

## ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРОВ МЕНИСКА НЕУСТОЙЧИВОГО РЕЗОНАТОРА НА РАСХОДИМОСТЬ ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРА НА ПАРАХ МЕДИ

С.А.Вицинский, В.К.Исаков, И.Л.Ловчий

Всероссийский научный центр (ГОИ им.С.И.Вавилова)  
Научно-исследовательский институт комплексных испытаний  
оптико-электронных приборов и систем,  
188537, Сосновый Бор, Ленинградская область, Россия  
(Поступило в Редакцию 15 июня 1994 г.)

Импульсно-периодические лазеры на самоограниченных переходах в атомах металлов являются сейчас одними из самых мощных источников когерентного излучения в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах спектра. Активные среды этого класса лазеров характеризуются весьма большим коэффициентом усиления и малым временем существования инверсии, соизмеримым с временем пробега светом резонатора. Без принятия специальных мер это приводит к высоким значениям угловой расходимости выходного излучения таких лазеров и значительно сужает круг их практических применений.

Для получения выходных пучков с малой расходимостью в лазерах этого класса, в частности, на парах меди (ЛПМ) используют неустойчивые телескопические резонаторы с большим увеличением  $M$ , равным  $M = R_1/R_2$ , где  $R_1$  и  $R_2$  — радиусы кривизны соосных и софокусных зеркал резонатора [1,2]. В таком резонаторе диаметры зеркал должны удовлетворять соотношению  $D/d = M$ , где  $D$  — диаметр выходной апертуры разрядного канала лазера,  $d$  — диаметр зеркала-мениска. Для серийных газоразрядных трубок (ГРТ) расчетный диаметр выходного зеркала-мениска при большом увеличении, как правило, меньше миллиметра. Однако на практике используют мениски большего диаметра (2–5 мм), иногда на порядок превышающего оптимальный [1], что обусловлено трудностью изготовления небольших по размерам менисков с качественной отражающей поверхностью. Цель настоящей работы — оценить влияние размеров мениска на расходимость и энергетiku ЛПМ.

Из рассмотрения идеального излучателя с кольцевым выходным сечением [3] видно, что при использовании менисков большого размера растут потери, обусловленные дифракцией на кольце с внешним  $D$  и внутренним  $d$  диаметрами соответственно. Так, при  $d = D/4$  высота центрального максимума в распределении интенсивности в дальней зоне понижается на 12% в сравнении с круглым излучателем диаметром  $D$ .

В реальных излучателях с большим коэффициентом усиления активной среды дополнительным источником потерь при неоптимальных размерах зеркала-мениска может быть увеличенный съём инверсии в углах с недифракционной расходимостью. В самом деле, формирование дифракционной расходимости излучения в неустойчивом резонаторе происходит из спонтанной “затравки” за  $m$  двойных проходов

резонатора, определяемых из соотношения

$$m = 1 + \frac{\ln M_0}{\ln M},$$

где  $M_0 = D^2/(1.22\lambda R_1)$ ,  $\lambda$  — длина волны генерируемого излучения [1].

В этом случае выходное излучение имеет многопучковую структуру и состоит из узконаправленного пучка с расходимостью, близкой к дифракционной, и нескольких пучков с большей расходимостью [4]. Пучки с большей расходимостью излучения формируются также из спонтанных затравок в резонаторе и успевают благодаря большому усилению среды снять часть запасенной инверсии при числе проходов активной зоны  $m' < m$ . Снижение числа двойных проходов резонатора до минимально возможного для формирования пучка с дифракционной расходимостью значения, равного двум (при  $M = M_0$ ), не является оптимальным. В этом случае дифракционные потери столь существенны, что не позволяют достигнуть насыщения усиления среды. Это приводит к неполному съему инверсии и, следовательно, к резкому падению мощности генерации. Поэтому для достижения быстрого насыщения используют неустойчивые резонаторы с увеличением  $M$  до 10–100, когда формирование пучка с дифракционной направленностью происходит за пять–шесть проходов резонатора ( $m = 3$ ).

Для численных оценок влияния размеров мениска на съем инверсии активной среды в недифракционных пучках использовался метод лучевых матриц [3]. Оценка проводилась на основании распределения количества фотонов в выходном сечении активного элемента ГРТ в плоскости, проходящей через оптическую ось резонатора. Первоначальное распределение спонтанных (затравочных) фотонов в торце активной зоны лазера принималось равномерным.

При расчетах ход лучей в резонаторе прослеживался последовательно после каждого отражения фотона от соответствующего зеркала резонатора. Шаг  $\alpha_0$  изменения направления начального распространения затравочного фотона по углу выбирался из условия неизменности количества фотонов на выходе системы при переходе к шагу  $10\alpha_0$ . Расчет проводился для ГРТ длиной 680 мм (длина активной зоны 350 мм) и диаметром 12 мм при двух и трех двойных проходах начальными (затравочными) фотонами активной зоны лазера.

Как видно из рис. 1, имеется существенное различие в распределении фотонов по выходному сечению после двух двойных проходов зоны лазера при использовании оптимального ( $d = D/M$ ) и неоптимального ( $d > 2D/M$ ) по размерам выходного зеркала-мениска неустойчивого резонатора. При большом мениске полное число фотонов в выходном сечении активной зоны на  $\sim 25\%$  больше, чем в случае оптимального мениска. Число же фотонов, прошедших в окрестности осевой линии и участвующих в дальнейшем формировании пучка с дифракционной направленностью, в обоих случаях одинаково. Это позволяет сделать вывод, что при неоптимальном по размерам мениске “лишние” фотоны приводят к съему инверсии в недифракционных пучках и к соответствующему перераспределению мощности излучения ЛПМ в сторону увеличения расходимости. Формирование пучка с дифракционной расходимостью в рассмотренном примере происходит за три двойных прохода резонатора. Поскольку число фотонов, вышедших в окрестности

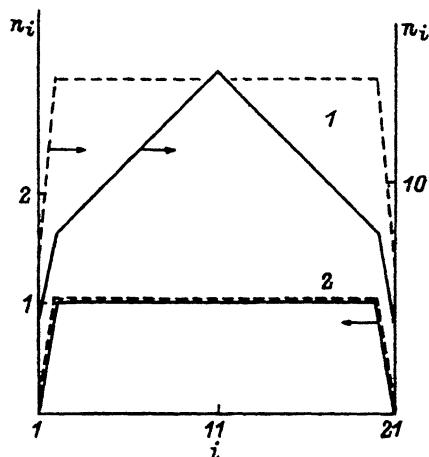


Рис. 1. Распределение фотонов по сечению на выходе активного элемента.

1 —  $m = 2$ , 2 — 3. Сплошные линии —  $d = D/M$ , штриховая —  $d \geq 2D/M$ .

оси резонатора после двух двойных проходов, одинаково, то получается полностью идентичное распределение выходных фотонов при  $m = 3$  для различных менисков (рис. 1).

Экспериментальное исследование влияния размера мениска выходного зеркала на расходимость излучения ЛПМ проводилось с аналогичной ГРТ в неустойчивом резонаторе с увеличением  $M = 14$  при  $R_1 = 1400$  мм и  $R_2 = 100$  мм. В плоском резонаторе суммарная средняя мощность генерации лазера составляла  $\sim 6$  Вт при угле расходимости 5 мрад, длительности импульсов генерации по полувысоте  $\sim 13$  нс и частоте следования 11 кГц. Мениски представляли собой осколки сферического алюминированного зеркала. Размер первого мениска был  $\sim 1.0 \times 1$  мм, второго  $\sim 2.0 \times 2.5$  мм. Диаметр оптимального мениска для рассматриваемого резонатора равен  $d = D/M = 0.86$  мм. Расходимость излучения ЛПМ измерялась по мощности генерации, прошедшей

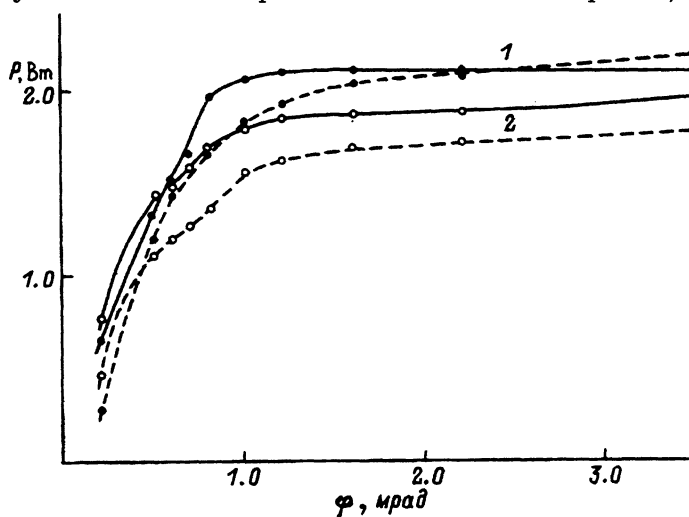


Рис. 2. Распределение средней мощности генерации в дальней зоне.

Сплошные линии —  $d = D/M$ , штриховая —  $d \geq 2D/M$ ; 1 —  $\lambda = 510.6$ , 2 — 578.2.

через установленную в фокальной плоскости линзы диафрагму. Фокусное расстояние линзы  $f = 1$  м, размер диафрагмы дискретно менялся от 0.22 до 5 мм.

На рис. 2 представлены экспериментальные кривые зависимости распределения средней мощности генерации ЛПМ по углу расходимости  $\varphi$  для оптимального и большого менисков. Из рисунка видно, что применение в качестве выходных зеркал телескопических резонаторов неоптимальных по размерам менисков приводит к существенному ухудшению качества пучка, т.е. к перераспределению мощности генерации лазера в сторону увеличения расходимости.

Приведенные оценки и экспериментальные данные показывают, что характеристики излучения ЛПМ с неустойчивым резонатором весьма критичны к размерам выходного зеркала-мениска. Опыт использования в качестве выходных менисков осколков сферических зеркал с большими первоначальными размерами позволяет не только выбирать оптимальные по размерам мениски, но и снимает проблему, связанную с обеспечением качественной поверхности менисков [2]. Использование подобных менисков позволяет значительно улучшить параметры фокусировки выходного излучения и тем самым существенно расширить области практического применения лазеров этого класса. В частности, при использовании таких менисков ( $M = 60$ ) с аналогичной ГРТ удалось получить эффективное ВКР преобразование излучения ЛПМ в кристалле нитрата бария [5].

#### Список литературы

- [1] Земсков К.И., Исаев А.А., Казарян М.А. и др. // Квантовая электрон. 1974. Т. 1. № 4. С. 863.
- [2] Исаев А.А., Петраш Г.Г. // Тр. ФИАН. 1991. Т. 206. С. 116.
- [3] Ананьев Ю.А. Оптические резонаторы и проблема расходимости лазерного излучения. М.: Наука, 1979.
- [4] Беляев В.П., Зубов В.В., Исаев А.А. // Квантовая электрон. 1985. Т. 12. № 1. С. 74.
- [5] Вицинский С.А., Исаков В.К., Карпухин С.Н. и др. // Квантовая электрон. 1993. Т. 20. № 12. С. 1155.