

О т з ы в

официального оппонента доктора физико-математических наук Венедиктова Владимира Юрьевича на диссертационную работу Антипова Олега Леонидовича **“Высокоэффективные твердотельные лазеры с нелинейно-оптическим управлением и преобразованием параметров излучения”**, представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика

Создание высокоэффективных и мощных лазеров с высоким качеством пучка излучения является одной из важнейших задач современной лазерной физики. Такие лазеры имеют большое число приложений в различных областях: высокотехнологичном производстве, медицине, связи, создании военной и специальной техники и других. Дальнейшее расширение сферы применения лазеров требует освоения новых спектральных диапазонов, а также улучшения пространственно-временных характеристик пучков мощного лазерного излучения. В связи с этим тема диссертационной работы О.Л. Антипова, посвящённой исследованиям методов создания высокоэффективных мощных твердотельных лазеров на основе использования нелинейно-оптических эффектов, является, без сомнения, **актуальной**.

Использование активных сред на основе кристаллов, стёкол или керамики высокого оптического качества с интенсивной накачкой лазерными диодами приводит к уменьшению, а зачастую, и к минимизации тепловых искажений активной среды. При этом более заметными становятся иные эффекты (в частности, изменения показателя преломления из-за различия поляризуемости энергетических уровней ионов активатора), которые приводят к искажениям лазерных пучков в активной среде при интенсивной накачке. Изучение этих эффектов и определение величины их параметров, которые было выполнено в работах О.Л.Антипова с использованием методов интерферометрии, спектроскопии и нелинейной оптики, является **новым научным направлением** в лазерной физике. Это направление включает также использование динамических решёток, возникающих в нелинейной среде в интерференционном поле пересекающихся лазерных пучков, для управления пространственно-временными параметрами мощного лазерного излучения. Динамические решётки, участвующие в формировании резонаторов лазеров, позволили, в частности, получить генерацию излучения со средней мощностью более 250 Вт в пучках высокого качества в условиях сильных аберраций в активной среде. Другим применением оптически-управляемых изменений показателя преломления стало когерентное

сложение пучков излучения, реализованное в системе волоконно-лазерных усилителей.

Практическая значимость представленных в диссертации результатов и выводов связана также с разработкой методов создания твердотельных лазеров на основе кристаллов и керамики с диодной или волоконно-лазерной накачкой в диапазоне длин волн 1-2,1 микрометра и нелинейно-оптическим параметрическим преобразованием в средний инфракрасный (ИК) диапазон длин волн.

По своей структуре диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы.

Во введении обоснована актуальность темы работы, сформулированы цели и задачи исследования, отмечена научная новизна и практическая значимость работы. Здесь приведены также основные положения, выносимые на защиту; сведения об апробации работы, личном вкладе автора, структуре и объеме диссертации.

Первая глава диссертации посвящена исследованиям механизмов изменения показателя преломления лазерных кристаллов и стёкол при их накачке. Основное внимание уделено исследованиям электронной компоненты изменений показателя преломления, обусловленной различием поляризуемости возбуждённых и невозбуждённых ионов активатора. Исследования этих изменений показателя преломления в ряде лазерных кристаллов и стёкол, активированных ионами Nd^{3+} и Yb^{3+} , проведено с использованием различных экспериментальных методов: поляризационной интерферометрии, тестирования динамических решёток, дифференциальной спектроскопии.

Вторая глава посвящена теоретическим и экспериментальным исследованиям параметрической генерации и обращения волнового фронта (ОВФ) световых волн при четырёхволновом взаимодействии (ЧВВ) в нелинейных средах с обратной связью. Нематические жидкие кристаллы (НЖК) и лазерные кристаллы использовались в качестве нелинейных сред для экспериментальных исследований. Эти исследования направлены на разработку ОВФ-зеркал для мощных лазерных пучков.

Третья глава посвящена исследованиям твердотельных лазеров с динамическим резонатором, в формировании которых участвуют динамические решётки, возбуждаемые в активной самими волнами генерации (без влияния внешнего сигнала). В теоретических разделах этой главы рассмотрены условия генерации в таких лазерах, а также приведено описание отличительных особенностей пространственно-временных параметров их излучения. Экспериментальные исследования направлены на

создание мощных твердотельных лазеров (со средней мощностью в несколько сотен Ватт) с высоким качеством пучка излучения и узким частотным спектром. В качестве нелинейных сред были использованы как НЖК, так и лазерные кристаллы.

Четвёртая глава посвящена экспериментальным и теоретическим исследованиям электронных изменений показателя преломления в иттербиевых волоконно-лазерных усилителях, возможностей их использования для когерентного сложения пучков многоканальных лазерных систем, а также поперечной пространственной неустойчивости основной моды маломодовых волоконных усилителей. Общим эффектом, объединяющим эти направления исследований, является изменение показателя преломления сердцевины лазерных волокон из-за различия поляризуемости уровней ионов активатора Yb^{3+} , которые ранее были рассмотрены в главе 1 для объёмных лазерных сред. Приведены результаты измерений этих изменений показателя преломления с использованием волоконных интерферометров. В следующем разделе представлены результаты исследований когерентного сложения пучков в двухканальной волоконно-лазерной системе за счёт оптически-управляемых изменений показателя преломления. В последней части этой главы приведены результаты исследований поперечной модовой неустойчивости с малым порогом возникновения в маломодовых иттербиевых волоконных усилителях.

Пятая глава диссертации посвящена экспериментальным исследованиям твердотельных лазеров с нелинейно-оптическим (параметрическим) преобразованием излучения в средний ИК диапазон. Приведены результаты исследований лазеров на кристаллах Nd:YVO_4 , Tm:YLF , Ho:YAG и керамике $\text{Tm:Lu}_2\text{O}_3$ с диодно-лазерной и волоконно-лазерной накачкой. Значительное место в этой главе уделено исследованию керамики $\text{Tm:Lu}_2\text{O}_3$ и лазеров на её основе. Рассмотрены также гибридные лазерные системы, использующих усиление в керамике для пучков излучения волоконных лазеров. Приведены также результаты исследований параметрических генераторов, преобразующих излучением указанных твердотельных лазеров в средний ИК диапазон длин волн. В заключительном параграфе этой главы приводятся также результаты применения твердотельных лазеров на керамике $\text{Tm:Lu}_2\text{O}_3$ для хирургии мягких биотканей и дробления почечных камней.

В заключении приведены основные результаты диссертации. **Список цитируемой литературы** включает 353 работы. Среди этих работ курсивом выделены публикации самого автора диссертации (74 работы в

рецензируемых зарубежных и российских журналах и изданиях, входящих в перечень ВАК).

Достоверность и обоснованность сформулированных в диссертации основных положений, выводов и рекомендаций обеспечивается высоким уровнем экспериментальной техники и методик измерений; сопоставлением результатов, полученных различными методами измерений и в различных условиях; проведением теоретических и численных исследований, моделирующих эксперименты; сравнением полученных результатов измерений с данными других научных групп.

Текст диссертации хорошо структурирован и грамотно изложен. Встречаются отдельные опечатки, но их число не является критическим. Оценивая диссертационную работу О.Л. Антипова очень положительно, хочу, тем не менее, сделать несколько замечаний.

1. Защищаемые положения №2 и №4 (они логически взаимосвязаны; и, в принципе, на наш взгляд, их можно было бы объединить в одно) представляются сформулированными слишком широко. Бесспорен огромный вклад соискателя в развитие научных представлений о нелинейно-оптическом взаимодействии световых волн в лазерной среде и в иной нелинейной среде в резонаторе, и, соответственно, его бесспорное право использовать этот результат в диссертации на соискание степени доктора наук, но все же следовало бы сформулировать эти положения несколько конкретнее, отвязавшись, например, от широко известных работ группы В.Е.Шерстобитова (ГОИ) по аналогичным процессам в среде мощных лазеров на углекислом газе и работ ряда других авторов.

2. Нам представляется, что автор слишком вольно пользуется некоторыми общеупотребительными терминами, например, термином «параметрическая генерация», говоря, скажем, о генерации за счет совместного вынужденного рассеяния (см, например, п.3 на стр.11). Разумеется, здесь речь идет о параметрическом процессе, имеющим глубинное родство с рядом иных сходных параметрических процессов, но все же термин «параметрическая генерация» в сознании научного сообщества «зарезервирован» за параметрической генерацией в нелинейно-оптических кристаллах. Еще пример. На стр.12, в п.8 того же раздела «Научная новизна» автор использует термин «перестройка частоты» (под которой обычно понимают плавную перестройку в пределах линии усиления) применительно к случаю переключения генерации с одной лазерной длины волны на другую.

3. В работе встречаются отдельные опечатки. Например, на стр. 10: написано “разрешения ... камней” вместо “разрушения ... камней”; на стр.17: «часть работ... выполнено». На стр.163 под рисунком сказано: «расчеты

одномодовой модели», хотя рассчитывать можно только в рамках модели, а не ее саму.

Высказанные замечания не умаляют достоинств и не снижают высокой оценки диссертации. Можно отметить, что она выполнена на самом высоком научном уровне и представляет собой законченное научное исследование. В тоже время, результаты работы открывают возможности для новых исследований.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Все основные результаты работы опубликованы в отечественной и зарубежной печати, докладывались на крупных научных конференциях за рубежом и в России. Результаты работ Антипова О.Л. хорошо известны специалистам в области лазерной физики. Результаты этой диссертационной работы могут быть использованы в учреждениях Российской академии наук, университетах и других организациях, исследующих, разрабатывающих и использующих твердотельные лазеры.

Диссертация О.Л. Антипова соответствует всем требованиям, предъявляемым ВАК Российской Федерации к докторским диссертациям. Автор диссертации, О.Л. Антипов, без сомнения, заслуживает присуждения ему искомой ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика.

Главный научный сотрудник кафедры
Лазерных измерительных и
навигационных систем (ЛИНС),
доктор физико-математических наук по
специальности 01.04.05 - оптика, доцент

Венедиктов
Владимир Юрьевич

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»,
197376, г. Санкт-Петербург, улица Профессора Попова, дом 5.

Тел +7 (921)9421846

vlad.venediktov@mail.ru

