

Импульсно-периодический YAG:Nd-лазер с ВРМБ-зеркалом

Э.В.Воскобойник, А.В.Кириянов, П.П.Пашинин, В.С.Сидорин, В.В.Туморин, Е.И.Шкловский

Создан и исследован импульсно-периодический твердотельный лазер с энергией в импульсе 0.45 Дж, длительностью по полувысоте 3 нс и расходимостью, близкой к дифракционной. Проведен численный расчет параметров лазерной системы.

Введение

Использование ОВФ при ВРМБ в твердотельных лазерных системах [1–4] позволяет корректировать искажения волнового фронта и дает возможность получения мощного излучения с расходимостью, близкой к дифракционной. Лазеры такого типа широко используются в науке, промышленности и медицине. Применение ОВФ при ВРМБ является одной из возможностей получения высококонтрастных световых импульсов с длительностью порядка наносекунды и большой пиковой мощностью [5–10].

Цель настоящей работы – создание достаточно простого в конструктивном отношении лазера, работающего в режиме пассивной модуляции добротности с расходимостью, близкой к дифракционной, и высокой пиковой мощностью выходного излучения.

1. Эксперимент

Оптическая схема лазерной установки показана на рис. 1. Резонатор задающего генератора был образован двумя плоскопараллельными пластинами 1, 6. В качестве активного элемента (АЭ) был использован кристалл YAG:Nd³⁺ размером $\varnothing 6.3 \times 65$ мм 3, помещенный в стандартный квантрон К-301 с лампой ИНП 5/60. Накачка АЭ проводилась с помощью блока питания БПЛ 66/33. Для пассивной модуляции добротности резонатора применялся кристалл LiF: F₂⁻ 5 с начальным пропусканием $T_0 = 0.25$ и конечным пропусканием $T_f = 0.85$. Для надежного получения одномодового режима генерации и горизонтальной поляризации излучения в резонатор были введены соответственно диафрагма 4 диаметром 1 мм и стеклянная пластина 2, установленная под углом Брюстера. Длина резонатора задающего генератора была равна 22 см, диаметр пучка по уровню 0.1 составлял 1 мм, энергия импульса – 0.8 мДж, а его длительность – 9 нс. Форма импульса приведена на рис. 2, а. Отметим также высокую стабильность и воспроизводимость генерируемого лазером одночастотного моноимпульса (на экране скоростного осциллографа С7-19 не удавалось обнаружить различий в форме следующих

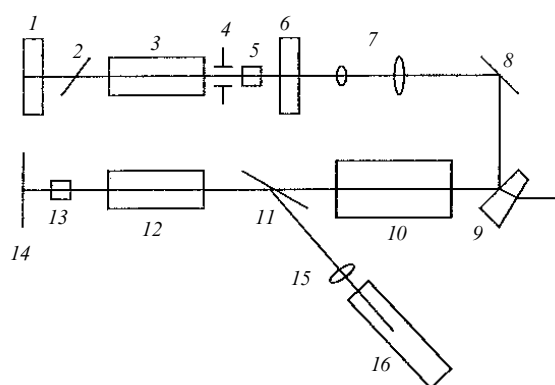


Рис. 1. Оптическая схема лазерной системы:

1, 6 – плоскопараллельные пластины; 2 – стеклянная пластина, установленная под углом Брюстера; 3 – АЭ из YAG:Nd³⁺ размером $\varnothing 6.3 \times 65$ мм; 4 – диафрагма; 5 – кристалл LiF: F₂⁻; 7 – телескоп; 8, 14 – 100%-ные зеркала; 9 – поворотный клин; 10 – АЭ из YAG:Nd³⁺ размером $\varnothing 8 \times 100$ мм; 11 – поляризатор; 12 – АЭ из YAG:Nd³⁺ размером $\varnothing 6.3 \times 100$ мм; 13 – пластина $\lambda/4$; 15 – фокусирующая линза с $f = 5$ см; 16 – кювета с ВРМБ-активной средой.

друг за другом импульсов).

После отражения от 100%-ного зеркала 8 и клиновидной пластинки 9 с коэффициентом отражения для горизонтальной поляризации 1% лазерное излучение поступало в систему усиления 10–16. В качестве усилительных каскадов использовались АЭ из YAG:Nd³⁺ размером $\varnothing 8 \times 100$ мм (10), помещенный в стандартный квантрон К-107 с лампой ИФП-800, и АЭ из YAG:Nd³⁺ размером $\varnothing 6.3 \times 100$ мм (12) в квантроне К-301 с лампой ИНП 5/90. Источниками питания усилителей служили промышленные блоки БПЛ 75/33 У. Зависимости усиления слабого сигнала от энергии накачки для АЭ, использованных в эксперименте, приведены на рис. 3. Энергия

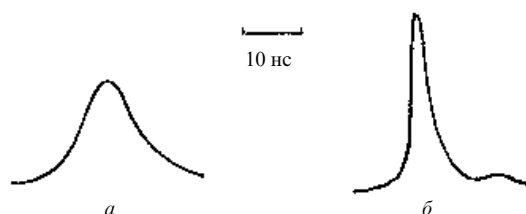


Рис. 2. Осциллограммы импульсов задающего генератора (а) и выходного излучения (б).

Институт общей физики РАН, Москва

Поступила в редакцию 21 июня 1995 г.

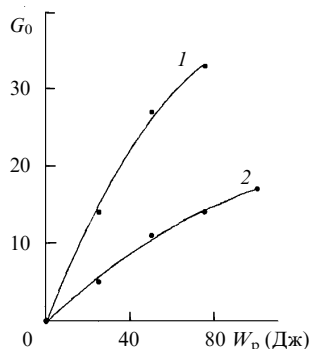


Рис.3. Зависимости усиления слабого сигнала от энергии накачки для АЭ размером 6.3×100 мм (1) и 8×100 мм (2).

накачки АЭ 10 и 12 в ходе экспериментов составляла 50 и 100 Дж соответственно. Настройка телескопа 7 осуществлялась таким образом, чтобы излучение эффективно заполняло апертуры усилителей. В качестве оптической развязки в канале усиления применялись пленочный поляризатор 11 и пластина $\lambda/4$ 13. После прохождения через усилители и отражения от поляризатора лазерный луч направлялся на ВРМБ-зеркало 15, 16, в котором использовался GeCl_4 , подвергнутый специальной очистке, с коэффициентом поглощения на длине волны 1.06 мкм $\alpha = 10^{-5} \text{ см}^{-1}$. Энергия импульса, падающего на ВРМБ-кювету, была равна 10 мДж. Измеренный коэффициент отражения ВРМБ-зеркала составил 75 %. После отражения от ВРМБ-зеркала и обратного прохода через АЭ усилительного каскада излучение лазера выводилось из резонатора через клиновидную подложку 9. Выходное излучение имело энергию 0.45 Дж и расходимость, равную полутора-двум дифракционным пределам. Эксперименты проводились при частоте повторения импульсов до 5 Гц.

Поскольку в данной схеме использовались клиновидная пластинка с коэффициентом отражения 1 %, а также зеркала резонатора с малым коэффициентом отражения, то отраженной от них энергии (с учетом френелевских потерь и снятой с усилителя инверсии) было недостаточно, чтобы повторно возбудить ВРМБ. По этой причине на выходе системы всегда регистрировался одиночный импульс с длительностью по полувысоте 3 нс (рис.2,б).

2. Численный счет

Для расчета основных характеристик (временного профиля стоксова импульса и его энергии) была разработана простая модель, в которой учитывались процессы нелинейного усиления в АЭ усилителей и роста стоксова импульса в ВРМБ-активной среде. Все вычисления были выполнены для одномерного случая. Такой подход справедлив при равномерном распределении интенсивности и инверсии населенности по диаметру АЭ. В модели также предполагалось, что интерференция излучения накачки и стоксовой волны не приводит к образованию решетки усиления в АЭ. Мы также пренебрегали волновой нестационарностью взаимодействия излучения с лазерной средой.

С учетом сделанных предположений уравнения, описывающие усиление излучения на разных проходах через АЭ в усилителе, могут быть записаны в следующей форме:

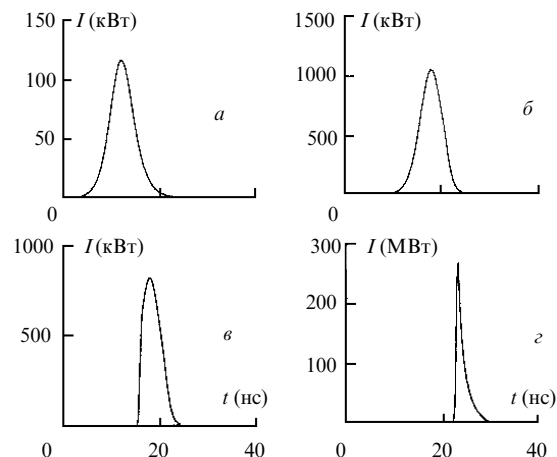


Рис.4. Расчетные временные формы усиливаемого импульса на выходе генератора (а), перед ВРМБ-зеркалом (б), отраженного от ВРМБ-зеркала (в) и на выходе системы (г).

$$I_i^{\text{out}} = \exp\left(\frac{G}{W_s S}\right) I_i^{\text{in}},$$

$$\frac{dG}{dt} = \sum_i (I_i^{\text{in}} - I_i^{\text{out}}) S,$$

где $I_i^{\text{in}}, I_i^{\text{out}}$ — интенсивности падающей и усиленной волн i -го прохода излучения через АЭ; G — энергия, запасенная в активной среде; W_s — энергия насыщения лазерной среды; S — площадь сечения АЭ. Процесс ВРМБ описывался следующими уравнениями, справедливыми для случая взаимодействия одномодового излучения стоксовой волны и волны накачки:

$$\frac{\partial A_p}{\partial z} - \frac{n}{c} \frac{\partial A_p}{\partial t} = \frac{g}{2} \rho A_s,$$

$$\frac{\partial A_s}{\partial z} + \frac{n}{c} \frac{\partial A_s}{\partial t} = \frac{g}{2} \rho^* A_p,$$

$$T_r \frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho = \frac{A_p A_s^*}{S} + F(z, t),$$

где A_p/\sqrt{S} , A_s/\sqrt{S} , ρ , — амплитуды волн накачки, рассеянного излучения и гиперзвука; g — коэффициент усиления ВРМБ; $F(z, t)$ — шумовая функция; T_r — время релаксации гиперзвука.

На рис.4 представлены результаты расчета временной формы усиливаемого импульса в различных частях рассматриваемой лазерной системы. Совпадение с удовлетворительной точностью (10–20 %) расчетных временных и энергетических характеристик выходного излучения системы с экспериментальными подтверждает справедливость сделанных предположений. Это позволяет использовать в дальнейшем данную модель для оптимизации лазерных усилителей с ВРМБ-зеркалами.

Работа выполнена при поддержке Международного научного фонда (грант № JDE100) и Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 94-02-03079-а).

1. Rockwell D.A. *IEEE J. Quantum Electron.*, **24**, 1124 (1988).
2. Pashinin P.P., Shklovsky E.J. *J. Opt. Soc. Amer. B*, **5**, 1957 (1988).
3. Andreev N.F., Babin A.A., Khazanov E.A., Papernyi S.B., Pasmanik G.A. *Laser Physics*, **2**, 1 (1992).
4. Бельдюгин И.М., Зельдович Б.Я., Золотарев М.В., Шкунов В.В.

- Квантовая электроника*, **12**, 2394 (1985).
5. Пашинин П.П., Сидорин В.С., Шкловский Е.И. *Труды ИОФАН*, **28**, 102 (1991).
 6. Пашинин П.П., Сидорин В.С., Туморин В.В., Шкловский Е.И. *Квантовая электроника*, **18**, 1316 (1991).
 7. Pashinin P.P., Shklovsky E.J., Sidorin V.S. *Laser Physics*, **1**, 160 (1991).
 8. Андреев С.П., Батище С.А., Кузьмук А.А., Малевич Н.А., Мостовников В.А., Рябцев А.Б. *Приборы и техника эксперимента*, № 5, 158 (1991).
 9. Васильев А.Ф., Гладин С.Б., Яшин В.Е. *Квантовая электроника*, **18**, 545 (1991).
 10. Аникеев И.Ю., Гордеев А.А., Зубарев И. Г., Миронов А.Б., Михайлов С.И. *Квантовая электроника*, **17**, 295, (1990).
- E.V.Voskoboinik, A.V.Kir'yanov, P.P.Pashinin, V.S.Sidorin, V.V.Tumorin, E.J.Shklovskii. Repetitively pulsed Nd:YAG laser with an SBS mirror.**
- A repetitively pulsed solid-state laser with an energy of 0.45 J per pulse, pulse duration 3 ns at half-amplitude, and a near-diffraction-limited divergence was constructed and investigated. A numerical calculation of the parameters of this laser was carried out.