

УТВЕРЖДАЮ:
Директор ИАиЭ СО РАН
Академик РАН
Шалагин Анатолий Михайлович
«30» марта 2017 г.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института автоматизации и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук (ИАиЭ СО РАН)

Диссертация "Новый метод модуляции добротности резонатора с одновременной синхронизацией мод в диодно-накачиваемом Nd: YAG-лазере" выполнена в тематической группе мощных ионных лазеров ИАиЭ СО РАН.

В период подготовки диссертации соискатель Грибанов Алексей Валерьевич работал в ИАиЭ СО РАН в должности инженера-программиста.

В 2008 г. окончил Новосибирский государственный технический университет по специальности "лазерные системы в ракетной технике и космонавтике".

Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано в 2017 г. ИАиЭ СО РАН.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук Донин Валерий Ильич, руководитель тематической группы мощных ионных лазеров ИАиЭ СО РАН.

Диссертация "Новый метод модуляции добротности резонатора с одновременной синхронизацией мод в диодно-накачиваемом Nd: YAG-лазере" была рассмотрена на межлабораторном семинаре Учебно-научного центра "Квантовая оптика" ИАиЭ СО РАН 28 апреля 2016 года.

На семинаре присутствовали:

Шалагин Анатолий Михайлович, акад. РАН, ИАиЭ СО РАН

Шапиро Давид Абрамович, д.ф.-м.н., ИАиЭ СО РАН

Бабин Сергей Алексеевич, чл.-корр. РАН, ИАиЭ СО РАН

Плеханов Александр Иванович, д.ф.-м.н., ИАиЭ СО РАН

Ильичев Леонид Вениаминович, д.ф.-м.н., ИАиЭ СО РАН

Донин Валерий Ильич, д.ф.-м.н., ИАиЭ СО РАН

Скворцов Михаил Николаевич, д.ф.-м.н., ИЛФ СО РАН

Кучьянов Александр Сергеевич, к.ф.-м.н., ИАиЭ СО РАН

Микерин Сергей Львович, к.ф.-м.н., ИАиЭ СО РАН

Каблуков Сергей Иванович, д.ф.-м.н., ИАиЭ СО РАН

Соболев Виктор Сергеевич, д.т.н., ИАиЭ СО РАН

Стурман Борис Ицхакович, д.ф.-м.н., ИАиЭ СО РАН

Фруммин Леонид Лазаревич, д.ф.-м.н., ИАиЭ СО РАН

Белай Олег Владимирович, к.ф.-м.н., ИАиЭ СО РАН

Злобина Екатерина Алексеевна, к.ф.-м.н., ИАиЭ СО РАН

Яковин Дмитрий Васильевич, ИАиЭ СО РАН

Яковин Михаил Дмитриевич, ИАиЭ СО РАН

По результатам рассмотрения диссертации принято следующее заключение:

Актуальность работы.

Одной из важнейших задач лазерной физики является генерация лазерного излучения в виде импульсов предельно малой длительности, обладающих высокой пиковой мощностью. В тоже время, твердотельные лазеры с непрерывной диодной накачкой являются надежными (срок службы более 10000 часов) и эффективными (КПД более 10%) источниками излучения, и получение высокой пиковой мощности видимого излучения таких лазеров является актуальной задачей для целого ряда областей научного и прикладного характера – точная абляционная обработка

материалов, получение экстремально короткого УФ излучения на многозарядных ионах и на этой основе экстремально коротких импульсов, нелинейная оптика, спектроскопия комбинационного рассеяния, медицина и т.д. Ультракороткие импульсы (УКИ) могут использоваться для реструктуризации металлических или диэлектрических поверхностей, в зависимости от плотности энергии излучения на поверхности могут быть сформированы различные рельефы. УКИ применяются для исследования быстропротекающих процессов (методика “pump-probe” или “накачка-зондирование”). Благодаря высокой мощности и интенсивности излучения в виде ультракоротких импульсов значительно повышается эффективность нелинейных преобразований, позволяя получать излучение на других длинах волн, что значительно расширяет применение конкретного лазерного источника.

Применение метода модуляции добротности резонатора лазера позволяет увеличивать пиковую мощность лазера приблизительно в τ_{sp} / τ_c раз (где τ_{sp} – время жизни верхнего рабочего уровня, τ_c – время жизни фотона в резонаторе). Это отношение для типичного Nd:YAG-лазера составляет 10^3 - 10^4 . Дальнейшее увеличение пиковой мощности можно осуществлять методами синхронизации мод лазера. Устойчивый режим генерации с модуляцией добротности и синхронизацией мод (QML) обычно реализуется с помощью двух акустооптических модуляторов в резонаторе. Один модулятор работает в режиме бегущей акустической волны и обеспечивает модуляцию добротности резонатора, другой работает в режиме стоячей волны и осуществляет режим синхронизации мод. Существенными недостатками модуляторов со стоячей звуковой волной являются необходимость тщательной ($\sim 0,05$ °C) термостабилизации и малая ширина полосы синхронизации мод. Кроме того, использование двух модуляторов может быть сопряжено с некоторыми техническими трудностями [Kuizenga D. J. IEEE Journal of Quantum Electronics. – 1981. – V. 17. – №. 9. – P. 1694-1708]. Режим QML может быть получен с использованием насыщающихся

поглотителей в резонаторе, однако при этом частота следования импульсов зависит от интенсивности накачки, а достигаемые пиковые мощности оказываются сравнительно низкими. Также режим QML может быть получен с помощью комбинации активного модулятора и насыщающегося поглотителя (или другого пассивного метода синхронизации мод).

Основной целью диссертационной работы Грибанова А.В. являлась экспериментальная проверка разработанного нового метода, позволяющего при помощи одного акустооптического модулятора (АОМ) бегущей ультразвуковой волны в сочетании со сферическим зеркалом (СЗ) резонатора получать модуляцию добротности резонатора с одновременной синхронизацией мод в твердотельных лазерах (метод СЗАОМ). Для достижения поставленной цели были сформулированы и решены следующие задачи: получение с помощью метода СЗАОМ режима с одновременной синхронизацией мод и модуляцией добротности резонатора в Nd:YAG-лазере, расчет и настройка резонатора данного лазера с учетом формирования в нем керровской линзы и измерение полученных характеристик выходного излучения включая измерение длительности импульсов с помощью стрик-камеры Агат-СФЗМ.

Личное участие соискателя.

В ходе выполнения работ основные эксперименты проведены А.В. Грибановым. Он принимал активное участие в постановке задач, теоретическом анализе, обсуждении результатов и подготовке статей. При выполнении диссертационной работы А.В. Грибанов проявил себя высококвалифицированным научным работником, способным самостоятельно решать сложные задачи и проводить исследования на высоком научном уровне.

Новизна.

В диссертации получены следующие новые научные результаты:

1. На примере диодно-накачиваемого Nd:YAG-лазера произведено исследование нового метода СЗАОМ, который при помощи одного АОМа с бегущей звуковой волной позволяет одновременно осуществлять модуляцию добротности резонатора и синхронизацию мод излучения.
2. Прямые измерения длительности импульса диодно-накачиваемого Nd:YAG-лазера, в котором модуляция добротности и синхронизация мод осуществлена методом СЗАОМ, показали немоноимпульсность пикосекундных импульсов (появление дополнительных импульсов на аксиальном периоде). Число таких импульсов увеличивается с отстройкой частоты межмодовых биений продольных мод от удвоенной частоты бегущей звуковой волны модулятора, при этом длительность отдельных импульсов остается постоянной (~ 45 пс); при точной настройке длины резонатора наблюдается практически моноимпульсный режим.
3. Экспериментально показано, что в диодно-накачиваемом Nd:YAG-лазере с синхронизацией мод методом СЗАОМ в случае непрерывной синхронизации мод (т. е. при непрерывной подаче звукового сигнала на АОМ) и точной настройке длины резонатора или частоты межмодовых биений продольных мод на удвоенную частоту бегущей звуковой волны модулятора "самопроизвольно" возникает режим QML, при котором частота следования цуга импульсов задается частотой релаксационных колебаний лазерного поля, а внутри цуга содержатся одиночные пикосекундные импульсы (режим "авто- QML").

Степень достоверности результатов.

Все полученные результаты не противоречат известным научным положениям, экспериментальным и теоретическим результатам других работ.

Все экспериментальные результаты получены с применением современных методов исследования, а измерения проведены с помощью точных калиброванных приборов. Научные положения и выводы, сформулированные в диссертации, обоснованы полученными в работе экспериментальными и теоретическими результатами.

Практическая значимость.

Результаты диссертации, несомненно, имеют практическую значимость. В диссертационной работе рассмотрен новый метод осуществления модуляции добротности резонатора с одновременной синхронизацией мод в твердотельных лазерах. С использованием данного метода создана оригинальная конструкция Nd:YAG-лазера, которая обеспечивает компактность, простоту и сравнительно низкую цену изготовления устройства. Предлагаемый лазер обладает высокой кратковременной и долговременной стабильностью выходных характеристик без использования схем автоподстройки и позволяет получать пиковые мощности ~ 50 МВт при средних выходных мощностях около $1 \div 2$ Вт и частотах повторения Q-switch импульсов $1 \div 2$ кГц.

Соответствие специальности.

По тематике, методам исследования, предложенным новым научным положениям диссертация соответствует паспорту специальности научных работников 01.04.05 - «Оптика» в части физико-математических наук.

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем.

Результаты работы докладывались автором на следующих конференциях: Вторая международная научно-практическая конференция «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности» (07-09 февраля 2006, Санкт-Петербург); 9-ый Российско-

Китайский симпозиум по лазерной физике и лазерным технологиям (26-31 октября 2008, Томск); Молодежная школа-конференция с международным участием «Лазеры и лазерные технологии», посвященная 50-летию первого в мире лазера (22-27 ноября 2010, Томск); IV всероссийская конференция «Взаимодействие высококонцентрированных потоков энергии с материалами в перспективных технологиях и медицине» (22-25 марта 2011, Новосибирск)

Результаты диссертационной работы достаточно подробно и в полном объеме отражены в пяти опубликованных печатных работах в российских и зарубежных рецензируемых научных журналах, определенных Высшей аттестационной комиссией:

1. Донин В. И., Яковин Д. В., Грибанов А. В. Титан-сапфировый лазер с импульсной накачкой второй гармоникой излучения диодно-накачиваемого Nd: YAG-лазера для двухфотонной спектроскопии // Квантовая электроника. – 2009. – Т. 39. – №. 3. – С. 244-246.
2. Донин В. И., Яковин Д. В., Грибанов А. В. Модуляция добротности и синхронизация мод в диодно-накачиваемом Nd: YAG-лазере с удвоением частоты // Квантовая электроника. – 2012. – Т. 42. – №. 2. – С. 107-110.
3. Donin V. I., Yakovin D. V., Gribanov A. V. Diode-pumped green Nd: YAG laser with Q-switch and mode locking // Optics letters. – 2012. – V. 37. – №. 3. – P. 338-340.
4. Донин В. И., Яковин Д. В., Грибанов А. В. Самоорганизация режима Q-switch с одновременной синхронизацией мод в диодно-накачиваемом Nd: YAG-лазере // Письма в ЖЭТФ. – 2015. – Т. 101. – №. 12. – С. 881-884.
5. Донин В. И., Яковин Д. В., Грибанов А. В. Структура пикосекундных импульсов генерации в диодно-накачиваемом Nd: YAG-лазере с модуляцией добротности и синхронизацией мод // Квантовая электроника. – 2015. – Т. 45. – №. 12. – С. 1117-1120.

Оригинальность разработанных соискателем решений подтверждается также патентом на изобретение:

6. Донин В. И., Яковин Д. В., Грибанов А. В. Лазер с модуляцией добротности резонатора и синхронизацией мод. Патент РФ № 2478242. // Бюл. № 9, 27.03.2013.

Диссертация "Новый метод модуляции добротности резонатора с одновременной синхронизацией мод в диодно-накачиваемом Nd: YAG-лазере" Грибанова Алексея Валерьевича рекомендуется к защите на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 "Оптика"

Председатель семинара
академик РАН



Шалагин А. М.