

УДК 621.373.826

Евгений БЕРИК, Владимир ДАВЫДЕНКО

К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ ТЕРМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИМПУЛЬСНЫХ ЛАЗЕРОВ НА КРАСИТЕЛЯХ С ЭКСИМЕРНОЙ НАКАЧКОЙ

(Представил П. Саари)

Влияние термически наведенных оптических неоднородностей, возникающих в активных средах лазеров при мощной накачке, на характеристики одиночного импульса рассмотрены для твердотельных лазеров [1, 2] и лазеров на красителях с ламповой [3, 4] и продольной лазерной накачкой [5, 6]. Для лазеров на красителях с поперечной накачкой азотным лазером отмечалось насыщение эффективности при энергиях возбуждающего импульса ~ 5 мДж [7].

Интерес к влиянию тепловых эффектов для данного типа лазеров на красителях возрос с появлением нового класса источников накачки — эксимерных электроразрядных лазеров. При возбуждении УФ-излучением красителей видимого и ИК-диапазона в активной среде за счет большого стокового сдвига выделяется гораздо больше тепла в расчете на один фотон, чем при накачке ИАГ-лазерами; использование поперечной накачки раствора красителя определяет значительную, до нескольких сантиметров, длину активной зоны, а энергия импульса эксимерного лазера на один-два порядка превышает энергию импульса азотных лазеров. Эти факторы, в сумме, приводят к значительному проявлению тепловых эффектов в лазерах на красителях с эксимерной накачкой.

Эксперимент

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. Объектом исследования служил генератор импульсного лазера на красителях ВЛ-10 [8]. Резонатор лазера длиной 245 мм образован дифракционной решеткой-эшелле 600 штрихов/мм и выходным зеркалом с коэффициентом отражения 4%. Между активной средой длиной 20 мм и решеткой помещен 40-кратный расширитель пучка; коэффициент отражения за обход системы расширитель—решетка составляет на длине волны 600 нм $\sim 12\%$. Система прокачки красителя родамин 6Ж обеспечивала смену раствора красителя в зоне возбуждения за ~ 10 мс.

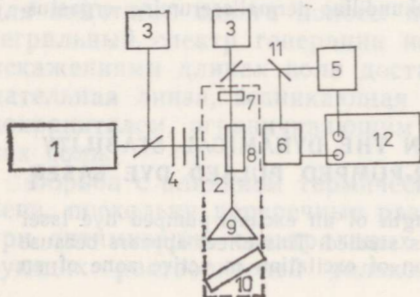


Рис. 1. Схема экспериментальной установки. 1 — эксимерный лазер ЭЛИ-3, 2 — генератор лазера ВЛ-10, 3 — измеритель мощности ИМО-2Н, 4 — ослабляющие фильтры, 5 — ФЭК-26, 6 — ФЭК-15, 7 — выходное зеркало генератора, 8 — кювета генератора, 9 — расширитель пучка, 10 — решетка, 11 — делители пучка, 12 — стробоскопический осциллограф С8-13.

Накачка лазера на красителях осуществлялась эксимерным электроразрядным лазером ЭЛИ-3 с энергией в импульсе до 40 мДж с частотой 10 Гц.

Временной ход импульса генерации лазера на красителях и импульса накачки регистрировался на стробоскопическом осциллографе С8-13 с помощью ФЭК-15 и ФЭК-26. Абсолютное значение средней мощности лазерного излучения измерялось калориметрическим прибором ИМО-2Н.

Был изучен отмеченный ранее [7, 9] эффект уменьшения к. п. д. генерации лазера на красителях с увеличением энергии импульса накачки $E_{\text{нак}}$ при одновременном контроле временных характеристик выходного излучения. На рис. 2 приведен график зависимости $E_{\text{ген}} = E_{\text{ген}}(E_{\text{нак}})$, причем для каждой измеренной точки представлена также временная форма импульса генерации.

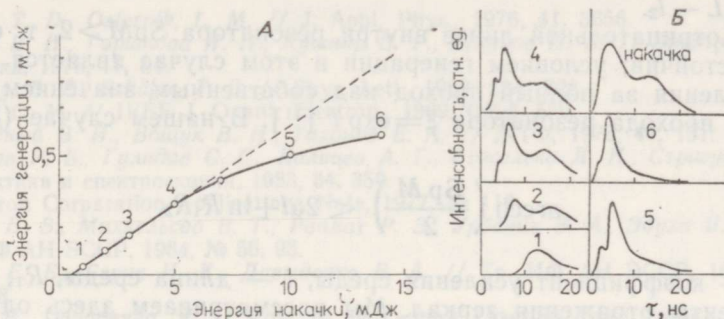


Рис. 2. Зависимость энергии выходного импульса задающего генератора лазера ВЛ-10 от энергии импульса накачки (А; номера точек соответствуют номерам контуров в части Б) и осциллограммы импульсов генерации при различных энергиях накачки (Б). Краситель родамин 6Ж, длина волны генерации 585 нм.

При малых энергиях накачки вблизи порога импульс перестраиваемой генерации возникает значительно позже импульса накачки, что связано с необходимостью совершить несколько круговых обходов резонатора до развития генерации при малом усилении активной среды. С увеличением мощности накачки время развития перестраиваемой генерации сокращается и выходной импульс лазера на красителях приближается по форме к импульсу накачки. Этому моменту соответствует максимальная эффективность работы лазера (точка 4 на рис. 2, А).

Дальнейшее повышение $E_{\text{нак}}$ приводит к незначительному смещению переднего фронта импульса перестраиваемой генерации, мощность пика генерации остается пропорциональной $E_{\text{нак}}$, однако задний фронт начинает обрезаться, что приводит к укорочению импульса и снижению его эффективности. При очень больших энергиях возбуждения длительность импульса лазера на красителях сокращается по сравнению с длительностью импульса накачки в несколько раз (точка 6 на рис. 2, А). Подтверждение предположения о тепловом характере насыщения эффективности проведено Е. Бериком и др. [9, 10] путем измерения спектральных характеристик генерации лазера на красителях с возмущением. Указано также, что непосредственным механизмом снижения эффективности может являться формирование тепловой отрицательной цилиндрической линзы в активной зоне лазера на красителях, приводящей к нестабильности резонатора. Попытаемся теоретически показать, что отрицательная линза в резонаторе лазера ВЛ-10 может приводить к снижению эффективности генерации, отмеченному в эксперименте. Резонатор лазера является устойчивым, если выполняется усло-

вие $-1 < \frac{\text{Sp} M}{2}$, где $\text{Sp} M$ — след матрицы полного обхода резонатора. Для теоретического анализа примем следующую конфигурацию резонатора: длина $L=245$ мм, активная среда, где формируется отрицательная цилиндрическая линза, расположена на расстоянии $l_2=45$ мм от выходного зеркала, все зеркала плоские (рис. 3). Для матрицы полного обхода резонатора имеем:

$$\frac{\text{Sp} M}{2} = 1 + \frac{2}{f} L_{\text{эф}},$$

где f — фокусное расстояние линзы,

$$L_{\text{эф}} = L + \frac{l_1 l_2}{f},$$

где $l_1 = L - l_2$.

При отрицательной линзе внутри резонатора $\text{Sp} M > 2$, т. е. резонатор неустойчив; условием генерации в этом случае является превышение усиления за полный проход над собственным значением матрицы полного прохода резонатора $\xi = \exp t$ [11]. В нашем случае ($\text{Sp} M > 2$) имеем:

$$\text{arcch} \left(\frac{\text{Sp} M}{2} \right) < 2\alpha l + \ln R_1 R_2, \quad (1)$$

где α — коэффициент усиления среды, l — длина среды, R_1, R_2 — коэффициенты отражения зеркал. Мы рассматриваем здесь одномерную задачу, поскольку, как показано в [9, 10], отклонение пучка в плоскости дисперсии решетки компенсируется сдвигом длины волны генерации.

График зависимости величины $p = \text{arcch} \left(\frac{\text{Sp} M}{2} \right)$ от фокусного расстояния линзы приведен на рис. 4. Для параметров резонатора лазера на красителях ВЛ-10 и коэффициента усиления $\alpha \sim 2 \text{ см}^{-1}$ получаем, что пороговое условие (1) в конкретном случае лазера ВЛ-10 выглядит так:

$$\text{arcch} \left(\frac{\text{Sp} M}{2} \right) < 2,66,$$

и легко показать, что оно наступит при фокусном расстоянии внутрирезонаторной отрицательной линзы ~ 10 см.

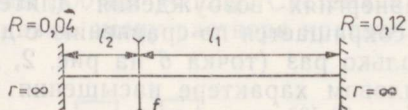


Рис. 3. Оптическая схема расчетной модели лазера с внутрирезонаторной рассеивающей линзой. f — линза, $l_1 + l_2$ — длина резонатора, R — коэффициент отражения, r — радиус кривизны зеркал.

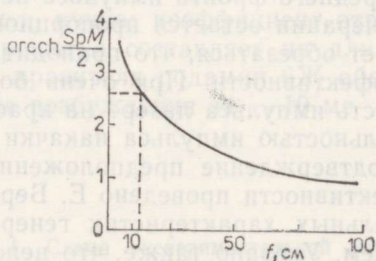


Рис. 4. Теоретическая зависимость параметра $p = \text{arcch} \left(\frac{\text{Sp} M}{2} \right)$ от фокусного расстояния f внутрирезонаторной линзы для параметров резонатора лазера ВЛ-10.

Линза с таким фокусным расстоянием формируется в возбужденной зоне лазера с активной средой родамин 6Ж при накачке излучением с длиной волны 308 нм и энергией ~ 10 мДж [9]. Сравнивая результаты теоретической оценки с экспериментальным графиком (рис. 2), видим достаточно хорошее совпадение; насыщение эффективности наступает при энергии накачки ~ 10 мДж.

Таким образом, снижение эффективности генерации лазера на красителях при увеличении энергии накачки можно объяснить влиянием термически наведенной тепловой линзы, приводящей к нестабильности резонатора и сокращению длительности генерации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Foster, T. D., Osternik, L. M. // J. Appl. Phys., 1976, 41, 3656.
2. Быков В. Н., Горшкова Н. Н., Кушнин В. Р., Шкунов Н. В. // Электронная техника, 1978, 11, 64.
3. Snavely, B. V., Schäfer, F. P. // Phys. Lett., 1969, 28A, 728.
4. Ferrar, C. M. // IEEE J. Quant. Electron., 1969, QE-5, 550.
5. Безродный В. И., Ващук В. И., Тихонов Е. А. // ЖТФ, 1978, 48, 151.
6. Андреев Р. Б., Гулидов С. С., Калицев А. Г., Стаселько Д. И., Стригун В. Л. // Оптика и спектроскопия, 1983, 54, 350.
7. Moletron Corporation Applications Note, 1977, № 113.
8. Берик Е. Б., Михельсоо В. Т., Раамат Р. Э., Урбаник Э. А., Эдула Я. А. // Тр. ИФ АН ЭССР, 1984, № 56, 93.
9. Берик Е. Б., Берик И. К., Давыденко В. А. // Тр. ИФ АН ЭССР, 1987, № 60, 148.
10. Berik, E., Davydenko, V. // Proc. of Conference Laser-88, Lake Tahoe, 1989, 256.
11. Gerrard, A., Burch, J. M. Introduction to Matrix Methods in Optics. London, Wiley, 1975.

Институт физики
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
27/III 1989

Eugeni BERIK, Vladimir DAVYDENKO

TERMILISTE EFEKTIDE MÕJUST EKSIMEERPUMPAMISEGA IMPULSSVÄRVUSLASERITE EFEKTIIVSUSELE

Eksimeerpumpamisega impulssvärvuslaserite efektiivsuse langus pumpamisenergia suurendamisel on seletatav termiliselt tekitatud soojusläätte mõjuga. See põhjustab resonatori ebastabiilsuse, generatsiooni kestuse vähenemine aga viib laseri efektiivsuse langemisele.

Eugeni BERIK and Vladimir DAVYDENKO

ON THE INFLUENCE OF THERMAL EFFECTS ON THE EFFICIENCY OF AN EXCIMER-PUMPED PULSED DYE LASER

It is shown that an efficiency reduction of an excimer-pumped pulsed dye laser can be explained by the influence of thermally produced negative lens in an active zone which leads to the instability of the resonator and, in consequence, to a reduction of efficiency caused by the decrease of dye pulse duration.