

Таким образом, уменьшение длительности импульсов при СМСИ в твердотельных лазерах определяется в основном изменением согласования сечений пучка в активной и пассивной средах, а влияние образования динамической решетки на укорочение импульсов незначительно. Поэтому осуществление

аналогичных условий пассивной синхронизации мод (соблюдение двухпорогового режима) приводит к генерации импульсов с аналогичными энергетическими и временными характеристиками в случае как линейного резонатора, так и СМСИ.

1. A. E. Siegman. *Optics Letts*, **6**, 234 (1981).
2. H. Vanherzeele, J. L. van Eck, A. E. Siegman. *Appl. Optics*, **20**, 3484 (1981).
3. J. M. Buchert, D. K. Basa, C. Tzu, R. R. Alfano. *Appl. Phys.*, **55**, 683 (1984).
4. В. И. Прохоренко, Е. А. Тихонов, Д. Я. Яцкив, Е. Н. Бушмекин. *Квантовая электроника*, **14**, 804 (1987).
5. R. N. Giuzalian, S. B. Sogomonian, Z. Gv. Horvath. *Optics Comms*, **29**, 239 (1979).
6. C. Kolmeder, W. Zinth, W. Kaiser. *Optics Comms*, **30**, 453 (1979).
7. S. V. Chekalin, P. G. Kryukov, Yu. A. Matweetz, O. B. Shatberachvili. *Opto-Electronics*, **6**, 249 (1974).
8. Б. Барейка, А. Пискаркас, В. Сируткайтис, Г. Синкявичюс. *Квантовая электроника*, **11**, 602 (1984).

Вильнюсский государственный университет им. В. Капсукаса

Поступило в редакцию
14 апреля 1988 г.

Š. Burdulis, G. Sinkevičius, V. Sirutkaitis, R. Stakvilevičius. **Mode Locking by Colliding Pulses in a $YAlO_3:Nd$ Laser.**

The USP duration has been studied under passive mode locking in $YAlO_3:Nd$ lasers with a linear resonator and with an antiresonant reflector. The USP duration is shown to be determined mainly by the relationship between beam cross sections in the saturable absorber and in the active medium. Optimal matching of the cross sections results in the stimulated emission of the USP 10 ps in duration from both the conventional resonator and the resonator with the antiresonant ring.

«Квантовая электроника», **16**, № 2 (1989)

УДК 621.373.826.038.823

А. И. Иванченко, В. В. Крашенинников, А. Г. Пономаренко, В. Б. Шулятьев

САМОФИЛЬТРУЮЩИЙ РЕЗОНАТОР В CO_2 -ЛАЗЕРЕ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

Сообщается об испытаниях самофильтрующего неустойчивого резонатора (СФНР) в условиях CO_2 -лазера непрерывного действия. Расходимость полученного выходного пучка близка к дифракционному пределу. Как следует из оценочного сравнения с устойчивым резонатором той же длины, использование СФНР в электроразрядных CO_2 -лазерах непрерывного действия киловаттных уровней мощности позволяет в несколько раз увеличить заполняемый нижней модой активный объем без существенного ухудшения качества пучка и энергетической эффективности резонатора.

Созданию лазерных резонаторов для генерации мощных дифракционно-ограниченных пучков уделяется постоянное внимание [1, 2]. Такой резонатор должен обеспечивать заполнение полем излучения всего имеющегося активного объема при высоком качестве выходного пучка, т. е. при оптимальных с точки зрения расходимости амплитудных и фазовых характеристиках. Высокое качество имеет гауссов пучок, соответствующий TEM_{00} -моду устойчивого резонатора. Поскольку поперечный размер пучка в этом случае порядка $(\lambda L)^{1/2}$, где λ — длина волны излучения, L — длина резонатора, то устойчивый резонатор не позволяет при приемлемой длине L заполнить полем излучения TEM_{00} -моды

большой объем активной среды и использование его в мощных лазерах ограничено [1].

В [3] сообщалось о первой экспериментальной проверке новой резонаторной конфигурации в импульсном $Nd:YAG$ -лазере. Затем этот резонатор, названный авторами самофильтрующим неустойчивым, был использован в импульсах $TEA CO_2$ - [4] и $HeCl$ -лазерах [5]. В экспериментах получены пучки, близкие по качеству к гауссову, при большем, чем в устойчивом резонаторе, объеме моды. Резонатор имеет высокую степень дискриминации высших мод по потерям, низкую чувствительность к разбюстировке.

Самофильтрующий неустойчивый резонатор (СФНР) [3] построен на основе неустойчивого конфокального резонатора, образованного вогнутыми сферическими зеркалами (рис. 1), и отличается от обычной схемы наличием в общей фокальной плоскости диафрагмы радиусом $a = (0,61\lambda f_1)^{1/2}$, где f_1 — меньшее фокусное расстояние. На рис. 1 Z_1 и Z_2 — вогнутые сферические зеркала с фокусными расстояниями f_1 и f_2 соответственно, D — диафрагма, $L = f_1 + f_2$ — длина резонатора, $M = |f_1/f_2|$ — геометрическое увеличение.

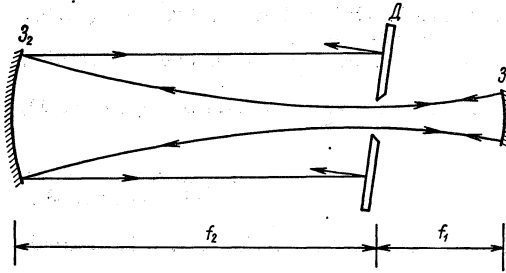


Рис. 1. Схема СФНР

Качественно процесс формирования низшей моды резонатора выглядит следующим образом [3]. После прохождения падающей со стороны зеркала Z_2 плоской волной диафрагмы и отражения ее от зеркала Z_1 в плоскости диафрагмы формируется распределение интенсивности, соответствующее дифракции Фраунгофера на диафрагме. При этом радиус диафрагмы равен радиусу первого дифракционного минимума. Таким образом, диафрагма позволяет распространяться в сторону зеркала Z_2 только части пучка, соответствующей центральному дифракционному пятну. При распространении от диафрагмы к зеркалу Z_2 размер пучка возрастает как в соответствии с геометрическим увеличением M , так и за счет дифракции. После отражения от зеркала Z_2 пучок коллимируется и цикл повторяется. Активная среда располагается в плече с широким сечением пучка — между зеркалом Z_2 и диафрагмой D .

При каждом полном обходе резонатора пучок подвергается действию образованного зеркалом Z_1 и диафрагмой пространственного фильтра, пропускающего только НЧ спектральные составляющие. В результате профиль пучка сглаживается и распреде-

ление интенсивности в поперечном сечении падающего на диафрагму со стороны зеркала Z_2 пучка имеет плавную колоколообразную форму с очень слабыми осцилляциями на периферии. Диафрагма может быть наклонена к оси и служить одновременно выводным зеркалом, выходной пучок в этом случае будет кольцевым.

Поперечный размер пучка низшей моды в плече с активной средой пропорционален a ; из условий $a = (0,61\lambda f_1)^{1/2}$ и $L = f_1 + f_2$ видно, что он, как и в устойчивом резонаторе, пропорционален $(\lambda L)^{1/2}$. Однако в СФНР вследствие геометрического увеличения размер пучка больше, чем в устойчивом резонаторе той же длины.

В настоящей работе сообщается о некоторых результатах испытаний СФНР в условиях электроразрядного CO_2 -лазера непрерывного действия с поперечной прокачкой. Получена предварительная информация о качестве излучения и возможности использования СФНР в лазерах подобного типа.

В экспериментах с СФНР использовался один из двух активных объемов лазерного модуля ЛОК-3 [6]. Резонатор содержал наряду со сферическими зеркалами и диафрагмой еще два плоских поворотных зеркала, и излучение в большем плече резонатора (между зеркалом с большим фокусным расстоянием и диафрагмой) совершало по Z-образной схеме, меньшее плечо находилось вне активной среды. Расстояние между кольцевыми сферическими зеркалами вдоль оптической оси $L = 349$ см, радиусы кривизны сферических зеркал 154 и 542 см, т. е. $M = 3,5$. Как и в [4], диафрагма была наклонена к оси и являлась одновременно выводным зеркалом.

Для регистрации характеристик излучения использовалась тепловизионная система, построенная на основе оптико-механического сканера и являвшаяся частью измерительно-вычислительного комплекса ТВ-М [7].

На приемной площадке сканера в зависимости от конфигурации оптической измерительной схемы формируется ближняя либо дальняя зона выходного пучка излучения. Профиль пучка в виде двумерной картины поля интенсивностей отображается rastровой разверткой на экране цветного телемонитора. Возможен построчный просмотр кадра на экране осциллографа, т. е. получение поперечного распределения интенсивности пучка вдоль выбранного направления.

На рис. 2 приведены копии осцилло-

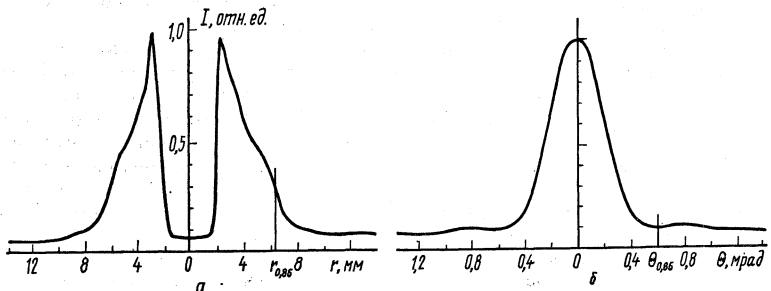


Рис. 2. Распределения интенсивности излучения в ближней (а) и дальней (б) зонах

грамм распределения интенсивности в поперечном сечении (по диаметру) выходного пучка в ближней и дальней зонах. По горизонтальным осям отложены соответственно расстояние от оси пучка и половинный угол расходимости. Численным интегрированием в предположении аксиальной симметрии распределений были получены размеры кружков в ближней $r_{0,86}$ и дальней $\theta_{0,86}$ зонах, охватывающих 86 % полной мощности. Качество излучения может быть охарактеризовано величиной $k_d = \theta_{0,86} / (\lambda / 2r_{0,86})$. В нашем случае $k_d \approx 0,8$, что ненамного превышает соответствующую величину 0,64 для гауссова пучка. При больших значениях M следует ожидать меньших k_d .

Оценим, насколько объем основной моды СФНР может превышать объем ТЕМ₀₀-моды устойчивого резонатора той же длины. Занятую излученную область резонатора будем считать в обоих случаях цилиндрической. Примем, что поперечный размер этой области в устойчивом резонаторе определяется апертурной диафрагмой, а в СФНР — первым минимумом поперечного распределения интенсивности, который отстоит от оси резонатора на $1,5Ma$ [3]. Тогда отношение объемов мод в СФНР и устойчивом резонаторе приблизительно равно $1,4M^3/N(M+1)^2$, где N — число Френеля устойчивого резонатора. Поскольку величина обратной связи СФНР пропорциональна M^{-2} [3], выбор M зависит от усиления активной среды.

При типичных для электроразрядных CO₂-лазеров с поперечной прокачкой характеристиках активной среды и многопроходной схеме резонатора приемлемы значения $M=4-5$, при соответствующей им обратной

связи энергетическая эффективность резонатора еще близка к максимальной. Выигрыш в объеме моды по сравнению с устойчивым резонатором составляет в этом случае 2—4 раза, если принять, что для обеспечения одномодовой генерации необходимо $N=1-1,5$.

Исследования СФНР были продолжены на лазерном модуле с двумя разрядными промежутками в общем газовом потоке [8]. Каждая из активных зон имела размеры приблизительно $5 \times 10 \times 110$ см и коэффициент усиления малого сигнала $\sim 0,8$ см⁻¹. Лазер работал на газовой смеси CO₂-N₂-He при отношении парциальных давлений 1:3:2 и суммарном давлении 15 мм рт. ст.; скорость газового потока в зоне разряда около 30 м/с. В большем плече луч совершает восемь проходов, увеличение резонатора $M=4$, диаметр отверстия диафрагмы 8,5 мм. Выходная мощность составила 3,5 кВт, что всего на 10 % меньше, чем в случае шестипроходного неустойчивого телескопического резонатора с увеличением $M=3$ и диаметром отверстия связи в выводном зеркале 16 мм при тех же параметрах активной среды.

Таким образом, СФНР, приближаясь по энергетической эффективности к неустойчивому телескопическому резонатору, обеспечивает генерацию выходного пучка, близкого по качеству к гауссову. Это делает перспективным его использование в проточном электроразрядном CO₂-лазере киловаттных уровней мощности.

Авторы благодарят С. С. Воронцова за предоставление тепловизионной аппаратуры и методические консультации.

1. Ю. А. Ананьев. Оптические резонаторы и проблема расходимости лазерного излучения.— М.: Наука, 1979.
2. P. G. Gobbi, G. C. Realy. *Proc. SPIE*, **492**, 68 (1985).
3. P. G. Gobbi, S. Morosi, G. S. Realy, A. Z. Zarkasi. *Appl. Optics*, **24**, 26 (1985).
4. R. Barbini, A. Chigo, M. Giorgi, K. N. Iyer, A. Palucci, S. Ribesso. *Optics Comms*, **60**, 239 (1986).
5. V. Boffa, P. Di Lazzaro, G. P. Gallerano, G. Giordano, T. Hermsen, T. Letardi, C. E. Zheng. *IEEE J. QE-23*, 1241 (1987).
6. В. К. Голов, А. И. Иванченко, В. В. Крашенинников, А. Г. Пономаренко, А. А. Шепеленко, В. Б. Шулятьев. *Изв. СО АН СССР. Сер. техн.*, № 10, вып. 2, 87 (1986).
7. С. С. Воронцов, А. А. Гализин, Г. Н. Грачев, А. И. Иванченко, А. Х. Хабибуллин, В. Б. Шулятьев. Тез. докл. IV Всес. конф. «Оптика лазеров». — Л., 1984, с. 266.
8. А. И. Иванченко, В. В. Крашенинников, А. Г. Пономаренко, А. А. Шепеленко. *Квантовая электроника*, **12**, 2155 (1985).

Институт теоретической
и прикладной механики
СО АН СССР, Новосибирск

Поступило в редакцию
26 апреля 1988 г.

A. I. Ivanchenko, V. V. Krasheninnikov, A. G. Ponomarenko, V. V. Shulyat'ev. **A Self-Filtering Resonator in a CW CO₂ Laser.**

Tests are reported of a self-filtering unstable resonator (SFUR) under conditions of a CW CO₂ laser. The divergence of the obtained output beam is close to the diffraction limit. As it follows from an evaluating comparison with a stable resonator of the same length, the use of the SFUR in electric-discharge CW CO₂ lasers with kilowatt power levels makes it possible to enlarge severalfold the active volume filled with the lower mode without substantial deterioration of the beam quality and the energy efficiency of the resonator.