

П. Парвин^{1,2}, А. Ислами¹, Н. Амири¹

Лазер на красителе родамин-6Ж с накачкой излучением KrF-лазера (248 нм)

¹ Физический факультет, Университет Амира Кабира,² Лаборатория эксимерных лазеров, Лазерный исследовательский центр, Иранская организация атомной энергии, г. Тегеран, Иран

Поступила в редакцию 17.01.2003 г.

Описан лазер на красителе родамин-6Ж с накачкой излучением KrF-лазера. Приведены результаты измерения интенсивности насыщения и коэффициента усиления активной среды при малом уровне сигнала. Найденные значения этих параметров составили 350 кВт/см² и 2,6 см⁻¹ соответственно.

Введение

Применение перестраиваемых лазеров на красителях представляет значительный интерес для медицины и лазерной спектроскопии. Ключевыми параметрами схемы генератора лазера на красителях являются концентрация красителя, длина резонатора и источник излучения накачки. При увеличении концентрации красителя в таких лазерах наблюдаются красный сдвиг и уширение полосы излучения [1], в основном благодаря столкновительному уширению [2].

Ширина линии излучения импульсных лазеров зависит от длины резонатора, поскольку увеличение длины приводит к более высоким значениям расходимости лазерного излучения [3]. При этом длина резонатора имеет решающее значение для эксимерных лазеров, в которых время жизни фотонов порядка 5–6 нс соответствует длине активной среды порядка 30–70 см, но в то же время она менее важна для лазеров на красителях, характеризующихся длиной резонатора в несколько сантиметров и пикосекундным временем жизни фотонов. Выбор оптимального источника излучения накачки влияет на эффективность работы лазера. Сообщалось, что при накачке излучением KrF- и XeCl-лазеров кпд лазера на красителе родамин-6Ж достигал ~27 и ~50% соответственно [4]. Хорошо известно, что лазеры на кумарине с накачкой излучением XeCl-лазера и лазеры на родамине, накачиваемые лазером на парах меди, также обладают высоким кпд [5].

С другой стороны, общепризнано, что ключевыми проблемами при разработке и создании комплекса генератор–усилитель являются синхронизация накачки генератора и усилителя и концентрация красителя в усилителе.

В данной статье мы представляем лазер на красителе родамин-6Ж с накачкой излучением эксимерных ArF- (193 нм) и KrF- (248 нм) лазеров,

разработанный и созданный нашей группой исследователей. В экспериментах в основном использовалась накачка излучением KrF-лазера, поскольку при облучении мощным ультрафиолетовым пучком на более коротких длинах волн наблюдается фотодиссоциация молекул.

Теория

Основное соотношение для усиления, получаемого в лазере на красителе, может быть представлено следующим образом [6,7]:

$$(I_{out} - I_{in})/I_s - \gamma_0 l = -\ln(I_{out}/I_{in}), \quad (1)$$

где I_s и γ_0 – интенсивность насыщения и коэффициент усиления при малом уровне сигнала; l – длина усилителя; I_{out} и I_{in} – входная и выходная интенсивности. В некоторых случаях соотношение (1) можно упростить:

$$I_{out} = I_{in} \exp(\gamma_0 l), \quad I_{in} \gg I_s, \quad (2)$$

$$I_{out} = I_{in} + I_s \gamma_0 l, \quad I_{in} \ll I_s. \quad (3)$$

Эти соотношения показывают, что при низкой входной интенсивности коэффициент усиления увеличивается и становится равным коэффициенту усиления при малом уровне сигнала, а при высокой интенсивности он уменьшается до значения, соответствующего насыщению [8, 9].

В отличие от лазера на красителе соотношение для коэффициента усиления эксимерного KrF-лазера подчиняется модели Хопфа и может быть записано следующим образом [10]:

$$I_{out} = I_s \ln \left\{ 1 + \exp(\gamma_0 l) \left[\exp\left(\frac{I_{in}}{I_s}\right) - 1 \right] \right\}. \quad (4)$$

При этом I_{out} может быть рассчитано непосредственно из I_{in} , в то время как уравнение (1) допускает только численное решение.

Кроме того, соотношение (4) справедливо для однородно уширенной активной среды при условии $(\Delta\nu)_c/(\Delta\nu)_D \gg 1$, где $(\Delta\nu)_c$ и $(\Delta\nu)_D$ обозначают столкновительную и доплеровскую ширину линии соответственно, но не может применяться для лазера на красителе из-за неоднородного уширения. Кроме того, соотношение (4) было получено при определенных приближениях, таких как пренебрежение вероятностью спонтанного излучения, которые, как правило, не могут быть приняты для активной среды лазера на красителе с высокой вероятностью усиления спонтанного излучения [10]. Коэффициент усиления по мощности может быть представлен следующим образом:

$$\gamma(\nu) = \gamma_0(\nu) / \left\{ 1 + \frac{I_\nu}{I_s} \bar{g}(\nu) \right\}. \quad (5)$$

Это соотношение справедливо как для эксимерного лазера, так и для узкополосного лазера на красителе; $\bar{g}(\nu)$ – нормализованный контур линии, такой что $\int \bar{g}(\nu) d\nu = 1$.

Экспериментальная установка

Для перестройки излучения лазера на красителе и сужения пучка применяются различные оптические схемы, такие как схема Ханча, схема с призмой в резонаторе и схема Литтмана. Каждая из них обладает собственными достоинствами и недостатками. Мы выбрали схему Литтмана, так как эта схема при более простой юстировке обеспечивает получение одиночной линии со спектральной шириной порядка $0,001 \text{ \AA}$, без использования интерферометра Фабри–Перо. Как известно, дифракционная решетка в схеме Литтмана играет роль расширителя пучка и одновременно дисперсионного элемента, относительная дисперсия которого в два раза выше, чем в схеме Литтроу. Схема Литтмана приведена на рис. 1 [11].

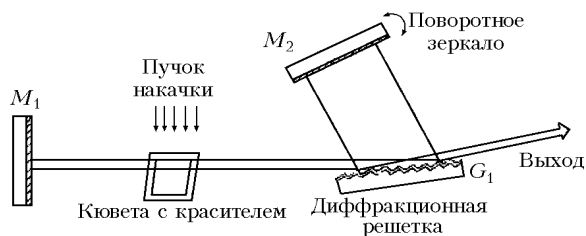


Рис. 1. Схема установки Литтмана

В данной работе оптическая схема включала зеркало и дифракционную решетку 1200 штрихов/мм с углом блеска 10° при угле падения 86° . Кювета длиной 1 см (с раствором красителя $1,32 \text{ г/л}$) устанавливалась в резонаторе длиной 7 см с задним зеркалом радиусом 1 м , имеющим высокую отражательную способность.

Импульсы излучения на выходе измерялись с помощью полупроводникового детектора (PIN диод EG&G FND 100), 400-МГц осциллографа (Tektronix 7844) и откалиброванного измерителя мощности (Fieldmaster с головкой LM P10).

Результаты и обсуждение

Нам удалось получить генератор для лазера на красителе, излучающий без дисперсионного элемента в резонаторе спектр шириной 40 нм , состоящий из интенсивных желтых, средних по интенсивности красных и слабых зеленых полос в видимой области. Сечение лазерного пучка до сужения показано на рис. 2. По окончании процесса сужения спектр последовательно разделялся на полосы. Для усиления мы выбрали полосу на 573 нм .



Рис. 2. Поперечное сечение пучка до сужения

Блок-схема комплекса генератор–усилитель иллюстрируется на рис. 3. Кювета длиной 1 см с раствором $1,2 \text{ г/л}$ родамина-6Ж, циркулирующего в метаноле, использовалась в качестве генератора, а кювета длиной 2 см с раствором красителя $1,8 \text{ г/л}$ служила усилителем.

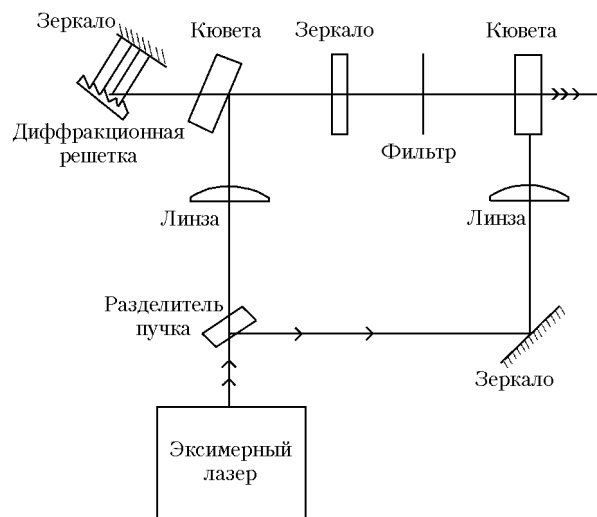


Рис. 3. Блок-схема комплекса генератор – усилитель

Оптическая схема накачки включала две цилиндрических кварцевых линзы с фокусным расстоянием 10 см и разделитель пучка. Нейтральные

фильтры различной оптической плотности применялись для изменения интенсивности излучения на входе в усилитель с целью получения различных значений интенсивности на выходе.

Энергия и полуширина (FWHM) типичных импульсов эксимерного лазера составляли ~ 100 мДж и ~ 8 нс соответственно, а для лазера на красителе эти параметры равнялись $\sim 0,8$ мДж и 3 нс.

Оптимальный оптический путь излучения накачки выбирался с учетом получения подходящих условий синхронизации. Типичные импульсы генератора и усилителя показаны на рис. 4.

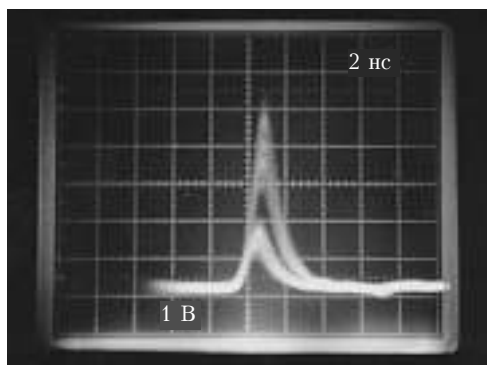


Рис. 4. Осциллограмма импульсов генератора и усилителя

Интенсивность излучения после усиления для различных значений входных импульсов в логарифмическом представлении приведена на рис. 5. Аналогичная зависимость для коэффициента усиления представлена на рис. 6. Коэффициент усиления по плотности мощности в децибелах определяется как $10 \log(I_{out}/I_{in})$.

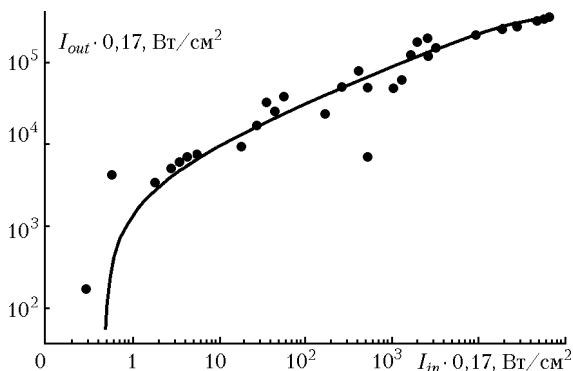


Рис. 5. Импульс на выходе усилителя при различных значениях входного импульса в логарифмическом представлении

На рис. 6 видна область плато на уровне ~ 33 дБ, а затем спад коэффициента усиления при входной интенсивности ~ 220 кВт/см².

P. Parvin, A. Eslami, N. Amiri. Design and fabrication of KrF (248 nm) pumped Rd6G narrowband (Littman setup) dye laser in order to determine saturation intensity (I_s) and small-signal gain (γ_0) of the amplifying medium.

An oscillator-amplifier KrF pumped Rd6G dye laser has been successfully assembled in order to measure the small signal gain and saturation intensity of amplifying medium. We have determined γ_0 and I_s to be 2.6 cm^{-1} and 350 kW/cm^2 respectively.

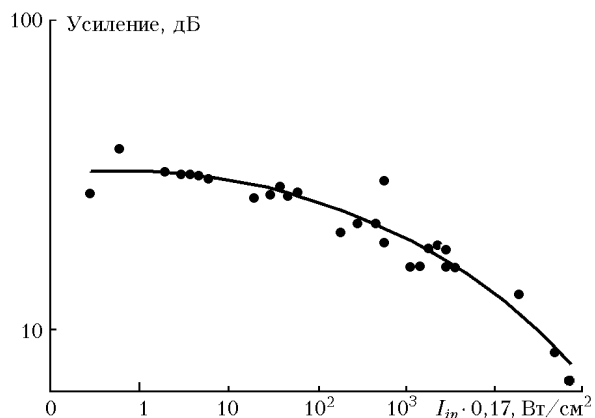


Рис. 6. Коэффициент усиления в зависимости от входной интенсивности

Анализируя соотношения (2), (3), можно сделать вывод, что γ_0 можно определить путем сравнительных измерений импульсов накачки генератора и усилителя оптических сигналов с помощью PIN приемника, однако значение I_s должно рассчитываться на основе абсолютных энергетических измерений с помощью откалиброванного джоульметра.

По экспериментальным данным (рис. 6) мы рассчитали значения γ_0 и I_s , используя соотношение (1), они составили $2,6 \text{ cm}^{-1}$ и 350 кВт/см^2 соответственно на длине волны 573 нм.

1. *Schafer F.P.* Dye Laser. Springer-Verlag, 1989. P. 47.
2. *Demtroder W.* Laser Spectroscopy. Springer-Verlag, 1995. P. 71–78.
3. *Yixian L., Fuming L.* Study of picosecond tunable ultrashort cavity dye laser // Chinese physics-lasers. 1987. V. 14. N 3.
4. *Uchino O., Mizunami T., Maeda M. and Miyazoe Y.* Efficient dye lasers pumped by XeCl excimer laser // Appl. Phys. 1979. V. 19. P. 35–37.
5. *Duarte F.J.* Tunable Laser Handbook. San Diego: Academic Press, 1995.
6. *Saliminia A., Parvin P., Zare A., Sadighi R.* The small signal gain and the saturation intensity measurement of the nitrogen-ion laser // Opt. and Laser Technology. 1996. V. 28. N 3. P. 207–211.
7. *Verdyen J.T.* Laser Electronics. Prentice-Hall international, Inc. 1989.
8. *Third training college on physics and technology of laser and optical fibers.* ИТр, 1992.
9. *Parvin P., Zaefarari M.S., Mirabbaszadeh, Sadighi R.* Measurement of the small-signal gain and saturation intensity of a XeF discharge laser // Appl. Opt. 1997. V. 36. N 6. P. 1139–1142.
10. *Hopf F.* High energy lasers and their applications. Addison Wesley, Reading, Mass., 1974.
11. *Nair L.G.* Dye lasers // Quantum. Electron. 1982. V. 7. P. 153–268.