

07;12

Лазер на Nd-стекле с динамическим резонатором и пассивной модуляцией добротности

© А.В. Федин, А.В. Рулев, Т.Т. Басиев

Ковровская государственная технологическая академия
Научный центр лазерных материалов и технологий,
Институт общей физики РАН, Москва

Поступило в Редакцию 24 декабря 1999 г.

Исследованы режимы генерации лазера на Nd-стекле с пассивной модуляцией добротности и самообращением волнового фронта в активной среде и кристалле LiF:F_2^- . Показана возможность реализации одномодового излучения с энергией цуга импульсов более 2J, пиковой мощностью отдельного импульса в цуге до 0.5MW, пространственной яркостью свыше $1 \cdot 10^{11} \text{ W/cm}^2 \cdot \text{sr}$ и длиной когерентности 0.95 м.

Неослабевающий интерес к технологическим лазерам на Nd-стеклах обусловлен возможностью получения энергии генерации, значительно превышающей энергию лазеров на кристаллах вследствие большого объема и высокой однородности активной среды. Это преимущество успешно используется для поверхностного упрочнения, легирования, наплавки различных материалов и других лазерных технологий [1,2]. При этом эффективность лазерной обработки заметно возрастает при использовании одномодового излучения за счет увеличения его пространственной яркости [3,4]. Однако более широкая полоса усиления активной среды на Nd-стекле по сравнению с неодимсодержащими кристаллами [5] приводит к существенно многочастотному характеру лазерного излучения, что снижает качество и воспроизводимость обработки [2].

Для реализации одночастотного режима генерации, улучшения пространственных и энергетических характеристик излучения в настоящей работе исследован лазер на Nd-стекле с пассивным лазерным затвором (ПЛЗ) на кристалле LiF:F_2^- и самообращением волнового фронта непосредственно в активной среде и ПЛЗ.

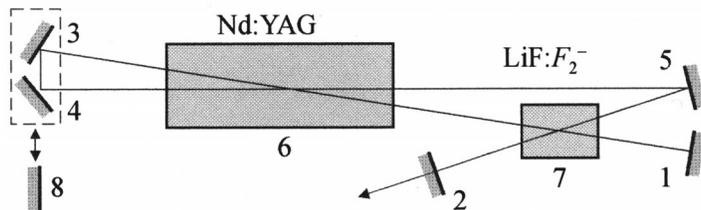


Рис. 1. Оптическая схема лазера: 1 — глухое зеркало; 2 — выходное зеркало; 3–5 — поворотные зеркала; 6 — активный элемент; 7 — пассивный лазерный затвор на кристалле LiF:F_2^- ; 8 — глухое зеркало.

Оптическая схема лазера, созданного на базе установки типа "Квант-16", приведена на рис. 1. Резонатор образован концевым глухим зеркалом 1, выходным зеркалом 2 с коэффициентом отражения 0.53 и поворотными зеркалами 3–5, которые создают внутррезонаторные петли. В пересечении петель установлены активный элемент 6 из Nd-стекла марки ГЛС-6 размером $\varnothing 12 \times 260 \text{ mm}$ и ПЛЗ 7 размером $8 \times 18 \times 65 \text{ mm}$ с переменным пропусканием, которое линейно изменяется от 60 до 80% перпендикулярно оптической оси.

Первоначально генерация в лазерной системе развивается от глухого 1 и выходного 2 зеркал. По мере развития генерации пересекающиеся пучки вследствие четырехволнового взаимодействия записывают в активном 6 и пассивном 7 элементах резонатора динамические голографические решетки, на которых происходит перераспределение поля излучения и самообращение его волнового фронта (само-ОВФ). Благодаря дополнительному усилению излучения с ОВФ создается положительная параметрическая обратная связь, включающая взаимное усиление решеток и обращенного излучения, в результате чего внутри стационарного резонатора происходит включение динамического ОВФ-резонатора.

На рис. 2 приведены зависимости энергетических и временных параметров излучения лазера от начального пропускания ПЛЗ на кристалле LiF:F_2^- при энергии импульсов накачки 1626 J, длительности 4 ms и частоте их следования 0.1 Hz. Энергетические параметры определяли измерителем энергии ИКТ-1Н, а временные параметры регистрировали с помощью лавинного фотодиода ЛФД-2Ф и запоминающего осциллографа С8-14. Максимальная энергия цуга импульсов достигает 2.23 J.

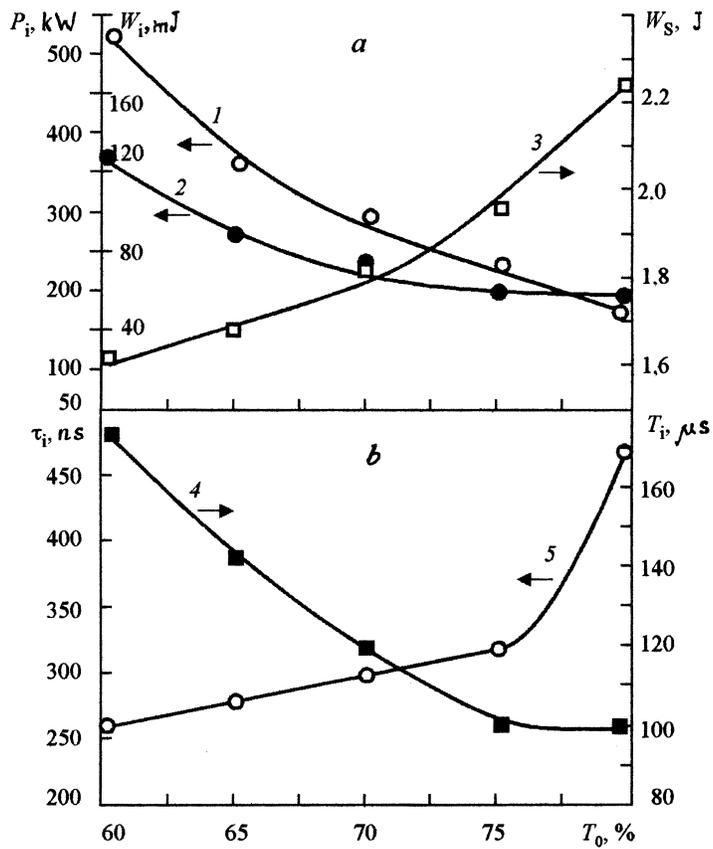


Рис. 2. Зависимости энергетических и временных параметров излучения лазера от начального пропускания ПЛЗ на кристалле $\text{LiF} : \text{F}_2^-$: 1 — пиковая мощность отдельного импульса; 2 — энергия отдельного импульса; 3 — энергия пуга импульсов; 4 — длительность импульса; 5 — период следования импульсов в пуге. Энергия импульсов накачки 1626 J, длительность 4 ms, частота их следования 0.1 Hz.

Уменьшение начального пропускания ПЛЗ от 80 до 60% приводит к увеличению энергии W_i (кривая 2, рис. 2, a) и пиковой мощности P_i (кривая 1, рис. 2, a) отдельных импульсов излучения, а также периода

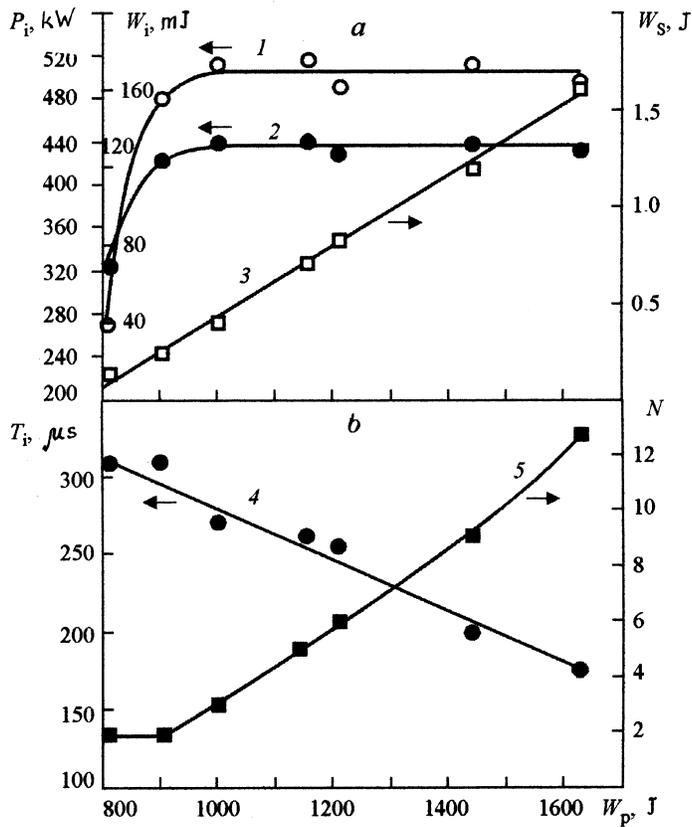


Рис. 3. Зависимости энергетических и временных параметров излучения лазера от энергии импульсов накачки: 1 — пиковая мощность отдельного импульса; 2 — энергия отдельного импульса; 3 — энергия цуга импульсов; 4 — период следования импульсов в цуге; 5 — количество импульсов в цуге. Начальное пропускание пассивного затвора 60%. Длительность импульсов накачки 4 мс, частота их следования 0.1 Нз.

их следования T_i (кривая 4, рис. 2, *b*) в цуге. При этом полная энергия цуга импульсов W_s (кривая 3, рис. 2, *a*) и длительность τ_i (кривая 5, рис. 2, *b*) каждого из них снижаются. Увеличение энергетических параметров отдельного импульса объясняется ростом потерь излучения на

просветление ПЛЗ. Это приводит к увеличению пороговой инверсии населенности в активном элементе (АЭ), что обуславливает увеличение пиковой мощности до 0.5 MW, энергии до 127 mJ и уменьшение длительности отдельных наносекундных импульсов до 250 ns, а также сопровождается увеличением периода их следования в цуге.

На рис. 3 показаны зависимости параметров излучения лазера от энергии импульсов накачки при начальном пропускании ПЛЗ 60%. Из приведенных на рис. 3 данных следует, что при увеличении энергии импульса W_p накачки период следования T_i импульсов в цуге, определяемый временем достижения пороговой инверсии населенности в АЭ, снижается (см. кривую 4 на рис. 3, *b*). Это приводит к увеличению числа импульсов N в цуге от 2 до 13 (см. кривую 5 на рис. 3, *b*) и энергии W_S цуга (кривая 3, рис. 3, *a*). При максимальной энергии импульсов накачки 1626 J энергия цуга импульсов достигает 1.62 J. Особенностью полученного режима генерации в отличие от исследованных нами ранее при непрерывной [6,7] и импульсно-периодической [8] накачке является то, что пиковая мощность отдельного импульса P_i (кривая 1, рис. 3, *a*) и его энергия W_i (кривая 2, рис. 3, *a*) увеличиваются лишь в узком интервале изменения энергии импульсов накачки, от 810 до 1000 J. Этот рост может быть обусловлен увеличением объема основной моды в АЭ и эффективности голографических решеток, записываемых как в АЭ, так и в кристалле LiF:F_2^- . При дальнейшем увеличении энергии накачки от 1000 до 1626 J энергетические параметры отдельного импульса остаются практически неизменными, $P_i = 520 \text{ kW}$, $W_i = 127 \text{ mJ}$, что свидетельствует о максимальном использовании запасенной накачки и преобразовании ее в выходное излучение генерации [9] при четырехволновом смещении в среде АЭ.

На рис. 4 приведено относительное распределение интенсивности излучения, измеренное при энергии импульсной накачки 1626 J в фокальной плоскости линзы с оптической силой 1 дптр с помощью фотодиода и осциллографа С1-75. Из рисунка видно, что расходимость лазерного излучения по уровню 0.5 от максимальной интенсивности составила $\theta/2 = 0.6 \text{ mrad}$, а по уровню измерения e^{-2} — не превышает 1.1 mrad. Параметр качества излучения составил $M^2 = 8$. Его оценивали по формуле $M^2 = \pi D \theta / 4 \lambda$, где D — диаметр пучка излучения в ближней зоне, θ — полная расходимость по уровню измерения e^{-2} , λ — длина волны излучения. Пространственная яркость импульса модулированного излучения достигает $1.7 \cdot 10^{11} \text{ W/cm}^2 \cdot \text{sr}$. Длина когерентности, измеренная с помощью интерферометра Майкельсона,

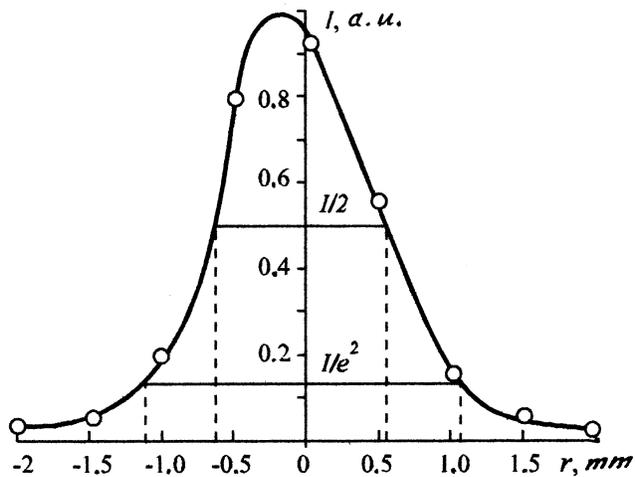


Рис. 4. Относительное распределение интенсивности лазерного излучения. Энергия импульсов накачки 1626 J.

составила 95 см, а ширина спектра излучения, определенная с помощью интерферометра Фабри–Перро, не превышала $0.8 \cdot 10^{-2} \text{ см}^{-1}$.

Следует отметить, что смещение АЭ или ПЛЗ (LiF:F_2^-) вдоль оптической оси с расположением их вне области пересечения внутррезонаторных пучков приводило к снижению энергетических и ухудшению спектральных и пространственных параметров излучения. Так, установка АЭ вблизи зеркала 8 (рис. 1) при замене системы поворотных зеркал 3–4 (оптический путь излучения 1–3–4–5–2) на одно плоское глухое зеркало 8 (оптический путь 1–8–5–2) без пересечения пучков внутри АЭ, но с сохранением исходной длины оптического пути и близких углов отражения обуславливали падение энергии цуга импульсов с 1.62 (рис. 3) до 1.31 J, энергии отдельного импульса в цуге со 127 до 82 мJ и возрастание их количества в цуге с 13 до 16 при энергии накачки 1626 J. Пространственная яркость излучения при этом снижалась до $1.1 \cdot 10^{11} \text{ W/cm}^2 \cdot \text{sr}$. Расходимость лазерного излучения и параметр его качества M^2 изменились незначительно, длина когерентности уменьшилась с 95 до 80 см, а ширина спектра излучения возросла с $0.8 \cdot 10^{-2}$ до $1.2 \cdot 10^{-2} \text{ см}^{-1}$. В свою очередь, смещение кристалла LiF:F_2^- вплотную к выходному зеркалу 2 (рис. 1), когда взаимодействие пучков в среде ПЛЗ полностью отсутствовало, приводило к более резкому падению

длины когерентности до нескольких сантиметров и возрастанию ширины спектра излучения более чем на порядок, а также росту расходимости излучения до 2 mrad и параметра качества до $M^2 = 16$. Полученные результаты показывают, что уменьшение длины взаимодействия пучков в среде активного элемента и пассивного лазерного затвора на кристалле LiF:F_2^- резко снижает положительную обратную связь в петлевом ОВФ-резонаторе и обуславливает ухудшение параметров излучения лазера на Nd-стекле.

Таким образом, реализация само-ОВФ в АЭ и ПЛЗ на кристалле LiF:F_2^- позволила не только снизить фазовые искажения волнового фронта излучения и дифракционные потери, но и повысить пространственную яркость излучения, а также эффективность генерации. Это значительно расширяет возможности технологических твердотельных лазеров [10,11] с динамическим резонатором и пассивной модуляцией добротности.

Список литературы

- [1] *Basiev T.T., Kravetz A.N., Mirov S.B., Fedin A.V.* // SPIE. 1991. V. 1839. P. 2–11.
- [2] *Басиев Т.Т., Кравец А.Н., Федин А.В.* // Препринт ИОФ РАН. 1993. № 1. 60 с.
- [3] *Басиев Т.Т., Кравец А.Н., Федин А.В.* // Квантовая электроника. 1993. Т. 20. № 6. С. 594–596.
- [4] *Кравец А.Н., Федин А.В., Крйнов А.С.* // Сварочное производство. 1997. № 8. С. 34–37.
- [5] *Мак А.А., Сомс Л.Н., Фромзель В.А., Яшин В.Е.* Лазеры на неодимовом стекле. М.: Наука, 1990. 288 с.
- [6] *Басиев Т.Т., Кравец А.Н., Миров С.Б., Федин А.В.* // Письма в ЖТФ. 1991. Т. 17. В. 9. С. 16–22.
- [7] *Басиев Т.Т., Кравец А.Н., Миров С.Б., Федин А.В.* // Квантовая электроника. 1991. Т. 18. № 7. С. 822–824.
- [8] *Басиев Т.Т., Кравец А.Н., Федин А.В.* // Квантовая электроника. 1993. Т. 20. № 6. С. 594–596.
- [9] *Одулов С.Г., Соскин М.С., Хижняк А.И.* Лазеры на динамических решетках. М.: Наука, 1990. 272 с.
- [10] *Fedin A.V., Gavrilov A.V., Basiev T.T. et al.* // Laser Physics. 1999. V. 9. N 2. P. 433–436.
- [11] *Басиев Т.Т., Федин А.В., Гаврилов А.В.* // Квантовая электроника. 1999. Т. 27. № 2. С. 145–148.