

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Мухина Ивана Борисовича

«Оптимизация и применение иттербиевых лазеров для формирования фемтосекундного излучения с высокой пиковой и средней мощностью»,

представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.19 – лазерная физика.

В диссертационной работе Мухина И.Б. исследуются возможности увеличения средней и пиковой мощности иттербиевых лазеров и их применение для генерации и усиления фемтосекундного излучения. Благодаря относительно широкой полосе усиления и малому дефекту кванта, иттербиевые лазеры демонстрируют рекордные средние мощности излучения и имеют перспективы дальнейшего ее повышения. Безусловно, применение этих преимуществ в физике фемтосекундных лазеров является важной и актуальной задачей.

Структурно диссертация Мухина И.Б. состоит из введения, 4-х глав, заключения и списка литературы.

Во введении выполнен обзор литературы по теме диссертации, акцентируются основные нерешенные проблемы, сформулированы цели и задачи, которые решались при выполнении работы. Обоснована актуальность работы и научная новизна полученных результатов, представлена их научная и практическая значимость. Сформулированы выносимые на защиту положения.

В первой главе описаны основные особенности и характеристики иттербиевых сред, приводятся новые методы их исследования. В частности, детально исследованы основные источники тепловыделения в активных элементах иттербиевых лазеров. Также представлены результаты комплексного исследования оптических и лазерных свойств иттербиевой лазерной керамики (в том числе, отечественной) и продемонстрирована возможность ее использования для создания лазеров с высокой средней мощностью излучения. Результаты первой главы регулярно применялись

при исследовании основных характеристик лазерных сред при выполнении исследований, описанных во 2-й и 3-й главах.

Вторая глава посвящена исследованиям оптимизации геометрии активных элементов с целью повышения мощности усиливаемого излучения. Представлены результаты разработки и исследований тонкостержневых активных элементов, в том числе и изготовленных из лазерной керамики. Продемонстрировано усиление сигнала волоконных фемтосекундных лазеров в таких тонкостержневых элементах с сохранением спектрально ограниченной длительности импульса в пределах 500 фс. Дальнейшее увеличение энергии в импульсе реализовано в дисковых квантронах. Для оптимизации геометрии активного элемента дискового усилителя разработана технология термодиффузионной сварки композитных дисковых активных элементов. Показано, что в таких активных элементах возможно полное подавление параболической составляющей тепловой линзы.

В третьей главе приводятся результаты создания криогенных дисковых усилителей наносекундных импульсов с высокой средней и пиковой мощностью. Показано, что охлаждение активных элементов приводит к значительному улучшению их термооптических и лазерных характеристик, но это улучшение сильно зависит от уровня примесей в кристалле Yb:YAG. На основе дисковой геометрии активных элементов из Yb:YAG создан криогенный дисковый усилитель с энергией на выходе более 100 мДж и частотой повторения импульсов до 500 Гц. С применением аналогичных активных элементов из поликристаллической керамики Yb:YAG энергия в импульсе была увеличена до 240 мДж с сохранением средней мощности излучения. Представлены результаты усиления в керамике Yb:Y₂O₃ и показано, что в этом материале при криогенных температурах спектрально ограниченная длительность усиленных импульсов может составлять ~ 1 пс.

Четвертая глава посвящена применению иттербиевых лазеров для формирования и усиления фемтосекундных импульсов. Представлены экспериментальные результаты нелинейного уширения и самокомпрессии (за счет отрицательной дисперсии групповой задержки) в кристалле KDP суб-пикосекундных импульсов иттербиевого лазера. С помощью генерации суперконтинуума и нелинейных параметрических преобразований

продемонстрирована возможность формирования фемтосекундных импульсов длительностью в несколько осцилляций поля с перестройкой центральной длины волны в широком спектральном диапазоне (от 600 до 2400 нм). Также описан новый подход для управления спектрально-временным профилем узкополосных чирпированных лазерных импульсов. С применением этих исследований создана новая стартовая системы лазерного комплекса ПВТ уровня PEARL, предложен дизайн стартовой системы для мега-сайенс проекта XCELS.

В заключении представлены основные научные результаты выполненных исследований, среди которых можно выделить следующие:

1. Разработаны методы диагностики лазерных (времени жизни и сечения усиления) и термооптических (теплопроводности, нелинейного тепловыделения) свойств иттербиевых активных сред.
2. Продемонстрирована высокоэффективная лазерная генерация с дифференциальным оптическим КПД более 35% в тонкодисковых активных элементах из Yb:YAG и Yb:(La)Y₂O₃ керамики.
3. Показано, что изготовление тонкостержневых активных элементов из объемной заготовки без применения метода микровытягивания обеспечивает усиление лазерных импульсов более 11 раз за один проход в монокристаллической среде Yb:YAG при непрерывной накачке излучения, изготовлены и исследованы тонкостержневые активные элементы из поликристаллических (керамических) иттербиевых лазерных сред.
4. Исследовано усиление широкополосных импульсов в Yb:Y₂O₃ керамике и продемонстрирована полоса усиления, соответствующая спектрально ограниченной длительности не более 500 фс при комнатной температуре активного элемента и не более 900 фс при криогенных температурах с охлаждением жидким азотом.
5. Разработана технология термодиффузионной сварки композитных дисковых активных элементов, в том числе из разнородных материалов Yb:YAG/Sa. Продемонстрировано высокое оптическое качество контакта и его механическая стойкость к тепловым нагрузкам.
6. Экспериментально и теоретически показано, что композитная геометрия дискового активного элемента с его монтажом на

профилированный радиатор позволяет увеличивать плотность запасенной энергии и уменьшать термонаведенные фазовые искажения при непрерывной накачке.

7. Применение криогенного охлаждения в иттербиевом дисковом лазере позволило значительно поднять частоту повторения лазерных импульсов с сохранением высокой энергии в импульсе. При использовании кристаллических дисковых активных элементов Yb:YAG достигнуто 150 мДж и суб-кГц частота повторения наносекундных импульсов, а при использовании аналогичных керамических – до 240 мДж при 200 Гц частоте повторения.

8. Экспериментально продемонстрирована возможность нелинейной самокомпрессии 250 фс импульсов иттербиевого лазера в кристалле KDP до длительности менее 100 фс без уменьшения пиковой мощности излучения

9. На основе нелинейных взаимодействий разработан преобразователь суб-пс импульсов иттербиевых лазеров в фемтосекундные импульсы длительностью 20-40 фс с перестраиваемой центральной длиной волны в диапазоне от 650 до 2400 нм.

10. Оптимизирован способ управления спектрально-временным профилем chirпированного лазерного импульса за счет применения объемной chirпирующей брэгговской решетки. Продемонстрировано временное профилирование импульса со спектральным разрешением не хуже 0.16 нм и временным разрешением не хуже 0.15 нс.

11. Разработана 30-ти фемтосекундная система 2 мкм спектрального диапазона с энергией в импульсе 25 мкДж. Для дальнейшего усиления импульсов разработана и реализована дисперсионная система с параметрическим усилением в фурье-плоскости, а также оптически синхронизованный иттербиевый лазер накачки 100 мДж уровня энергии.

12. Разработана новая стартовая система для лазерного комплекса PEARL, обеспечивающая оптическую синхронизацию 20-ти фемтосекундного сигнала и накачки, а также управление временным профилем импульса накачки. На основе выполненных исследований разработан дизайн стартовой системы для мегасайенс установки XCELS.

Полученные результаты являются оригинальными, обладают несомненной научной новизной и вносят значительный вклад в развитие физики фемтосекундных лазеров. Достоверность результатов подтверждается хорошим соответствием теоретических и экспериментальных результатов, представленные в диссертации результаты органично вписываются в картину современных исследований в лазерной физике. Автор диссертации внес решающий вклад во все выносимые на защиту положения и результаты.

Замечания по работе

1. В положениях, выносимых на защиту и в основных результатах работы (п.3), приведено численное значение экспериментально измеренного коэффициента усиления (КУ) активного элемента (АЭ) в тонкостержневой геометрии. Однако не приведены технические параметры АЭ (длина, диаметр, концентрация ионов Yb) без чего приведенное значение КУ (в 11 раз) в режиме усиления слабого сигнала не корректно.

2. Текст диссертации носит описательный характер, что, по-видимому, связано с формой представления работы в виде научного доклада, и в основном экспериментальных результатов. При этом отсутствуют сведения о проведенных теоретических расчетах параметров лазеров и усилителей (используемых методах, приближениях, кодах), что не позволяет сделать выводы об обоснованности полученных графических зависимостей (см., например, рис.13).

3. Имеются замечания по оформлению иллюстраций, в частности, ряд рисунков имеют англоязычные надписи.

Отмеченные недостатки не влияют существенным образом на выводы диссертации и не снижают научной ценности и практической значимости представленной диссертационной работы.


Заключение

Тема диссертации соответствует специальности 1.3.19 «Лазерная физика». Основные результаты диссертации опубликованы в 31 статье за последние 10 лет в высокорейтинговых рецензируемых журналах первого

(Q1) и второго (Q2) квартилей, индексируемых международными базами данных Scopus и/или Web of Science, а также доложены на различных международных конференциях.

Диссертационная работа Мухина Ивана Борисовича соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к докторским диссертациям, защищаемым в виде научного доклада, а ее автор за совокупность полученных результатов и разработку иттербиевых лазеров для формирования фемтосекундного излучения с высокой пиковой и средней мощностью, которые могут быть квалифицированы как научное достижение, заслуживает присуждения ему степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.19 – лазерная физика.

Официальный оппонент
Директор института лазерных и плазменных
технологий НИЯУ МИФИ,
д. ф.-м. н., доцент



А.П. Кузнецов

115409, г. Москва, Каширское ш., 31.
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
тел. +7 (495) 788 56 99, доб. 93 688,
E-mail: APKuznetsov@mephi.ru,
Кузнецов Андрей Петрович.

Подпись удостоверяю
Заместитель начальника отдела
документационного обеспечения
НИЯУ МИФИ

В. М. Самородов

