

УДК 681.2

## НЕПРЕРЫВНЫЙ Yb:YAG ЛАЗЕР ДЛЯ СИСТЕМ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ МЕХАНИЧЕСКИХ НАГРУЗОК В ШИРОКОМ ТЕМПЕРАТУРНОМ ДИАПАЗОНЕ БЕЗ ПРИНУДИТЕЛЬНОЙ ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИИ

Ивашко А.М.<sup>1</sup>, Кисель В.Э.<sup>2</sup>, Ясюкевич А.С.<sup>2</sup>, Кулешов Н.В.<sup>2</sup>,Демеш М.П.<sup>2</sup>, Руденков А.С.<sup>2</sup>, Гусакова Н.В.<sup>2</sup><sup>1</sup>ОАО «Пеленг», Минск, Республика Беларусь<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет, НИЦ оптических материалов и технологий  
Минск, Республика Беларусь

Разработка и изготовление лазеров, работающих в режиме непрерывной генерации с выходной мощностью в несколько ватт в спектральной области около 1,06 мкм является тривиальной задачей, если лазерная система стационарна и работает в условиях незначительного колебания температур, либо при использовании системы термостабилизации. Однако, при создании стабильной лазерной системы с мощностью не менее 2 Вт в спектральной области около 1,06 мкм, работающей в условиях механических нагрузок в широком температурном диапазоне без термостабилизации, с низким энергопотреблением, малыми габаритными размерами и массой, а также мгновенным выходом на рабочий режим с рабочим циклом в несколько минут возникает ряд проблем, как с работоспособностью системы, так и со стабильностью ее характеристик. Для решения поставленной задачи нами был предложен лазер на кристалле Yb:YAG с диодной накачкой в микрочип конфигурации без термостабилизации.

В алюмо-иттриевом гранате, который является оптически изотропным кристаллом с высокой теплопроводностью и хорошими механическими свойствами, ион Yb<sup>3+</sup> обладает широкой полосой поглощения в спектральной области от 910-950 нм с пиками вблизи 915 нм и 940 нм, что коррелирует с длиной волны мощных лазерных диодов номиналом 940 нм даже при ее сдвиге с изменением температуры.

Работа при воздействии механических нагрузок в широком диапазоне температур без термостабилизации неизбежно приведет к разъюстировкам при использовании сложных конфигураций резонатора, и, следовательно, к нестабильности характеристик всей системы. Поэтому, по нашему мнению, самой надежной и простой в данных условиях является микрочип конфигурация, в которой зеркала резонатора нанесены на торцы активного элемента.

Численное моделирование работы микрочип лазера на кристалле Yb:YAG при непрерывной диодной накачке проводилось в рамках системы балансных уравнений. По результатам численного моделирования было определено, что оптимальным для работы микрочип лазера в широком температурном диапазоне является

выходное зеркало с коэффициентом пропускания выходного зеркала 5% на длине волны генерации. Для данного выходного зеркала на рис.1 представлена зависимость мощности излучения генерации от длины волны накачки и длины активного элемента.

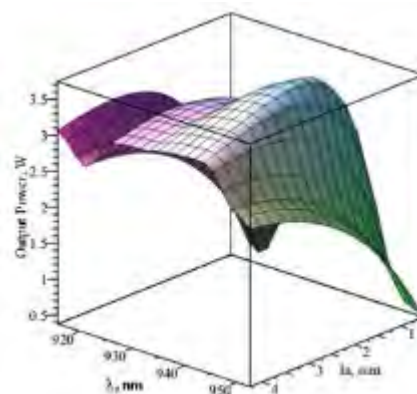


Рисунок 1 – Зависимость выходной мощности от длины волны накачки и длины активного элемента при оптимальном зеркале

При накачке в области максимального поглощения иона Yb<sup>3+</sup> максимальное значение мощности генерируемого излучения по результатам расчета достигается при длине активного элемента около 1,5мм, в то время как для минимумов поглощения Yb<sup>3+</sup> максимальное значение мощности достигается при длине активного элемента около 4мм. В связи с отсутствием системы термостабилизации неизбежна работа лазера в зонах минимального поглощения иона Yb<sup>3+</sup>, поэтому предпочтительным является использование «длинного» активного элемента, обеспечивающего большую стабильность выходной мощности. Однако, сразу следует сказать, что ограничения на габариты «боевой» системы позволяли использовать активные элементы длиной только до 3 мм.

Для подтверждения результатов численного моделирования в климатической камере было проведено макетирование микрочип лазера. Для этого были изготовлены три активных элемента длиной 2,5мм, 2,75мм и 3,0мм, на параллельные полированные торцы которых были нанесены зеркала резонатора: «глухое» с коэффициентом отражения 100% на длины волн 1030-1050 нм и коэффициентом пропускания больше 98% на

длины волн 910-960 нм, и выходное зеркало, с коэффициентом пропускания 5% на длине волны генерации. В качестве источника накачки использовался лазерный диод с номинальной длиной волны 940 нм. Мощность излучения лазерного диода поддерживалась на одном уровне, обеспечивающем падающую на активный элемент мощность накачки 6 Вт во всем температурном диапазоне. Для лазерного диода и активного элемента в ходе экспериментов использовался только пассивный теплоотвод на элементы их крепления.

Генерируемое излучение регистрировалось за пределами климатической камеры измерительной головкой LM10 с измерителем мощности LabMax-TOP Coherent. Измерение мощности микрочип лазера для каждой температуры производилось на 5с (время переходных процессов для измерительной головки с измерителем мощности составляло приблизительно 4с) с момента подачи питания на диод. Т.к. требования к рабочему временному интервалу для законченной системы выше, при исследовании предельная повышенная температура была сдвинута до +65°C.

Первым исследуемым образцом был активный элемент длиной 2,5мм. Результат эксперимента приведен на рис.2 как зависимость мощности генерируемого излучения от длины волны накачки.

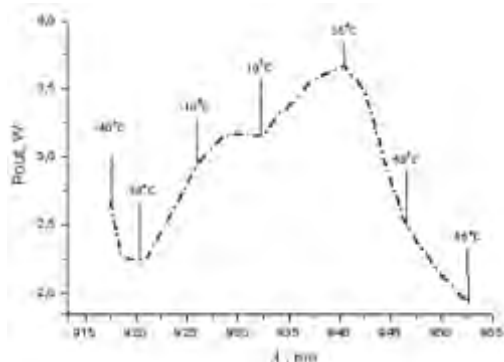


Рисунок 3 – Мощность излучения генерации от длины волны накачки для активного элемента 2,5мм

Для данного активного элемента максимальное значение выходной мощности составило 3,67 Вт при температуре +35°C, минимальное значение мощности было 1,93 Вт при температуре +65°C. Кроме того, наблюдался локальный минимум при температуре -30°C с мощностью 2,23Вт. Длина волны генерируемого излучения во всем температурном диапазоне практически была постоянной и колебалась вблизи 1048нм.

Полученные результаты уже практически удовлетворяли требованиям к лазерной системе.

Небольшая нехватка мощности генерируемого излучения наблюдалась только для предельных положительных температур. Поэтому для двух оставшихся активных элементов исследование было проведено только при положительных температурах, результаты которого в сравнении с активным элементом длиной 2,5 мм показаны на рис.3.

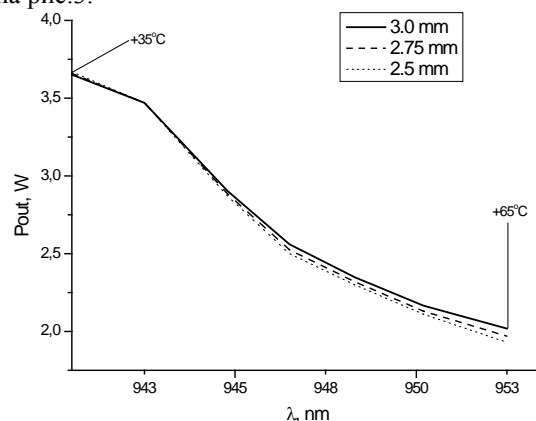


Рисунок 3 – Выходная мощность лазера для активных элементов разной длины

В максимуме поглощения вблизи пика 940нм разница по выходной мощности для разных активных элементов была минимальна, Активный элемент длиной 2,5 мм в этой точке был лучшим. По мере роста температуры, а соответственно и ухода с пика поглощения, появляется разница в выходной мощности, при этом для большей длины активного элемента наблюдается большая мощность. Для активного элемента длиной 3 мм при +65°C мощность излучения на выходе лазера составила 2,02 Вт, что на 4,6% больше, чем для активного элемента длиной 2,5мм. Длина волны генерируемого излучения для активных элементов 2,75 и 3,0мм была идентична длине волны для активного элемента 2,5мм.

Т.о, использование кристалла Yb:YAG длиной 3мм позволяет реализовать режим непрерывной генерации на длине волны около 1048нм в широком температурном диапазоне без принудительной термостабилизации с выходной мощностью не менее 2 Вт. А для стабилизации выходной мощности излучения на одном уровне во всем температурном диапазоне оправданным будет использование системы с автоматической подстройкой тока питания лазерного диода в зависимости от мощности генерируемого излучения, что позволит изготовить компактный, стабильный, слабо подверженный разъюстировкам источник лазерного излучения без принудительной термостабилизации, работающий в условиях механических и климатических воздействий.