

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Сафроновой Елены Сергеевны «Твердотельные квантроны с диодной накачкой ближнего ИК-диапазона, работающие в широком температурном диапазоне без активной системы термостабилизации», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 - «Лазерная физика»

Наносекундные твердотельные лазеры ближнего инфракрасного ИК-диапазона с лазерной диодной накачкой находят все больше применений в устройствах различного назначения. Существующие квантроны имеют жидкостное охлаждение кристалла и матриц. Устройства, работающие в режиме одиночных выстрелов или с определенной частотой повторения в течение непродолжительного времени, за которое не успевает происходить перегрев, позволяют избежать применения жидкостного охлаждения.

Специфика использования лазерных генераторов во внелабораторных условиях накладывает требование на работоспособность излучающих систем в широком температурном диапазоне порядка 100 °С. А условие ограниченного электропотребления исключают возможность активной термостабилизации.

На сегодняшний момент не существует квантронов с диодной накачкой, работающих в диапазоне от -50 до +50 °С без активной системы термостабилизации, работающих в режиме мгновенной готовности.

Комплексное математическое моделирование, включающее в себя расчеты по распределению инверсной населенности в активной среде, термодинамический расчет, а также поиск оптимальных параметров резонатора являются необходимыми инструментами, повышающими качество разработки квантронов.

Таким образом, создание комплексной математической модели и последующая разработка высокоэффективных твердотельных квантронов с полупроводниковой накачкой нового поколения, расширение их функциональных возможностей, достижение их работоспособности в широком температурном диапазоне от -50 до +50 °С без активной системы термостабилизации и жидкостного охлаждения, является актуальной задачей.

Диссертационная работа Сафроновой Е.С. состоит из введения, пяти глав, заключения, благодарностей, списка публикаций и списка цитируемой

литературы из 131 источника. Материал изложен на 114 страницах, содержит 73 иллюстрации и 6 таблиц.

Научная новизна и наиболее важные результаты, полученные автором и приведенные в диссертационной работе, заключается в следующем.

Первое. Созданная модель математического моделирования твердотельных лазеров с диодной накачкой, отличающаяся использованием множителей Лагранжа для нахождения условного экстремума решений трансцендентных уравнений, описывающих процессы генерации, позволяет оптимизировать параметры резонаторов с пассивной модуляцией добротности, выбирать эффективную геометрию накачки активного элемента, осуществлять термодинамический расчет.

Второе. Впервые выполнены экспериментальные исследования спектральных и энергетических параметров ЛДР СЛМ-3 в температурном диапазоне $\Delta T > 100$ °С. Установлено, что измеренное смещение длины волны излучения лазерных диодов в рассмотренном температурном диапазоне составляет 0,28 нм/°С. При этом ширина и форма спектра излучения остаются неизменными, а эффективность ЛДР падает с ростом температуры.

Третье. Реализованная схема поперечной накачки решетками лазерных диодов, расположенных с пяти сторон вокруг кристалла Nd³⁺:YAG диаметром 5 мм и сфокусированных одной цилиндрической лейкосапфировой линзой диаметром 20 мм, формирует устойчивый параболический профиль инверсной населенности при изменении температуры от – 50 до + 50 °С, что обеспечивает работоспособность Nd³⁺:YAG лазера с пассивной модуляцией добротности в указанном температурном диапазоне без активной термостабилизации.

Четвертое. Реализованная схема поперечной накачки решетками лазерных диодов, расположенных с пяти сторон вокруг кристалла Nd³⁺:YAG диаметром 5 мм и сфокусированных одной цилиндрической лейкосапфировой линзой диаметром 50 мм, обеспечивает однородность пространственного распределения инверсной населенности более 90 % в поперечном сечении лазерного кристалла, что позволяет усиливать лазерные импульсы без искажения профиля пучка.

Пятое. Реализованный способ кондуктивного охлаждения активного элемента квантрона, отличающийся использованием цилиндрической линзы на базе лейкосапфира в качестве теплоотвода, обеспечивает стабильную работу Nd³⁺:YAG квантрона с пиковой мощностью лазерной диодной накачки до 20 кВт

и частоте повторения до 50 Гц без использования жидкого хладагента внутри корпуса.

Шестое. Экспериментально продемонстрировано, что Nd³⁺:YAG лазер с поперечной диодной накачкой и пассивной модуляцией добротности генерирует импульсное лазерное излучение с практически неизменной модовой структурой и стабильностью выходной энергии не менее 70 % в температурном диапазоне от – 50 до + 50 °С без активной системы термостабилизации.

Все реализованные схемы поперечной накачки и схемы, расчетные методики могут быть использованы для создания компактных твердотельных лазеров и усилителей различного назначения, что определяет большое практическое значение диссертационной работы.

В диссертационной работе можно отметить следующие замечания и недостатки:

1. В экспериментальном плане не исследован вариант использования для так называемых «цветных» лазерных матриц для целей расширения температурного диапазона работы квантрона.

2. Так как вопросы теплового состояния элементов квантрона являются одними из определяющих, диссертанту при проведении экспериментов следовало бы привлекать современные методы тепловой диагностики, например – тепловизионные.

3. На рисунке 1.15 несогласованы подписи производителя с приведенной фотографией квантрона с диодной накачкой и жидкостным охлаждением АЭ различных производителей.

4. В разделах 2.3.7 и 2.3.8 присутствует несогласованность номеров формул.

5. Небольшие замечания можно сделать по тексту работы. Неоднократно используется выражение «твердотельный квантрон», принято «квантрон для твердотельного лазера».

Отмеченные недостатки и замечания не снижают общую высокую оценку представленной диссертационной работы. Результаты работы Е.С. Сафроновой прошли достаточную апробацию и опубликованы в 10 научных работах, из них 4 статьи в изданиях, индексируемых в национальной библиографической базе данных научного цитирования РИНЦ, 3 из которых в рецензируемых изданиях,

рекомендованных перечнем ВАК. Результаты работы докладывались на российских и международных конференциях. Тематика диссертации соответствует специальности 01.04.21 «Лазерная физика», а текст автореферата корректно и полно отражает ее содержание.

Диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а автор Сафронова Елена Сергеевна заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – «Лазерная физика».

Официальный оппонент,
доктор технических наук,
начальник отдела
АО ГНЦ «Центр Келдыша»



С.Г. Ребров

«26» апреля 2022 г.

Акционерное общество Государственный научный центр Российской Федерации
«Исследовательский центр имени М.В. Келдыша (125438, г.Москва, ул.
Онежская, дом 8, тел: +7(495) 456-46-08 , <http://kerc.msk.ru>)
Тел.:+7(495) 456-64-83
e-mail: rebrov_sergey@mail.ru

Подпись начальника отдела АО ГНЦ «Центр Келдыша»
д.т.н. Реброва С.Г. удостоверяю:

Ученый секретарь



Ю.Л.Смирнов