

МАЛОГАБАРИТНЫЕ ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ SLAB - ЛАЗЕРЫ С ЛАЗЕРНОЙ НАКАЧКОЙ

В. В. Жуковский¹, Я. И. Некрашевич²

¹ Институт молекулярной и атомной физики НАН Беларуси, Минск

² Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, Минск

Известно, что использование планарной (slab) конфигурации активных элементов твердотельных лазеров позволяет существенно повысить плотность мощности и однородность накачки всего объема активного вещества, улучшить условия охлаждения и уменьшить влияние термооптических искажений в лазерных средах. При оптимальном выборе схем резонатора и накачки это обеспечивает заметное увеличение выходной мощности и эффективности лазеров.

Ранее [1] предложена новая схема резонатора для slab-лазера, образованного высокоотражающими покрытиями на двух боковых противоположных гранях активной среды, наклоненных друг к другу под углом α , и полупрозрачным выходным третьим зеркалом, расположенным под углом ϕ к одной из них. В такой схеме лазерный луч от выходного зеркала распространяется, попеременно отражаясь от каждого из боковых зеркал, и после N отражений (где $N = 1 + \phi/\alpha$) угол падения становится равным нулю, происходит обратное отражение и самовоспроизведение всего пути распространения излучения вплоть до исходной точки. Специально поставленные с помощью гелий-неонового лазера эксперименты показали, что при вариации углов ϕ и α на практике достаточно просто реализовать величины N от 5 до 160. Тем самым при распространении лазерного луча практически ортогонально оси кристалла можно получить эффективную длину L пути одного прохода луча по такому резонатору, намного превышающую его рабочую длину l . Конструкция рассмотренного резонатора проста, достаточно компактна и может быть использована как в газовых, так и в твердотельных slab-лазерах.

Величины L и l определяются выражениями

$$L = d \frac{1}{\cos \phi} \prod_{k=1}^N \frac{1 - \cos^2 \left(\frac{\phi}{\alpha} + \alpha \right)}{1 - \cos^2 \left(\phi - (k-1)\alpha \right)} \quad (1)$$

$$l = d [\operatorname{ctg} \alpha - \cos(\phi + \alpha)/\sin \alpha], \quad (2)$$

где d - максимальное расстояние между гранями активной среды с высокоотражающими покрытиями.

Отметим, что в zig-zag лазерах, использующих явление полного внутреннего отражения от боковых поверхностей активной среды, отноше-

ние L/l невелико, оно ограничено величиной показателя преломления n материала активной среды: $n > L/l$ [2].

Для расчета средней мощности S излучения лазера использовалось выражение [3]

$$S = vLsk_r(\kappa_0 - p - k_r)(p + k_r)^{-1} P^{-1}, \quad (3)$$

где v - скорость света в лазерной среде, κ_0 и p - коэффициенты усиления и вредных потерь соответственно, P - параметр нелинейности, L и s - длина пути луча в активном элементе и средняя площадь его поперечного сечения, $k_r = (2L)^{-1} \ln(r_3)^{-1}$ - полезные потери, обусловленные выходом излучения из резонатора через зеркало с коэффициентом отражения r_3

Вместе с тем в предлагаемом лазерном устройстве будут иметь место также вредные потери генерируемого излучения при его отражениях от боковых зеркал с одинаковыми средними коэффициентами отражения r . Их можно учесть, используя в формуле (3) величину p^* вместо p :

$$p^* = N (2l)^{-1} \ln(r)^{-1} + p. \quad (4)$$

Нами была создана модель лазера [1]. Из неодимового стекла с заранее измеренными параметром нелинейности, коэффициентами усиления и вредных потерь изготовлен активный элемент в виде плоскопараллельной пластины, на боковые противоположные поверхности которого, развернутые на угол $\alpha = 1^\circ$, нанесены диэлектрические покрытия с коэффициентом отражения, близким к 100% для длины волны излучения 1.06 мкм. При $\phi = 37^\circ$ и максимальной апертуре 5х6 мм величины $N = 38$, $l = 6$ см и $L = 17.7$ см. Проведенные оценки показывают, что при мощностях накачки вдвое выше пороговых следует ожидать увеличения мощности лазерного излучения примерно в два раза по сравнению с лазером с цилиндрическим активным элементом равного объема, выполненным из аналогичного лазерного материала. В настоящее время начаты эксперименты по проверке этих оценок.

В качестве другого примера практической реализации предложенной схемы резонатора рассмотрен вариант конструкции гольмиевого лазера, генерирующего на длине волны 2.08 мкм при внутрирезонаторной накачке лазером на YAG:Tm, возбуждаемым мощным полупроводниковым лазером или линейкой лазерных диодов [4]. Предполагается, что такой лазер найдет широкое применение в медицинских исследованиях и клинической практике.

Позже нами была разработана другая конструкция лазера с активным элементом, выполненным в виде усеченной трехгранной пирамиды, две боковые смежные грани которой расположены под прямым углом друг к

другу [5]. Их пересечение образует ребро пирамиды, составляющее угол α с третьей боковой гранью. Плоскость большего из оснований пирамиды располагается под углом ϕ к этому ребру, имеет полупрозрачное для стимулированного излучения покрытие и является выходным зеркалом лазера. В отличие от лазера [1], в данной конструкции излучение, отражаясь от боковых граней активной среды с высокоотражающими покрытиями, распространяется во взаимно перпендикулярных плоскостях, что способствует повышению качества пучка. Варьируя углы ϕ и α , здесь также можно изменять число проходов N . Заметим, что несмотря на сильно отличающуюся от [1] геометрию активного элемента, и в этом случае полная длина пути луча в нем и его длина также описываются вышеприведенными соотношениями (1) и (2).

Предварительные расчеты показали, что наибольший выигрыш в выходной мощности в результате увеличения эффективной длины кристалла и более полного использования всей запасенной в нем энергии может быть получен для активных сред с относительно малым начальным коэффициентом усиления и параметром насыщения; однако и для наиболее широко используемых кристаллов выходная мощность может быть существенно повышена.

Предложенные схемы твердотельных лазеров особенно перспективны при использовании диодной лазерной накачки. В ряде вариантов продольной, поперечной или торцевой накачки, как правило, не требуется использование дорогостоящих коллимирующих систем и сложных дихроичных лазерных зеркал. По габаритам и выходной мощности они могут конкурировать с полупроводниковыми лазерами, существенно превосходя последние по монохроматичности, когерентности и стабильности излучения. При создании таких компактных лазеров достаточно легко решается целый ряд конструктивных и технологических проблем.

1. Пат. № а 20001074. Твердотельный лазер / Л. Н. Орлов, Я. И. Некрашевич, Г. И. Желтов, В. В. Жуковский // Афшыйны бюлетэнь. 2002. № 2 (33). С. 66.
2. Mandla, Klimek D.E. // IEEE J. Quant. Electron. 1996. Vol. 32, N 3. P. 378-382.
3. Методы расчета оптических квантовых генераторов / Под ред. Б. И. Степанова, Т. 1. Мн.: Наука и техника, 1967. 385 с.
4. Пат. № а 20010133. Твердотельный лазер с внутривибраторной накачкой / В. В. Жуковский, Я. И. Некрашевич, Л. Н. Орлов // Афшыйны бюлетэнь. 2002. № 3 (34). С. 72.
5. Заявка на изобретение № а 20020653. Твердотельный лазер / Л. Н. Орлов, Я. И. Некрашевич, В. В. Жуковский // Афшыйны бюлетэнь. 2004. № 1 (40). С. 72.