

# Получение высокого коэффициента усиления в дисковом усилительном каскаде с элементами из неодимового фосфатного стекла

И.Н.Воронич, С.Г.Гаранин, А.И.Зарецкий, И.В.Игнатъев, Г.А.Кириллов,  
В.М.Муругов, В.А.Осин, С.А.Сухарев, А.В.Чарухчев

*Экспериментально реализовано эффективное отражающее покрытие из фольги MIRO с оксидным слоем, усиливающим отражение излучения ламп накачки в осветителе мощного неодимового лазера, и получен коэффициент усиления  $g_0 = 5 \times 10^{-2} \text{ см}^{-1}$ .*

**Ключевые слова:** лазер на неодимовом стекле, дисковый элемент, эффективный отражатель, коэффициент усиления.

Возможность получения высокой плотности выходной энергии в крупномасштабных лазерных установках NIF [1], LMJ [2] и «ИСКРА-6» [3] в основном обусловлена запасенной энергией в активной среде, т. е. линейным коэффициентом усиления слабого сигнала  $g_0$  в силовых усилительных каскадах.

В продолжение работы [4], выполненной на установке «ЛУЧ» по измерению коэффициента усиления слабого сигнала, в настоящей работе приводятся результаты экспериментальных исследований по повышению  $g_0$  за счет улучшения эффективности отражателей в системе накачки усилительных модулей.

В представленной работе в системе накачки мощного лазера применена фольга MIRO (толщина фольги  $\Delta = 0.5 \text{ мм}$ ) с оксидным слоем, увеличивающим коэффициент отражения до 95 % [5]. Помимо высокого коэффициента отражения, фольга MIRO технологична, имеет невысокую стоимость и большой ресурс службы, что важно для крупных лазерных установок. Ее стойкость к излучению ламп накачки ( $\tau_p = 350 \text{ мкс}$ ) проверена при установке плоского отражателя на расстоянии 8 мм от поверхности ламп накачки при рабочих световых потоках  $\sim 5 \times 10^4 \text{ Вт/см}^2$ . В серии из  $\sim 300$  опытов не обнаружено (с точностью  $\pm 3\%$ ) заметного изменения коэффициента отражения в рабочей спектральной области и распыления покрытия.

После проведения предварительных испытаний образцов фольги MIRO она устанавливалась на все отражательные элементы усилительного модуля и ламповой кассеты (при этом межламповые ромбические отражатели также были выполнены из фольги MIRO, сваренной лазерной сваркой). В результате измеренный световой поток ламповой кассеты вырос на  $\sim 15\%$ .

После установки фольги были проведены измерения коэффициента усиления в отдельном каскаде. Оптическая схема измерения и методика регистрации и обработ-

ки экспериментальных данных были аналогичны описанным в работе [4].

Коэффициент усиления  $g_0$  измерялся при усилении непрерывного излучения лазера ( $\lambda = 1.053 \text{ мкм}$ ) с диаметром пучка 15 мм. Излучение заводилось в усилитель, состоящий из семи усилительных модулей с дисковыми элементами (ДЭ). Излучение, прошедшее через усилитель, фокусировалось на фотодиод ФД256, перед которым устанавливались интерференционный фильтр ( $\lambda = 1.053 \text{ мкм}$ ,  $\Delta\lambda_{0.5} = 0.05 \text{ мкм}$ ), фильтр типа ИКС и диффузный рассеиватель из матированного стекла. Регистрация излучения на выходе усилителя осуществлялась осциллографом Tektronix-3052B с постоянной времени  $\sim 30 \text{ нс}$ . Коэффициент усиления сигнала определялся из осциллограмм:  $K_0 = U(t)/U_0$ , где  $U(t)$  – уровень сигнала во время накачки;  $U_0$  – уровень сигнала непрерывного лазера до начала накачки. Погрешность определения коэффициента усиления не превышала  $\pm 2.5\%$ .

Коэффициент усиления сигнала измерялся в зависимости от величины энергии, введенной в лампу накачки, и от поперечной координаты ДЭ.

Результаты измерения коэффициента усиления после обработки осциллограмм приведены в табл.1 и 2. На рис.1 представлена зависимость коэффициента усиления  $g_0$  от электрической энергии  $E_p$ , введенной в лампу. Там

Табл.1. Результаты измерений коэффициента усиления в центре ДЭ при различных энергиях накачки.

Зарядное напряжение (кВ)	Электрическая энергия, введенная в лампу (кДж)	$g_0 \text{ (см}^{-1}\text{)}$
18	5.4	0.037
20	6.7	0.042
22	8.1	0.046
24	9.6	0.050

Табл.2. Результаты измерений коэффициента усиления по апертуре ДЭ при зарядном напряжении 22 кВ ( $E_p = 8.1 \text{ кДж}$ ).

Расстояние от центра ДЭ (мм)	$g_0 \text{ (см}^{-1}\text{)}$
0	0.046
20	0.045
40	0.044
60	0.045
80	0.044

И.Н.Воронич, С.Г.Гаранин, А.И.Зарецкий, И.В.Игнатъев, Г.А.Кириллов, В.М.Муругов, В.А.Осин, С.А.Сухарев. Российский федеральный ядерный центр – ВНИИЭФ, Россия, 607190 Саров, Нижегородская обл., просп. Мира, 37; e-mail: voronich@otd13.vniief.ru  
А.В.Чарухчев. НИИ комплексных испытаний оптико-электронных приборов, Россия, 188540 Сосновый Бор, Ленинградская обл.; e-mail: cav@niiki.ru

Поступила в редакцию 30 января 2004 г.

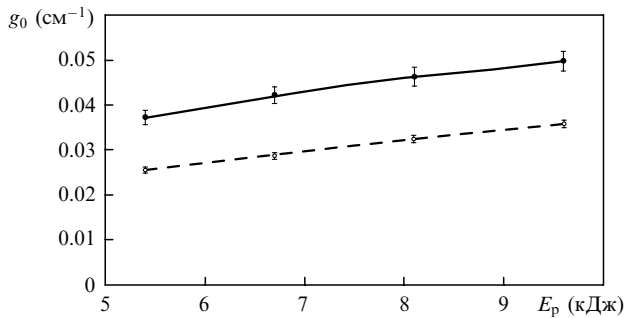


Рис.1. Зависимости линейного коэффициента усиления  $g_0$  для центра ДЭ от электрической энергии, введенной в лампу. Штриховая кривая – данные из работы [4].

же для сравнения приведена такая же зависимость, полученная при использовании в качестве отражателей в системе накачки полированного дюрала Д-16 и стали СТ12Х18Н10Т. Как видно из представленных зависимостей, коэффициент усиления  $g_0$  увеличился в 1.45 раза и достиг  $5 \times 10^{-2} \text{ см}^{-1}$ , при этом в диапазоне рабочих энергий накачки 5.4–9.6 кДж наблюдается еще линейная зависимость  $g_0(E_p)$ , что говорит об эффективной работе кладинга, которым обклеен по торцам активный элемент. Отметим, что высокий коэффициент усиления  $g_0 = 5 \times 10^{-2} \text{ см}^{-1}$  получен ранее на установках в США [6, 7] и Китае [8].

На рис.2 приведено распределение коэффициента усиления  $g_0$  по сечению ДЭ (по горизонтальной координате), а также зависимость  $g_0$  для старых отражателей [4]. Характеристики обеих зависимостей подобны с той лишь разницей, что коэффициент усиления по сечению для отражателей MIRO в  $\sim 1.45$  раза выше.

Таким образом, за счет применения более эффективных отражателей MIRO ( $R = 95\%$ ) повышен до  $5 \times 10^{-2}$

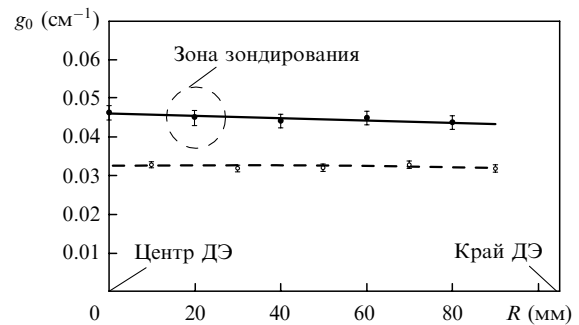


Рис.2. Распределения линейного коэффициента усиления  $g_0$  по сечению ДЭ от центра до края ( $R$  – координата зоны зондирования). Штриховая кривая – данные из работы [4].

$\text{см}^{-1}$  коэффициент усиления в модулях установки ЛУЧ, при этом зависимость  $g_0$  от энергии накачки имеет линейный характер и практически постоянна по апертуре слэба.

Авторы благодарят М.И.Пергаменту и его сотрудников за полезные рекомендации.

1. LLNL. ICF Quarterly Report. Special Issue: National Ignition Facility (Virginia: Springfield, 1997, v. 7, No. 3).
2. Andre M.L. Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng., **3047**, 38 (1997).
3. Galakhov I.V., Garanin S.G., Eroshenko V.A., Kirillov G.A., Kochemasov G.G., Murugov V.M., Rukavishnikov N.N., Sukharev S.A. Fusion Engng Design, **44**, 51 (1999).
4. Воронич И.Н., Галахов И.В., Гаранин С.Г. и др. Квантовая электроника, **33** (6), 485 (2003).
5. <http://www.alanod.com>
6. Landson A.C., Rotter M.D., Frank D.N., McCracen R.W. LLNL. ICF Quarterly Report (Virginia: Springfield, 1994, v. 5, No. 1, p. 18).
7. Gamache C., Descamps D., Husson D., et al. Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng., **3492**, 752 (1999).
8. Zheng W.G., He S.B., Zhang X.M., et al. Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng., **3492**, 586 (1999).