излучения имело гладкий профиль и хорошо аппроксимировалось распределением Гаусса (см. рисунок 7).

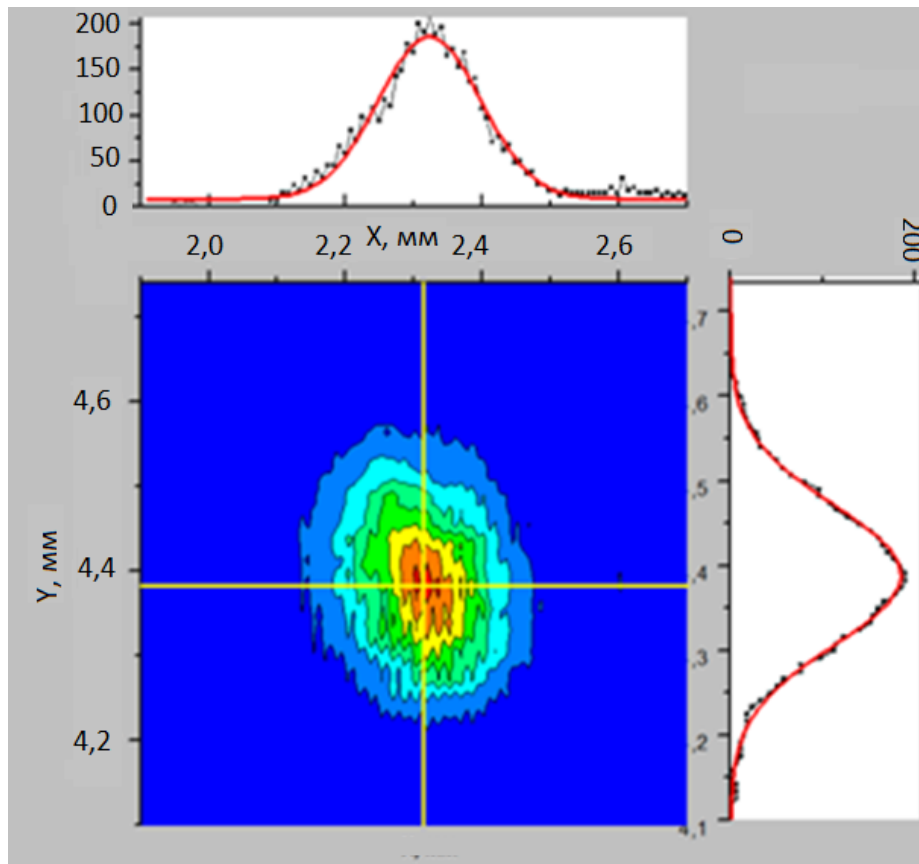


Рисунок 7. –Распределение интенсивности излучения третьей стоксовой компоненты (в кристалле вольфрамата свинца) в ближнем поле

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Экспериментально показано, что в компактных лазерных системах на основе композитных кристаллов $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}/\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$ с диффузно-срощенным затвором [6] возможно получение коротких и мощных импульсов лазерного излучения (с энергией от 0,1 до 0,25 мДж при длительности около 1 нс), обеспечивающих превышение порога ВКР-генерации в условиях внутрирезонаторного преобразования [1 - 4, 9, 11, 12].

2. Предложена и реализована концепция связанных лазерных резонаторов для управления характеристиками внутрирезонаторной ВКР-генерации в компактной (мини) лазерной системе. Показано, что в связанных резонаторах возможна концентрация излучения в одной заданной стоксовой компоненте, или одновременная генерация многочастотного выходного лазерного излучения с близкими энергетическими характеристиками. Реализовано внутрирезонаторное ВКР-преобразование излучения мини-лазеров в первую стоксову компоненту в КА кристаллах нитрата бария [2], вольфрамата бария, синтетического алмаза. Показано, что эффективность преобразования излучения компактных мини-лазеров в первую стоксову компоненту достигает

35%, а энергия выходных импульсов стоксовой компоненты составляет от 5 до 20 мкДж при длительности импульсов, лежащей в субнаносекундном диапазоне [8 – 10, 15]. Показано, что с использованием внутрирезонаторного ВКР-преобразования излучения $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}/\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$ мини-лазеров в первую стоксову компоненту можно реализовать компактные источники с длинами волн генерации 1,18, 1,2, 1,24 мкм. В системе связанных резонаторов реализуется гибкое управление коэффициентом компрессии за счет изменения интенсивности лазерного излучения, длины ВКР-резонатора и диаметра моды стоксова излучения. Таким образом длительность импульсов стоксова излучения может варьироваться в диапазоне 0,1 - 0,5 нс, недоступном для большинства лазеров с модуляцией добротности.

3. Впервые в мини-лазере с диодной накачкой получена генерация на частотах двух стоксовых компонент в *общем* резонаторе для лазерного и стоксова излучения [1] и *выделенном* (связанном) резонаторе для стоксова излучения [3].

4. Установлены необходимые условия для управления процессом внутрирезонаторного ВКР-преобразования излучения мини-лазеров с продольной диодной накачкой в излучение заданной стоксовой компоненты: первой [2, 8, 10, 15], второй [1, 3, 5, 7, 13, 14, 16] или третьей [4, 17]. Общим во всех случаях является использование отдельного стоксова резонатора внутри высокодобротного лазерного резонатора с целью наиболее эффективного управления параметрами преобразования. Для генерации *первой* стоксовой компоненты необходимо обеспечивать относительно высокую добротность резонатора на длине волны только первой стоксовой компоненты, сохраняя добротность резонатора для второй стоксовой компоненты минимальной. При генерации коротких импульсов следует обеспечивать высокий инкремент усиления ВКР и минимизировать длину стоксова резонатора и диаметр моды стоксова излучения в нем. Для повышения эффективности внутрирезонаторного ВКР-преобразования следует удерживать инкремент усиления меньшим (по сравнению со случаем генерации коротких импульсов) во избежание срыва лазерной генерации, например, увеличив длину резонаторов. Эффективная генерация импульсов *второй* стоксовой компоненты также требует использования системы связанных резонаторов: высокодобротный резонатор на длине волны лазерного излучения, внутри которого создан высокодобротный резонатор для излучения первой стоксовой компоненты, обладающий оптимальной добротностью для излучения второй стоксовой компоненты [3, 5, 7, 13, 14]. Для эффективной генерации *третьей* стоксовой компоненты необходимо использовать резонаторы с большим временем жизни фотонов, высокодобротные на длинах волн лазерного излучения и первых двух стоксовых компонент [4, 17].

5. В компактной лазерной системе с внутрирезонаторным ВКР-преобразованием в изотропной кристаллической среде развивается параметрическая генерация второй стоксовой компоненты, обусловленная выполнением условий фазового синхронизма для четырехфотонного взаимодействия в коротких резонаторах в области длин волн, в которой дисперсия кристаллов мала. Данное свойство компактных систем приводит к эффективной генерации излучения второй стоксовой компоненты и укорочению импульсов рассеянного излучения [1, 3].

6. Впервые получено условно-безопасное излучение в компактном лазере с продольной диодной накачкой и пассивной модуляцией добротности при внутрирезонаторной генерации трех стоксовых компонент в кристаллах нитрата бария и вольфрамата свинца [4]. Средняя мощность излучения с длинами волн 1,5 и 1,6 мкм составляет от 10 до 15 мВт при частоте следования импульсов от 2 до 3 кГц. Спектральная ширина линии при этом не превышает 0,3 нм.

Рекомендации по практическому применению

1. Результаты исследований энергетических и динамических характеристик композитных элементов $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}/\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$ с диффузно-сращенным затвором могут использоваться при создании новых компактных твердотельных лазерных излучателей с высокой пиковой мощностью (более 100 кВт) и частотами повторения импульсов в десятки кГц [9]. Такие источники испытаны на применение в макетах космических микродвигателей для корректировки ориентации спутников в пространстве [9, 11]. Излучение компактных лазеров с высокой пиковой мощностью может использоваться для разогрева плазмы в мобильных атомно-эмиссионных спектрометрах до температуры порядка 30000 К [9, 11, 12].

2. Результаты исследований мини-лазеров с ВКР преобразованием в одну или две стоксовых компоненты позволяют создать компактные источники импульсного излучения с возможностью регулирования длительности импульсов от 0,1 до 0,5 нс с энергией в десятки микроджоулей на длинах волн в диапазоне 1,18-1,37 мкм, расширяя таким образом спектральный диапазон когерентного лазерного излучения [1 – 3], и улучшая временное разрешение систем сканирования, построенных на базе таких излучателей.

3. Условно-безопасное для глаз излучение в диапазоне 1,5-1,6 мкм [4] широко используется в дальнометрии и для мониторинга окружающей среды. Созданная твердотельная пассивная лазерная система, излучающая в условно-безопасном диапазоне длин волн, может служить основой следующего поколения лазерных дальномеров, требующих высокой частоты следования импульсов.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Статьи в рецензируемых научных журналах

1. Two–Stokes generation and effect of multiwave mixing on output pulse parameters of a Q–switched Raman microchip laser / S.V. Voitikov, A.A. Demidovich, A.S. Grabtchikov, P.V. Shpak, M.B. Danailov, V.A. Orlovich // J. Opt. Soc. Am. B. – 2010. – Vol. 27, № 6. – P. 1232.

2. Generation of multi–frequency radiation in pulsed microchip laser with Raman conversion / P.V. Shpak, A.A. Demidovich, M.B. Danailov, A.S. Grabtchikov, S.M. Vatnik, N.D. Hung, S.N. Bagaev, V.A. Orlovich // Laser Phys. Lett. – 2010. – Vol. 7, № 8. – P. 555–559.

3. Coupled–cavity passively Q–switched two–Stokes microchip laser / P.V. Shpak, S.V. Voitikov, A.A. Demidovich, M.B. Danailov, V.A. Orlovich // Appl. Phys. B. – 2012. – Vol. 108, № 2. – P. 268–281.

4. Passively Q–switched diode–pumped Raman laser with third–order Stokes eye–safe oscillation / P.V. Shpak, S.V. Voitikov, R.V. Chulkov, P.A. Apanasevich, V.A. Orlovich, A.S. Grabtchikov, A. Kushwaha, N. Satti, L. Agrawal, A. K. Maini // Opt. Commun. – 2012. – Vol. 285, № 17. – P. 3659–3664.

Материалы конференций

5. Внутррезонаторное ВКР–преобразование излучения $\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}/\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$ микрочип–лазера в две стоксовы компоненты / П.В. Шпак, А.А. Демидович, М.Б. Данаилов, А.С. Грабчиков, В.А. Орлович // VII Международная научная конференция "Лазерная физика и оптические технологии", Минск, 17-19 июня 2008 г. : сб. научн. тр. конф. в 3 томах / Национальная академия наук Беларуси, Институт физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси, Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований, Российский фонд фундаментальных исследований, Белорусское физическое общество; под ред. Н.С. Казака [и др.]. – Минск, 2008.– Т. 3. – С. 139 – 142.

6. Определение параметров поглотителя в диффузно–соединенных лазерных средах на основе кристаллов $\text{Nd}:\text{YAG}/\text{Cr}:\text{YAG}$ / С.В. Войтиков, П.В. Шпак, А.С. Грабчиков, В.А. Орлович // VII Международная научная конференция "Лазерная физика и оптические технологии", Минск, 17-19 июня 2008 г. : сб. научн. тр. конф. в 3 томах / Национальная академия наук Беларуси, Институт физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси, Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований, Российский фонд фундаментальных исследований, Белорусское физическое общество; под ред. Н.С. Казака [и др.]. – Минск, 2008.– Т. 3. – С. 299 – 301.

7. Внутривибрационное ВКР-преобразование излучения $\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}/\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$ микрочип-лазера в две стоксовы компоненты / П.В. Шпак, А.А. Демидович, М.Б. Данаилов, А.С. Грабчиков, В.А. Орлович // Волновые явления в неоднородных средах: труды XI всерос. школы–семинара, Москва, 26–31 мая 2008 г.: в 6 ч. / МГУ ; редкол. : А.П. Сухоруков [и др.]. – Москва, 2008. – Ч. 4. – С. 62–64.

8. Generation of multi-frequency radiation in pulsed microchip laser with Raman conversion / P.V. Shpak, A.A. Demidovich, M.B. Danailov, A.S. Grabtchikov, S.M. Vatnik, N. D. Hung, S.N. Bagaev, V.A. Orlovich // Proceedings of the 5th Asian Symposium on Intense Laser Science (ASIALS-5), Hanoi, Vietnam, December 2 – 5, 2009 / Publishing house for science and technology; ed. Jongmin Lee [et al.]. – Hanoi, 2010. – P. 211–215.

9. Оптимизация характеристик микрочип-лазера с диодной накачкой для возбуждения плазмы // П.В. Шпак, А.Н. Чумаков, А.С. Грабчиков, В.А. Орлович, Н.А. Босак, А.М. Петренко, П.В. Чекан, П.Н. Малевич // Физика и применение микроволн: труды XII Всероссийской школы–семинара, Моск. обл., Звенигород, 25–30 мая 2009 г.: в 7 ч. / МГУ; редкол.: А.П. Сухоруков [и др.]. – Москва, 2009. – Ч. 6. – С. 90–92.

10. Генерация видимого и инфракрасного многочастотного излучения в импульсном микрочип лазере с ВКР преобразованием / П.В. Шпак, А.А. Демидович, М.Б. Данаилов, А.С. Грабчиков, В.А. Орлович // Сборник статей 7-го Белорусско–российского семинара «Полупроводниковые лазеры и системы на их основе» Минск, 1–5 июня 2009 г. / Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси; под ред.: В.З. Зубелевич, В.К. Кононенко, Г.П. Яблонский. – Минск, 2009. – С. 190 – 193.

11. Исследование возможностей использования микрочип лазера в составе лазерно–плазменного двигателя космического назначения / А.Н. Чумаков, А.С. Грабчиков, В.А. Орлович, П.В. Шпак, Н.А. Босак, А.М. Петренко, П.В. Чекан, П.Н. Малевич // Сборник статей 7-го Белорусско–российского семинара «Полупроводниковые лазеры и системы на их основе» Минск, 1–5 июня 2009 г. / Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси; под ред.: В.З. Зубелевич, В.К. Кононенко, Г.П. Яблонский. – Минск, 2009. – С. 124 – 128.

12. Влияние длительности импульса и длины волны излучения лазера на характеристики лазерно–плазменного двигателя / А.Н. Чумаков, Н.А. Босак, П.Н. Малевич, А.М. Петренко, П.В. Чекан, А.С. Грабчиков, В.А. Орлович, П.В. Шпак, Г.И. Рябцев, М.В. Богданович, М.А. Щемелев // Четвертый Белорусский космический конгресс: материалы конгресса. В 2 т. 27–29 октября 2009 г., Минск / ОИПИ НАН Беларуси; науч. ред. А.В. Тузиков, М.Я.Ковалев. – Минск, 2009.–Т.1. –С.131 – 134

13. Experimental and theoretical investigation of two Stokes generation in Passively Q-Switched microchip laser / P.V. Shpak, S.V. Voitikov, A.S. Grabtchikov, A.A. Demidovich, M.B. Danailov, and V.A. Orlovich // Труды конференции Оптика Лазеров 2010, Санкт-Петербург, Россия ,28 июня – 02 июля 2010, на CD-ROM. – WeR1 – С. 75.

Тезисы докладов

14. Intracavity Raman conversion at two Stokes wavelengths in diode pumped $\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}/\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$ microchip laser / P.V. Shpak, A.A. Demidovich, M.B. Danailov, A.S. Grabtchikov, V.A. Orlovich // International Workshop on Photonics and Applications (IWPA-2008): abstract and program; Vietnam, Nha Trang, 10–14 September 2008. – P. 199.

15. Generation of multi-frequency infrared and visible radiation in pulsed microchip laser with Raman conversion and nonlinear sum-mixing / P.V. Shpak, A.A. Demidovich, M.B. Danailov, A.S. Grabtchikov, V.A. Orlovich // Northern Optics 2009: программа и сборник тезисов международной конференции, Вильнюс, Литва, 26–28 августа 2009. – С.79.

16. Picosecond Microchip Laser with Two Stokes Generation / P.V. Shpak, S.V. Voitikov, A.S. Grabtchikov, A.A. Demidovich, M.B. Danailov, V.A. Orlovich // ICONO/LAT: материалы конференции, Казань, Россия, 23–27 августа 2010, на CD-ROM. – С. LtuL31.

17. Generation of eye-safe radiation in passively Q-switched laser with three Stokes intracavity Raman conversion / P.V. Shpak, S.V. Voitikov, R.V. Chulkov, P.A. Apanasevich, V.A. Orlovich, A.S. Grabtchikov, A. Kushwaha, N. Satti, L. Agrawal, A. K. Maini, S.S. Kruk // CLEO/EUROPE EQEC: материалы международной конференции, Мюнхен, Германия, Май 22–26, 2011, на CD-ROM. – С.16 (476).

РЕЗЮМЕ

Шпак Павел Валерьевич

Внутрирезонаторное ВКР–преобразование излучения мини–лазеров с продольной диодной накачкой

Ключевые слова: твердотельные лазеры, диодная накачка, нелинейное преобразование, вынужденное комбинационное рассеяние, четырехфотонный параметрический процесс, компрессия длительности импульсов, энергия импульсов, безопасное для глаз излучение.

Диссертация посвящена исследованию процесса ВКР-преобразования внутри резонатора компактных лазерных систем с продольной диодной накачкой.

Целью диссертации являлось установление условий и особенностей протекания процессов внутрирезонаторного ВКР–преобразования и лазерной генерации в компактных мини–лазерах с продольной диодной накачкой.

Методы исследования. Были использованы методы спектроскопии, нелинейного пропускания, методы измерения временных, энергетических и пространственных параметров лазерного излучения.

Полученные результаты и их новизна. Было установлено, что в резонаторе компактных лазерных систем с продольной диодной накачкой на основе кристаллов $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}/\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$ реализуются условия для ВКР-преобразования излучения. Впервые предложена и реализована схема связанных резонаторов для раздельного управления добротностями резонаторов лазера и ВКР-лазера. Показано, что за счет применения связанных резонаторов возможно гибкое управление длительностью импульсов выходного стока излучения путем изменения длины резонатора, в том числе осуществление режима компрессии. Обнаружены условия, в которых ВКР-генерация второй стоковой компоненты осуществляется по параметрическому механизму. С помощью внутрирезонаторного ВКР-преобразования излучения компактного лазера с продольной диодной накачкой в различных комбинационно–активных кристаллах реализована генерация излучения на длинах волн 1,18, 1,2, 1,24, 1,324, 1,37 мкм, а также в условно безопасном для глаз диапазоне на длинах волн 1,5 и 1,6 мкм с энергией импульсов от 5 до 20 мкДж и длительностью от 0,1 до 4,0 нс.

Область применения. Полученные результаты могут быть использованы для расширения спектрального диапазона излучения компактных лазеров с продольной диодной накачкой в безопасную для глаз область, а также сокращения длительности и увеличения пиковой мощности излучения.

Шпак Павел Валер'евіч

Унутрырэзанатарнае ВКР–пераўтварэнне выпраменьвання міні–лазераў з падоўжнай дыёднай напампоўкай

Ключавыя словы: цвёрдацельныя лазеры, дыёдная напампоўка, нелінейнае пераўтварэнне, чатырохфатонны параметрычны працэс, кампрэсія працягласці імпульсаў, энергія імпульсаў, бяспечнае для вачэй выпраменьванне.

Дысертация прысвечана даследаванню працэсу ВКР-пераўтварэння ўнутры рэзанатара кампактных лазерных сістэм з падоўжнай дыёднай напампоўкай.

Мэтай дысертцыі з'яўлялася ўсталяванне умоў і асаблівасцяў выканання працэсаў унутрырэзанатарнага ВКР-пераўтварэння і лазернай генерацыі ў кампактных міні-лазерах з падоўжнай дыёднай напампоўкай.

Метады даследавання. Былі выкарыстаныя метады спектральных вымярэнняў, нелінейнага прапускання, метады даследвання часавых, энергетычных і прасторавых параметраў лазернага выпраменьвання.

Атрыманыя вынікі і іх навізна. Было ўстаноўлена, што ў рэзанатары кампактных лазерных сістэм з падоўжнай дыёднай напампоўкай на аснове крышталяў $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}/\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$ рэалізуюцца ўмовы для ВКР-пераўтварэння выпраменьвання. Упершыню прапанавана і рэалізавана схема звязаных рэзанатараў для паасобнага кіравання параметрамі якасці рэзанатараў лазера і ВКР-лазера. Паказана, што за кошт прымянення звязаных рэзанатараў магчыма гнуткае кіраванне працягласцю імпульсаў выхаднога стоксава выпраменьвання шляхам змены даўжыні рэзанатара для стоксавага выпраменьвання, у тым ліку ажыццяўленне рэжыму кампрэсіі. Выяўленыя ўмовы, у якіх ВКР-генерацыя другой стоксавай кампаненты ажыццяўляецца па параметрычным механізме. З дапамогай ўнутрырэзанатарнага ВКР-пераўтварэння выпраменьвання кампактнага лазера з падоўжнай дыёднай напампоўкай ў розных камбінацыйна-актыўных крышталях рэалізаваная генерацыя выпраменьвання на даўжынях хваль 1,18, 1,2, 1,24, 1,324, 1,37 мкм, а таксама ў умоўна бяспечным для вачэй дыяпазоне на даўжынях хваль 1,5 і 1,6 мкм з энергіяй імпульсаў ад 5 да 20 мкДж і працягласцю ад 0,1 да 4,0 нс.

Вобласць прымянення. Атрыманыя вынікі могуць быць выкарыстаны для пашырэння спектральнага дыяпазону выпраменьвання кампактных лазераў з падоўжнай дыёднай напампоўкай ў бяспечную для вачэй вобласць, а таксама скарачэння працягласці і павелічэння пікавай магутнасці выпраменьвання.

RESUME

Shpak Pavel Valer'evich

Intracavity SRS-conversion of longitudinally diode-pumped mini-lasers radiation

Key words: solid state lasers, diode pumping, nonlinear conversion, stimulated Raman scattering, four wave parametric process, pulse duration compression, pulse energy, eye-safe radiation.

Thesis is devoted to the study of the stimulated Raman scattering process inside the cavity of compact longitudinally diode-pumped laser systems.

The aim of the thesis was to establish the conditions and peculiarities for laser generation and stimulated Raman scattering inside the cavity of compact longitudinally diode-pumped laser systems.

Research methods. Methods that were used in the thesis include spectroscopy, nonlinear transmission, methods of characterizing temporal, spatial and energy parameters of the laser radiation.

Novelty of the results obtained. It has been shown that conditions for Raman conversion are realized inside the cavity of compact lasers, based on $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}/\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$ crystals. The scheme of coupled cavities is proposed and implemented for the first time for separate control of quality factor for Raman and laser cavities. It was shown that coupled cavities allow for flexible management control of pulse duration of Stokes radiation by changing the length of the cavity for Stokes radiation, including the implementation of the compression mode. The conditions in which the second Stokes component of SRS generation is carried out by the parametric mechanism have been found. Laser radiation at the wavelengths of 1.18, 1.2, 1.24, 1.324, 1.37 microns and in the eye-safe region of 1.5-1.6 microns have been obtained with an intracavity Raman conversion of compact longitudinally diode-pumped lasers in various crystals, with a pulse energy of 5 to 20 μJ and a duration of 0.1 to 4.0 ns.

Application field. The result obtained can be used to enhance spectral emission range of compact longitudinally diode-pumped lasers radiation into eye-safe region, as well as reducing the pulse duration and increasing the peak power.

ШПАК

Павел Валерьевич

**ВНУТРИРЕЗОНАТОРНОЕ ВКР–ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ
МИНИ–ЛАЗЕРОВ С ПРОДОЛЬНОЙ ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ**

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико–математических наук
по специальности 01.04.21 – лазерная физика**

Подписано к печати «16» августа 2017 г. Формат 60×90/16

Бумага - офисная. Печать: ризография.

Объем: 1,5 усл. печ. л.; 1,3 уч.–изд. л.

Тираж 70 экз. Заказ № 13

Государственное научное учреждение «Институт физики
имени Б.И. Степанова Национальной Академии Наук Беларуси»,
220072, Минск, пр. Независимости, 68.

Отпечатано на ризографе Института физики НАН Беларуси