

Настоящая работа выполнена при частичной поддержке Международного научно-технического центра (проект В-266-99).

ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ ЛАЗЕРЫ СРЕДНЕГО ИК ДИАПАЗОНА С ДИОДНОЙ ЛАЗЕРНОЙ НАКАЧКОЙ

**Л. Н. Орлов¹, Г. И. Желтов¹, Я. И. Некрашевич¹, Н. Н. Васильев²,
В. А. Кононов², Б. В. Зубов³**

¹ Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, г. Минск

² СП Лотис-ТИИ, г. Минск

³ НИИ Проблем волоконной оптики, г. Москва

В развитии лазерной техники последнего десятилетия центральное место занимают приборы и технологии, использующие мощное оптическое излучение среднего ИК диапазона спектра (длина волны 1–3 мкм). Разработаны мощные, компактные и высокоэффективные лазеры нового поколения на основе кристаллов, легированных ионами эрбия (Er), гольмия (Ho) и тулия (Tm). Их излучение практически безопасно для глаз обслуживающего персонала и хорошо транспортируется по световодам.

Среди многочисленных областей использования таких лазеров особо интересны биомедицинские применения. Это обусловлено тем, что все влагосодержащие биоткани имеют выраженные полосы поглощения в средней ИК области спектра. Глубина проникновения излучения в ткань зависит от длины волны и может варьироваться от долей до единиц миллиметра. Последняя особенность наряду с высокой эффективностью активных сред обеспечивают реальные перспективы создания качественно новых лазерных хирургических инструментов (скальпелей), обладающих рядом новых уникальных качеств. В частности, обеспечивается возможность управления характером воздействия на ткани (глубина рассечения и пристеночной коагуляции в зоне разреза, гемостаз и т. д.) и оптимальный подбор характеристик излучения в соответствии с характером патологии, строением тканей и т. д. Подобные приборы находят широкое применение в офтальмологии, нейрохирургии, кардиологии, косметологии и других областях медицины, для решения задач общей хирургии требуется несколько повысить уровень выходной мощности.

Создание таких приборов с диодной лазерной накачкой требует решения ряда физических и технических проблем. В частности, относительно низкие плотности насыщающих потоков как для накачки так и для генерации, характерные для данных активных сред, ограничивают выходную мощность излучения и длительность импульсов генерации, необходимых для эффективного рассеяния тканей и коагуляции сосудов. Серьезной технической проблемой является необходимость минимизации термооптических искажений активных сред при накачке, ухудшающих качество лазерного пучка и ограничивающих частоту следования импульсов и выходную мощность.

Для решения этих задач в Институте физики НАН Беларуси предложено использовать slab-конфигурацию активного вещества, позволяющую существенно повысить плотность мощности и однородность накачки всего объема активного вещества, улучшить условия его охлаждения и избежать термооптических искажений, а также оригинальную конструкцию лазерного резонатора, повышающую эффективность накачки и позволяющую работать с веществами, обладающими относительно малым усилением [1].

Прежде всего были проведены предварительные эксперименты по получению генерации тулиевого лазера с диодной лазерной накачкой. В конструкции использован активный элемент микрочип-конфигурации из монокристалла YVO_4 , легированного ионами Tm с концентрацией порядка 5 % (α -срез с точностью ориентации лучше $0,5^\circ$), имеющий вид плоскопараллельной пластины размером $3 \times 3 \times 1 \text{ мм}^3$ с высокой степенью плоскопараллельности (с точностью до 2 угловых секунд) и плоскостности поверхности (до $\lambda/10$ для длины волны $0,6328 \text{ нм}$). Резонатор лазера был образован специальным комбинированным покрытием на передней грани пластины, включающим просветляющее покрытие с отражением менее 0.7 % для длины волны накачки ($795 \pm 5 \text{ нм}$) и высокоотражающее покрытие с коэффициентом отражения, близким к 100 % для длин волн $1,92 - 2,1 \text{ мкм}$, а также полупрозрачным покрытием для длины волны $1,92 \text{ мкм}$ на противоположной грани пластины. Сечение вынужденного перехода данного кристалла составило $2,5 \cdot 10^{-20} \text{ см}^2$, а измеренный коэффициент поглощения в максимуме полосы (на длине волны $797,4 \text{ нм}$) достигал 18 см^{-1} .

Для накачки использовались полупроводниковые лазерные диоды типа ИЛПН-850 Б (в стандартных 9 мм корпусах с апертурой из-

лучателя 100 мкм и выходной мощностью до 1 Вт) производства ПО «Полюс», г. Москва. Однако тестирование показало, что даже при токах близких к предельным мощность генерации диодов на требуемой длине волны не превысила 550 мВт, что значительно ниже паспортных данных. Излучение диода цилиндрической микролинзой фокусировалось в точку внутри активного элемента.

Без дополнительной оптимизации параметров резонатора была измерена зависимость мощности генерации тулиевого лазера от мощности накачки. Показано, что порог генерации нашего кристалла был близок к 200 мВт, далее мощность генерации росла практически пропорционально накачке, причем наклон зависимости соответствовал эффективности оптической накачки на уровне 42 %. Отметим, что величина порога была несколько выше приводимой фирмой Cassix (Китай), где был куплен рабочий кристалл, а эффективность преобразования диодной накачки – существенно ниже (в паспорте на кристалл фирма-производитель приводит значение эффективности преобразования более 70 %), такое существенное различие свидетельствует о необходимости более тщательной оптимизации схемы резонатора.

Существующие в настоящее время диодные лазерные линейки позволяют обеспечить однородное возбуждение практически всего объема активного элемента, в этом случае представляет интерес перейти от используемой продольной к поперечной схеме накачки, что в сочетании с использованием предложенного нами резонатора с многократным отражением от боковых граней может привести к возможности создания компактных приборов со средней мощностью генерации до 10 Вт.

Разработана техническая документация и изготовлен экспериментальный образец гольмиевого лазера, генерирующего в области 2,08 мкм, с диодной накачкой. Было показано, что поскольку генерация в этом случае происходит с первого возбужденного в основное состояние ионов Но, прямая диодная накачка в этом случае неэффективна. Поэтому для создания прибора использована предложенная в работе [2] схема внутррезонаторной накачки ионов гольмия излучением тулиевого лазера, возбуждаемого по приведенной выше схеме.

Несмотря на кажущуюся сложность такой схемы и двухступенчатость накачки, реальная конструкция получилась достаточно простой и компактной. Очевиден в этом случае и механизм генерации гольмиевого лазера. В разработанном устройстве оба кристалла –

YAG:Ho и YVO₄:Tm – помещены в общий резонатор длиной около 40 мм. Используемый для накачки кристалл Tm: YVO₄ возбуждается сфокусированным излучением близко расположенных лазерных диодов через комбинированное зеркало, полностью отражающее в области 1,92 мкм и прозрачное в области 0,797 мкм, происходит квазинепрерывная генерация на длине волны 1,92 мкм, форма импульсов которой полностью повторяет форму импульсов накачки. Это излучение возбуждает кристалл YAG:Ho длиной 9 мм, поглощение в котором является практически единственной нагрузкой для тулиевого лазера в «глухом» резонаторе, что приводит к весьма эффективному селективному возбуждению верхних лазерных уровней ионов Ho.

Предложенные конструкции активных элементов твердотельных лазеров с диодной накачкой открывают новые возможности для выбора оптимальной схемы накачки (наряду с упомянутыми продольной и поперечной накачкой рассматриваются торцовая накачка и возбуждение “луч в луч“, а также варианты с неплоским ходом лучей по объему кристалла - в большинстве из них не используются дорогостоящие коллимирующие системы и сложные дихроичные лазерные зеркала).

1. Orlov L., Necrashevich J., Zhukovsky V. // CLEO/Europe'98 Technical Digest, CWF 8, Glasgow. - 1998. - Sept. 14-18. - P. 163.
2. Stoneman R. C., Esterowitz L. // OSA Proceedings on Advanced Solid-state Lasers. - 1992. - Vol. 13. - P. 114-118.

ЛАЗЕР С АВТОИНЖЕКЦИЕЙ МОНОИМПУЛЬСНОГО ЗАТРАВОЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ЛИНЕЙНОМ РЕЗОНАТОРЕ

Б. Н. Тюшкевич, Ю. Б. Тюшкевич

Институт электроники НАН Беларуси, г. Минск

Для автоинжекции моноимпульсного затравочного излучения использованы комбинированная модуляция добротности резонатора просветляющимся фильтром (ПФ) и электрооптическим затвором (ЭОЗ) и оптические схемы лазеров, подобные [1], где в качестве затравочного формируется излучение свободной генерации. Основной линейный составной резонатор образован сферическим зеркалом с радиусом кривизны $r_1 \sim 2$ м и коэффициентом отражения $R_1 \geq 0,99$ и