

УПРАВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРАМИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

PACS 2.55.Rz; 42.65.Es

Увеличение размера моды в схеме лазера с ВРМБ-зеркалом

Э.В.Воскобойник, П.П.Пашинин, В.С.Сидорин, Е.И.Шкловский

Экспериментально исследованы факторы, приводящие к увеличению размера моды в лазере с «внешним» ВРМБ-зеркалом. Показано, что рост крыльев поперечного распределения пучка, неточное ОВФ, а также широкополосная накачка способствуют увеличению размера моды и росту выходной энергии излучения.

Введение

При создании лазеров с высокой направленностью излучения и умеренной средней мощностью важно использовать всю апертуру активного элемента. В лазерах без ВРМБ-зеркал это достигается, как правило, применением либо неустойчивых резонаторов [1, 2], либо резонаторов, содержащих телескоп [3, 4]. Получают также распространение резонаторные зеркала [2], коэффициент отражения которых профилирован в соответствии с гауссовым распределением интенсивности. Модуляция добротности резонаторов производится в таких системах электрооптическим способом либо с помощью просветляющихся затворов. В работе [5] удалось с помощью внутрирезонаторного ВРМБ получить модулированное излучение на длине волны 1.06 мкм, заполняющее практически всю апертуру активного элемента диаметром 6.3 мм. Конфигурация зеркал была подобрана так, чтобы в отсутствие ВРМБ реализовался неустойчивый резонатор. Отметим, что авторам [6] удалось осуществить пассивную модуляцию добротности при внутрирезонаторном ВРМБ на длине волны 1.3 мкм.

Нами предложена [7] и исследована [8, 9] схема лазера с «внешним» ВРМБ-зеркалом (рис. 1). Было обнаружено, что ВРМБ-зеркало, расположенное вне стандартного резонатора и возбуждаемое затравочным излучением с малым размером моды, способствует генерации, близкой по пространственной структуре к ТЕМ₀₀-моду, заполняющей практически всю апертуру активного элемента диаметром 4–6.3 мм. Разновидностью такой схемы являются системы с Т-образными резонаторами и ВРМБ-зеркалами, исследованные в [10, 11]. Отметим, что в случае «жесткого возбуждения» генератора [12, 13] путем инъекции излучения от вспомогательного источника также можно получить высокий энергосъем от активного элемента с достаточно большим (6 мм) диаметром.

1. Эксперимент

В настоящей работе экспериментально исследованы причины, приводящие к увеличению размера моды в схе-

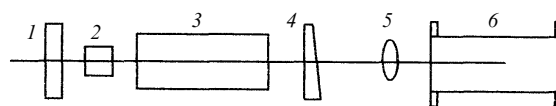


Рис. 1. Оптическая схема лазера:

1 – плоскопараллельная пластина; 2 – пассивный затвор; 3 – активный элемент; 4 – клиновидная пластина; 5 – фокусирующая линза с $F = 4$ см; 6 – кювета с GeCl_4 .

ме лазера с «внешним» ВРМБ-зеркалом, приведенной на рис. 1. В эксперименте длина вспомогательного резонатора, образованного плоскопараллельной 1 и клиновидной 4 пластинами, составляла, как правило, 50 см. При использовании сравнительно плотного пассивного затвора 2 из YAG:Cr^{4+} с начальным пропусканием $T_0 = 0.25$ либо из LiF:F_2^- с $T_0 = 0.3$ и небольшом превышении порога генерации формировалась квазиодномодовая затравка, запускающая ВРМБ-зеркало 5, 6. В качестве ВРМБ-активной среды применялся GeCl_4 , подвергнутый специальной очистке. В лазере использовался активный элемент 3 из YAG:Nd^{3+} размером $\varnothing 4 \times 100$ мм, помещенный в стандартный квантрон К-301.

Энергетические характеристики излучения измерялись с помощью калориметра ИМО-2Н, временной профиль регистрировался осциллографом С7-19 с полосой пропускания 5 ГГц. Профиль интенсивности пучка в ближней (на расстоянии 10 см от выходного зеркала 1) и дальней (в фокусе линзы с фокусным расстоянием $F = 1.5$ м) зонах определялся при сканировании диафрагмы диаметром 0.15 мм по сечению пучка. Уровень сигнала контролировался с помощью лавинного фотодиода и осциллографа.

При включении ВРМБ-зеркала происходило развитие генерации в составном резонаторе, образованном зеркалами вспомогательного резонатора и ВРМБ-зеркалом. При этом генерировался близкий к одномодовому лазерный пучок, диаметр которого превышал диаметр затравочного излучения. Отметим, что в рассматриваемом случае коэффициент отражения ВРМБ-зеркала на порядок превышает коэффициент отражения клиновидной пластины и дальнейший процесс генерации определяется, в основном, выходным и ВРМБ-зеркалами.

Достаточным условием генерации высоконаправленного излучения, заполняющего всю апертуру активного элемента, является создание квазиодномодовой затравки. Однако, как было обнаружено, даже в том случае,

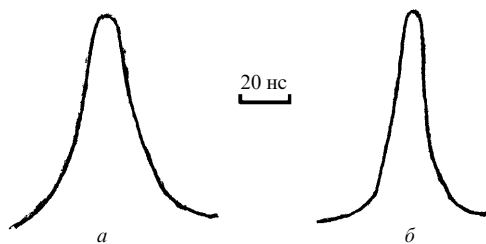


Рис.2. Осциллограммы импульсов излучения затравки для пассивных затворов из YAG:Cr^{4+} (а) и LiF:F_2^- (б) при длине вспомогательного резонатора 50 см.

когда затравочное излучение имело в ближней зоне нерегулярную структуру, выходной пучок при возбуждении ВРМБ-зеркала имел высокую направленность. Это связано с тем, что ВРМБ-зеркало, являясь фильтром пространственных частот [14], выделяет из такой структуры зону пучка с наибольшей интенсивностью. При этом происходят «исправление волнового фронта» [15] и квазиодномодовая генерация.

Импульс затравки имел гладкий временной профиль с длительностью на по полувысоте 22 нс для YAG:Cr^{4+} и 13 нс для LiF:F_2^- (рис. 2); энергия в импульсе, распространяющемся в сторону ВРМБ-зеркала, была 6–8 мДж. Энергия выходного излучения составляла 130 мДж при использовании в качестве пассивного затвора YAG:Cr^{4+} и 60 мДж для LiF:F_2^- . Энергия накачки равнялась 35 Дж. Временной профиль выходного пучка представлял собой трехимпульсную структуру [7–9], причем каждый импульс соответствовал двойному обходу основного резонатора. При варьировании длины вспомогательного резонатора от 25 см до 1 м длительность импульса затравки по полувысоте и выходного импульса по уровню 0.1 от максимума изменялись в пределах 7–15 и 8–20 нс соответственно (в случае применения затвора из LiF:F_2^-). При удалении ВРМБ-кюветы на расстояние 8 м от клиновидной пластины длительность импульса выходного излучения по уровню 0.1 достигала ~ 120 нс. Степень деполяризации излучения, измеренная с помощью призмы Глана, при частотах повторения импульсов до 5 Гц не превышала $2 \cdot 10^{-3}$. При увеличении частоты до 20 Гц деполяризация увеличивалась примерно в 4 раза как для затравочного, так и для выходного излучения. Увеличение деполяризации связано с тепловыми искажениями в активном элементе и в указанных условиях не должно приводить к заметному ухудшению качества ОВФ. Дальнейшие эксперименты проводились при частоте повторения импульсов до 10 Гц.

2. Обсуждение результатов

Характерное распределение интенсивности по сечению пучка в ближней зоне показано на рис.3. Асимметрия профиля обусловлена, по всей видимости, особенностью распределения усиления по сечению активного элемента в квантронах с зеркальными эллиптическими отражателями. Отметим, что при установке вместо ВРМБ-зеркала диэлектрического зеркала с коэффициентом отражения 30% и небольшой разъюстировке относительно оптической оси реализовывался однопроводный режим усиления затравки. При этом энергия усиленного сигнала возрастала до 35 мДж, а диаметр пучка по уровню $1/e$ увеличивался в 2.2 раза. В качестве пассивного затвора в этом случае использовался YAG:Cr^{4+} .

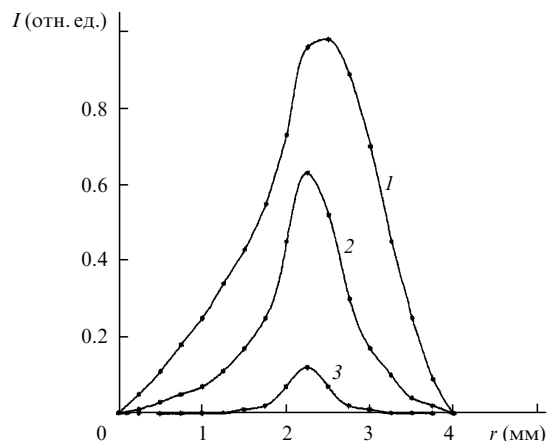


Рис.3. Распределения интенсивности в ближней зоне затравочного (3) и выходного (1, 2) излучения при использовании затворов из YAG:Cr^{4+} (1) и LiF:F_2^- (2).

Следовательно, одна из причин, способствующих увеличению поперечного сечения моды в лазере с «внешним» ВРМБ-зеркалом, связана с относительно большим усилением крыльев поперечного распределения излучения (по сравнению с центральной зоной пучка) на нескольких проходах в активном элементе.

Зависимость доли энергии, содержащейся в определенном угле, от этого угла приведена на рис.4. Видно, что расходимость затравочного излучения близка к дифракционной для соответствующей апертуры, а расходимость выходного излучения несколько превышает расходимость затравочного излучения. Применение в качестве пассивного затвора LiF:F_2^- приводит к увеличению яркости как затравочного, так и выходного излучения по сравнению с использованием YAG:Cr^{4+} . Однако диаметр выходного пучка и соответственно энергия для LiF:F_2^- были меньше. Следовательно, LiF:F_2^- обладает лучшими селективирующими свойствами.

Осциллограммы выходного излучения, прошедшего через диафрагму диаметром 0.2 мм, полученные при сканировании в ближней зоне для различных длин основного резонатора, приведены на рис.5. Видно, что при удалении от центральной области во временной структуре пучка происходят изменения, при этом относительная доля энергии первого импульса уменьшается по сравнению с последующими. На периферии пучка на-

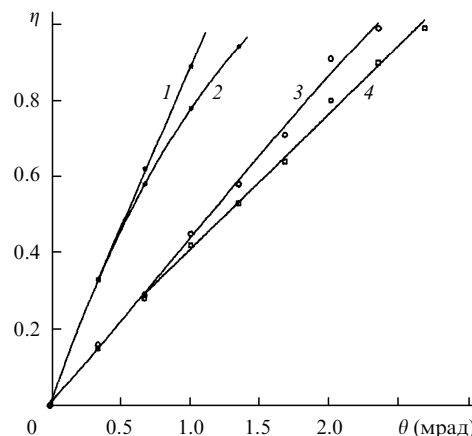


Рис.4. Зависимости доли энергии η затравочного (1, 3) и выходного (2, 4) излучения, содержащейся в угле θ , от этого угла при использовании затворов из LiF:F_2^- (1, 2) и YAG:Cr^{4+} (3, 4).

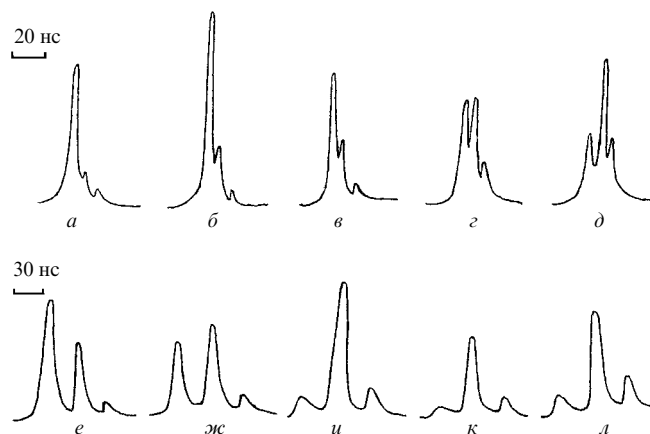


Рис.5. Осциллограммы импульсов выходного излучения, полученные при сканировании пучка и соответствующие удалению от центра пучка, равному 0 (а, е), 0.25 (б), 0.5 (в, жс), 0.75 (г, и), 1 (д, к) и 1.25 мм (л), при длине вспомогательного резонатора 50 см и длине основного резонатора 1 (а–д) и 6 м (е–л).

блюдается увеличение и третьего импульса. Это свидетельствует как о росте крыльев поперечного распределения, так и об уширении диаграммы направленности при отражении от ВРМБ-активной среды. Таким образом, данные эксперимента показали, что лазер с «внешним» ВРМБ-зеркалом работает не в режиме задающего генератора, а в режиме регенеративного усилителя.

Вследствие неравномерности распределения усиления по сечению активного элемента преимущественное снятие инверсии (в режиме насыщения) происходит в центре, что приводит к амплитудным искажениям в активном элементе. Неточное ОВФ, обусловленное амплитудными искажениями, вызывает некоторое ухудшение расходимости обращенной волны и еще большее заполнение апертуры активного элемента. Увеличение крутизны фронта импульса при каждом отражении от ВРМБ-активной среды и, следовательно, уменьшение длительности импульса могут нарушить условие стационарности ВРМБ и также увеличить расходимость стоксовой волны. Некоторое ухудшение расходимости выходного излучения лазера с «внешним» ВРМБ-зеркалом свидетельствует о присутствии данных механизмов при работе схемы. Следует отметить, что в центральной области пучка, соответствующей углу 0.7 мрад (рис.4), расходимость выходного излучения близка к расходимости затравки. Заметим, что в исследованной нами схеме лазера с «жестким» включением ВРМБ-зеркала [13], работающей в режиме регенеративного усилителя, расходимость выходного излучения также была несколько хуже расходимости затравочного излучения.

Третьей причиной, также способной привести к уширению генерируемой моды, является широкополосная накачка, под воздействием которой находится нелинейная среда в схеме с «внешним» ВРМБ-зеркалом (в случае ближнего расположения кюветы); при этом в ВРМБ-активной среде имеет место перекрытие импульсов. Спектр выходного излучения, полученный с помощью

интерферометра Фабри – Перо после пропускания пучка через удвоитель частоты, соответствовал излучению затравки с частотой ω_0 , на которую наложен импульс со спектральными компонентами $\omega_0 - \Omega$, $\omega_0 - 2\Omega$, $\omega_0 - 3\Omega$, где Ω – стоксов сдвиг в ВРМБ-активной среде. В недавних экспериментах по ОВФ при ВРМБ широкополосного излучения [16] были обнаружены уширение отраженного пучка и уменьшение его диаграммы направленности. В нашем эксперименте режим одночастотной накачки ВРМБ-зеркала реализовался при установке кюветы с ВРМБ-активной средой на расстоянии более 6 м от клиновидной пластины. В такой конфигурации, как показало осциллографирование выходного пучка, в ВРМБ-активной среде не происходило переналожения гиперзвуковых решеток. Энергия выходного излучения при ближнем расположении кюветы (т.е. при наличии перекрытия импульсов в ВРМБ-активной среде) была выше на 20%, а расходимость – хуже на 15%, чем в схеме без перекрытия импульсов.

В заключение авторы выражают благодарность А.В.Кирьянову за полезные обсуждения. Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 94-02-03079-а).

1. Herbst R.L., Komine H., Byer R.L. *Optics Comms*, **21**, 5 (1977).
2. De Silvestri S., Magni V., Taccheo S., Valentini G. *Optics Letts*, **16**, 642 (1991).
3. Sarkies P.H. *Optics Comms*, **31**, 189 (1979).
4. Hanna D.C., Sawyers G.G., Yuratich M.A. *Optics Comms*, **37**, 359 (1981).
5. Ильичев Н.Н., Малютин А.А., Пашинин П.П. *Квантовая электроника*, **9**, 1803 (1982).
6. Ильичев Н.Н., Кирьянов А.В., Малютин А.А., Пашинин П.П., Сидорин В.С., Шкловский Е.И. *Квантовая электроника*, **17**, 1475 (1990).
7. Pashinin P.P., Shklovsky E.I. *J. Opt. Soc. Amer. B.*, **5**, 1957 (1988).
8. Денкер Б.И., Кертес И., Пашинин П.П., Сидорин В.С., Шкловский Е.И. *Квантовая электроника*, **17**, 851 (1990).
9. Pashinin P.P., Shklovsky E.I., Sidorin V.S. *Laser Physics*, **1**, 160 (1991).
10. Денисов А.А., Куликов О.Л. *Квантовая электроника*, **17**, 732 (1990).
11. Денисов А.А., Куликов О.Л. *Квантовая электроника*, **17**, 1639 (1990).
12. Лесник С.А., Соскин М.С., Хижняк А.И. *ЖТФ*, **49**, 2257 (1979).
13. Пашинин П.П., Сидорин В.С., Шкловский Е.И. *Квантовая электроника*, **15**, 1755 (1988).
14. Беспалов В.И., Манишин В.Г., Пасманик Г.А. *ЖЭТФ*, **77**, 1756 (1979).
15. Рысаков В.М., Аристов Ю.В., Коротков В.И. *ЖТФ*, **55**, 1955 (1985).
16. Глазков Д.А., Гордеев А.А., Зубарев И.Г., Михайлов С.И. *Квантовая электроника*, **19**, 286 (1992).

E.V.Voskoboinik, P.P.Pashinin, V.S.Sidorin, E.I.Shklovsky. Increase of the mode size in a laser with a stimulated Brillouin scattering mirror.

An experimental investigation was made of the factors leading to an increase in the mode size in a laser with an «external» stimulated Brillouin scattering mirror. An increase in the wings of the transverse distribution of the laser beam, inaccurate phase conjugation, and broadband pumping tended to increase the mode size and the output radiation energy.