

А.К. Сергеев, Р.Т. Кузнецова, Т.Н. Копылова, Е.Н. Тельминов

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА УСИЛЕНИЯ ЭТАНОЛЬНОГО РАСТВОРА 2-(4-ПИРИДИЛ)-5-ФЕНИЛОКСАЗОЛА ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ ЛАЗЕРНОМ ВОЗБУЖДЕНИИ

Приведены результаты измерений коэффициента усиления этанольного раствора 4РyPO методом внесения в оптический резонатор калиброванных потерь. Коэффициент усиления измерен в зависимости от плотности мощности излучения накачки.

Повышение выходных характеристик перестраиваемых лазеров на основе органических соединений подразумевает их накачку мощными твердотельными и газовыми лазерами. Мощные световые потоки лазеров, используемых в качестве накачки, создают высокую концентрацию возбужденных молекул в течение импульса возбуждения, в результате чего изменяются оптические свойства возбужденной среды как за счет фотофизических причин: просветление растворов на длине волны возбуждения, поглощение света возбужденными молекулами в разных формах и состояниях, так и за счет изменения термических свойств растворов: образование термических линз, пространственных решеток [1]. Все это приводит к уменьшению выходной энергии перестраиваемых лазеров на основе растворов органических соединений при увеличении мощности возбуждения [2–4]. Необходимость выяснения причин уменьшения эффективности генерации требует исследования оптических свойств активных сред в условиях мощного возбуждения.

В качестве объекта исследования выбрана активная среда на основе этанольного раствора 2-(4-пиридил)-5-фенилоксазола (4РyPO) в концентрации 10^{-3} моль/л. Характерной особенностью этанольного раствора 4РyPO является уменьшение КПД преобразования излучения эксимерных ХеСl*-лазеров при увеличении плотности мощности накачки [5].

Обычно применяемый для измерения коэффициента усиления активных сред на основе растворов красителей с поперечной накачкой метод Шенка [6] дает точные результаты в узкой области энергии накачки (до 1 МВт/см^2), т.е. тогда, когда коэффициент усиления пропорционален накачке. При наличии процесса насыщения поглощения этот метод, основанный на сравнении интенсивной люминесценции при различных длинах активной среды, дает большие погрешности, т.к. при однопроходном режиме (при больших плотностях мощности накачки) часть молекул, находящихся в возбужденном состоянии, не успевает перейти в основное состояние. Результатом этого является заниженное значение коэффициента усиления при высоких плотностях возбуждения [7].

В данном эксперименте для измерения коэффициента усиления активной среды (коэффициента отрицательного поглощения $K_{\text{ус}} + K_{\text{пот}}$) использовался метод калиброванных потерь, основанный на внесении в оптический резонатор известных потерь и увеличении их вплоть до срыва генерации [8]. Тогда полные потери становятся равными усилению активной среды. При наличии внесенных потерь условие самовозбуждения активной среды принимает следующий вид:

$$K_{\text{ус}} + K_{\text{пот}} = \frac{1}{2L} \ln \frac{1}{R_1 R_2 T^2}, \quad (1)$$

где $K_{\text{ус}}$ – коэффициент усиления, обусловленный фотофизическими свойствами среды; $K_{\text{пот}}$ – коэффициент потерь в резонаторе и среде, обусловленный рассеянием на оптических неоднородностях лазерного вещества, поглощением неактивными центрами и т. п.; R_1, R_2 – коэффициент отражения зеркал резонатора; T – коэффициент пропускания внесенных потерь. Таким образом, для нахождения $K_{\text{ус}}$ необходимо знать $K_{\text{пот}}$.

Для измерения собственных потерь был использован метод, предложенный группой авторов в работе [9]. Метод основан на измерении квантового выхода генерации (η) при варьировании пропускания зеркал резонатора. Наглядная математическая зависимость величины $1/\eta$ от коэффициента полезных потерь на выходных зеркалах (K_r) представлена следующим уравнением [9]:

$$(1 - 1/X)/\eta = G/(K_r \eta^{np}) \{K_{пр} + \alpha_r (1 - \eta^{np})\}, \quad (2)$$

где X – превышение мощности накачки над пороговой; $1/G$ – коэффициент использования накачки, поглощенной в активной среде (при $G = 1$ каждый поглощенный квант приводит к возбуждению молекул на лазерный уровень); η^{np} – предельный квантовый выход [9]; α_r – коэффициент поглощения генерируемого излучения возбужденными молекулами красителя; $K_r = \frac{1}{2L} \ln \left(\frac{1}{R_1 R_2} \right)$ – коэффициент полезных потерь; $K_{пр}$ – коэффициент поглощения, количественно характеризующий прочие потери (рассеяние, неактивное поглощение и т.д.) в растворе и резонаторе (кроме поглощения возбужденными молекулами и полезных потерь на выходных зеркалах).

Уравнение (2) выведено авторами [9] из работ Б.И. Степанова [10] в предположении стационарной генерации и равномерного возбуждения. В [9] проверена пригодность этой формулы для импульсного режима. Из (2) следует, что при $X \gg 1$ и условии независимости величин G , η^{np} , $K_{пр}$, $\alpha_r(1 - \eta^{np})$ от K_r , зависимость $1/\eta$ от $1/K_r$ описывается прямой линией, тангенс наклона которой к оси абсцисс

$$\text{tg}\alpha = \frac{G}{\eta^{np}} \{K_{пр} + \alpha_r (1 - \eta^{np})\}. \quad (3)$$

При этом линия оси ординат отсекает отрезок, соответствующий величине G/η^{np} . Таким образом, представляется возможность сравнительно простой экспериментальной оценки $K_{пот}$:

$$K_{пот} = \frac{\eta^{np} \text{tg}\alpha}{G} = \{K_{пр} + \alpha_r (1 - \eta^{np})\}. \quad (4)$$

Измерения $K_{ус} + K_{пот}$ и $K_{пот}$ проводились при одинаковой геометрии эксперимента. Накачка красителя осуществлялась ХеСl* -лазером с параметрами: $\lambda = 308$ нм, $t_n = 10$ нс, $E = 40$ мДж. Излучение накачки фокусировалось цилиндрическими линзами в пучок размером $2 \times 0,05$ см, который направлялся на грань кюветы с раствором красителя. В качестве ослабителей накачки и внесенных потерь использовались нейтральные светофильтры. Измерения проводились для различных коэффициентов отражения выходных зеркал ($R_1 = 100\%$, $R_2 = 7, 20, 38, 83\%$). Относительная ошибка измерений квантового выхода генерации (η) составляла $\sim 10\%$. Для измерений $K_{ус} + K_{пот}$ (при определенной энергии накачки) внутрь резонатора вносились потери вплоть до срыва генерации, и для каждого значения энергии накачки вычислялось суммарное значение молекулярного коэффициента усиления и коэффициента потерь. Используемые в качестве внесенных потерь нейтральные светофильтры были сориентированы так, чтобы предотвратить развитие паразитной генерации от их граней.

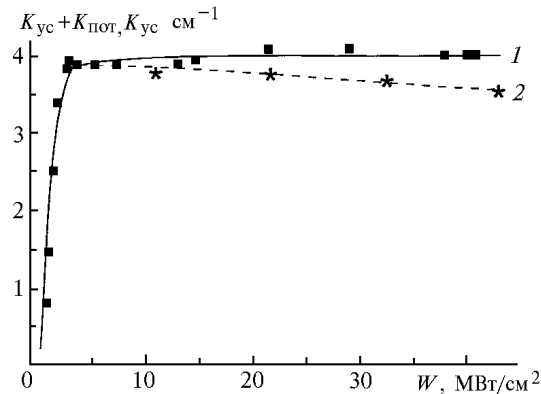


Рис. 1. Зависимость коэффициента усиления от плотности мощности накачки: 1 – $K_{ус} + K_{пот}$; 2 – $K_{ус}$

В итоге были получены зависимости $K_{\text{ус}} + K_{\text{пот}}$ от W , подобные представленной зависимости на рис. 1, из которой видно, что в области малой плотности мощности накачки $K_{\text{ус}} + K_{\text{пот}}$ практически линейно растет, затем выходит на насыщение ~ 5 МВт/см². Кривые, полученные для разных коэффициентов отражения выходных зеркал, в пределах ошибки совпадают.

Зависимости $\eta(W)$ приведены на рис. 2, из которого видно, что η вблизи порога резко увеличивается, достигает максимума, затем уменьшается при увеличении накачки до 40–50 МВт/см². Для построения зависимости $1/\eta$ ($1/K_r$) использовались значения η при одинаковой плотности мощности накачки (см. кривые рис. 2). Зависимость $1/\eta$ ($1/K_r$), начиная с 10 МВт/см², имела линейный характер. Далее были построены эти зависимости для плотностей мощности $W = 10, 20, 30, 40$ МВт/см².

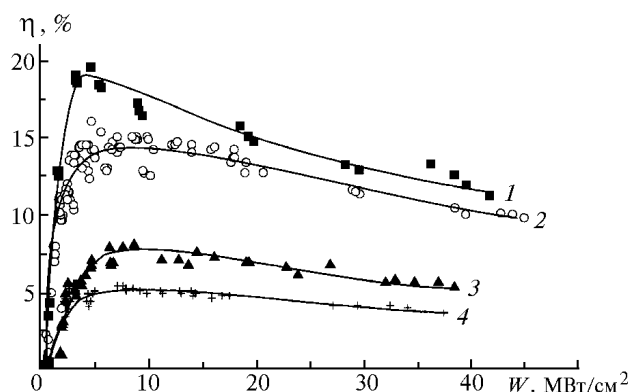


Рис. 2. Зависимость квантового выхода генерации от плотности мощности накачки для различных R_2 :
1 – $R_2 = 7\%$; 2 – $R_2 = 20\%$; 3 – $R_2 = 38\%$; 4 – $R_2 = 83\%$

На рис. 3 представлена зависимость $1/\eta$ ($1/K_r$) для 10 МВт/см². $K_{\text{пот}}$ определяется по формуле (4) из зависимостей, подобных представленной на рис. 3. Значения $K_{\text{пот}}$ менялись от 0,18 см⁻¹ при 10 МВт/см² до 0,42 см⁻¹ при 40 МВт/см². По результатам полученных значений $K_{\text{пот}}$ построен ход так называемого молекулярного $K_{\text{ус}}$ (пунктирная линия 2 на рис. 1).

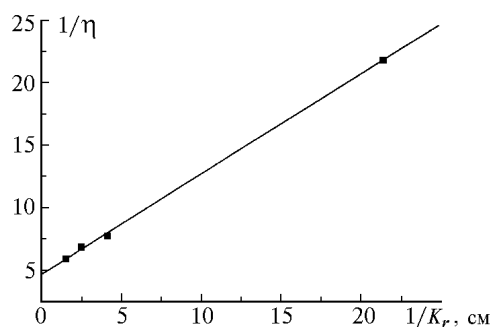


Рис. 3. Зависимость $1/\eta$ от $1/K_r$ для $W = 10$ МВт/см²

Анализ полученных результатов показывает, что с увеличением плотности мощности возбуждающего излучения $K_{\text{ус}}$ падает, а $K_{\text{пот}}$ растет, что согласуется с результатами, полученными С.А. Батище [2] и А.В. Аристовым [9] для родамина 6Ж.

Причин такого поведения $K_{\text{ус}}$ и $K_{\text{пот}}$ в мощных световых полях может быть несколько: увеличение рассеяния излучения генерации при увеличении плотности накачки [9], некогерентная свертлюминесценция [11, 12]. Выяснение степени их влияния на $K_{\text{ус}}(W)$ и $K_{\text{пот}}(W)$, как и влияния $K_{\text{ус}}$ и $K_{\text{пот}}$ на $\eta(W)$, требует проведения дальнейших исследований.

1. Батище С.А., Малевич Н.А., Мостовников В.А. // Оптика и спектроскопия. 1995. Т. 78. № 4. С. 654–658.
2. Батище С.А., Ганжа В.А., Малевич Н.А. и др. // ЖПС. 1983. Т. 39. № 6. С. 934–938.
3. Наровлянская Н.М., Пржонская О.В., Тихонов Е.А. // ЖТФ. 1979. Т. 49. № 8. С. 1678–1682.

4. Дегтяренко К.М., Ефремов А.М., Копылова Т.Н. и др. // Квантовая электроника. 1995. Т. 22. N 5. С. 477–478.
5. Kuznetsova R.T., Kopylova T.N., Degtjarenko K.M. et al. Effect of excitation condition on photostability of 2(4-pyridyl)-5-phenyloxazole laser media / Atomic and Molecular Pulsed Laser. V.F. Tarasenko, G.V. Mayer, G.G. Petrush, Editors // Proc. SPIE. 1995. V. 2619. P. 150–155.
6. Sank C.V., Diens A., Silfvast W.T. // Appl. Phys. Lett. 1970. V. 17. N 7. P. 307–309.
7. Mohan D., Gaur A. et al. // J. of Luminesc. 1989. V. 43. P. 363–368.
8. Гусев В.Г., Пойзнер Б.Н. Лабораторный практикум по физике лазеров. Томск: Изд-во ТГУ, 1992. 240 с.
9. Аристов А.В., Еременко А.С., Николаев А.Б. // Оптика и спектроскопия. 1986. Т. 61. Вып. 2. С. 281–285.
10. Методы расчета оптических квантовых генераторов / Под ред. Б.И. Степанова. Т. 1. Минск, 1966. 484 с.
11. Ключков В.П. // Оптика и спектроскопия. 1993. Т. 74. N 4. С. 676–695.
12. Кузнецова Р.Т., Копылова Т.Н., Дегтяренко К.М. и др. // Изв. вузов. Физика. 1997. N 4. С. 69–74.

Сибирский физико-технический институт
им. В.Д. Кузнецова

Поступила в редакцию
10 июня 1997 г.

A. K. Sergeev, R. T. Kuznetsova, T. N. Kopylova, E. N. Telminov. Study of Gain Coefficient of 4PyPO Ethanol Solution under Transverse Laser Excitation.

Results of measurements of gain coefficient of ethanol solution of 4PyPO by the method of entering the attenuator into the optical resonator are shown. Gain coefficient is measured depending on power density of pump radiation.