

Мощный импульсно-периодический ИАГ:Nd-лазер с $\lambda = 1444$ нм

С.А.Батище, А.А.Кузьмук, Н.А.Малевич, Г.А.Татур

Исследован мощный импульсно-периодический лазер на ИАГ:Nd³⁺ с длиной волны $\lambda = 1444$ нм. Показано, что основными факторами, ограничивающими эффективность этого лазера, являются поглощение в матрице активного элемента на $\lambda = 1444$ нм, УФ компонента в спектре излучения ламп накачки, генерация на внутренних модах активных элементов и усиленная люминесценция на $\lambda = 1064$ нм. В результате оптимизации создан мощный лазер ($\lambda = 1444$ нм) с энергией импульсов излучения 1.4 Дж при частоте повторения 1–10 Гц.

Ключевые слова: лазер на ИАГ:Nd³⁺, импульсно-периодический режим.

Известно, что кристалл иттрий-алюминиевого граната, активированного ионами трехвалентного неодима (ИАГ:Nd³⁺), обладает сложной схемой энергетических уровней [1, 2], обеспечивающей, в принципе, возможность получения лазерной генерации на нескольких спектральных линиях в диапазоне 0.941–1.839 мкм [3, 4].

В ряде работ была показана возможность использования лазера на ИАГ:Nd³⁺ для получения импульсно-периодического излучения с $\lambda = 1444$ нм [5, 6]. Такой лазер представляет особый интерес с точки зрения экологической безопасности, поэтому повышение его эффективности является актуальной задачей.

Существенной проблемой получения эффективной генерации на указанной длине волны является то, что генерация должна развиваться на фоне конкуренции с генерацией на переходах с $\lambda = 1064$, 1318 и 1357 нм (особенно сильным является переход с $\lambda = 1064$ нм, сечение которого в 9.1 раза больше сечения рабочего перехода ($\lambda = 1444$ нм) [5]). Для устранения влияния этих переходов необходимо применение высокоселективного резонатора. В связи с этим представляется перспективным использованием селективных «изломанных» многозеркальных резонаторов.

В работе изучены генерационные характеристики лазера с трехзеркальным резонатором. Для подавления паразитной генерации в качестве глухого зеркала использовалось спектрально-селективное зеркало с коэффициентами отражения $R_{1444} \approx 99.9\%$, $R_{1064} \approx 7\%$, $R_{1318} \approx 8\%$, $R_{1338} \approx 24\%$, $R_{1357} \approx 34\%$ на $\lambda = 1444$, 1064, 1318, 1338 и 1357 нм соответственно, а также поворотное (45°) зеркало, имевшее $R_{1444} \sim 99.9\%$ и технологически минимальные коэффициенты отражения на остальных перечисленных длинах волн. В качестве выходного зеркала использовалось также спектрально-селективное для указанных длин волн зеркало.

В резонаторе лазера устанавливались один или два активных элемента (АЭ) в одноламповых квантронах.

При проведении экспериментов использовались просветленные в диапазоне 1064–1444 нм АЭ $\varnothing 10 \times 80$, $\varnothing 10 \times 100$ и $\varnothing 6.3 \times 80$ мм, имевшие матированную боковую поверхность с нанесенной на нее резьбой глубиной 0.3–0.4 мм. Для накачки АЭ применялись импульсные лампы КИНП2-5/90А и КИНП4-5/75А с баллоном из легированного кварца, поглощающего УФ составляющую излучения накачки, или лампа ИНП3-7/80 со специальным покрытием на баллоне для тех же целей, а также лампа ИНП5/75А-1 с баллоном из обычного кварца.

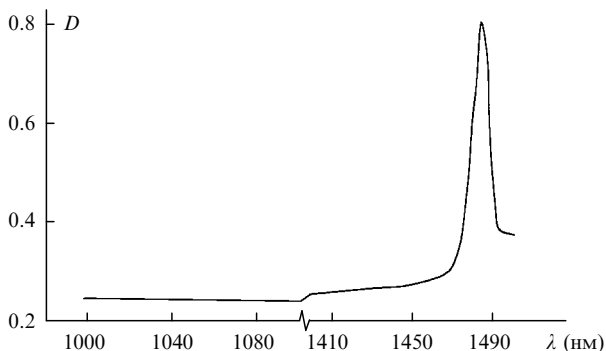
Энергия накачки каждой лампы достигала 210 Дж при длительности импульса накачки ~ 100 мкс и частоте следования импульсов 1–10 Гц. Во всех случаях, кроме специально оговоренных, использовалось охлаждение дистиллированной водой. Спектральный состав и временные характеристики генерируемого излучения контролировались по второй гармонике, получаемой с помощью нелинейного кристалла.

В этих условиях была получена генерация излучения на $\lambda = 1444$ нм без примеси генерации на других спектральных линиях. Генерация носила типичный пиковый характер и имела длительность 60–80 мкс. Необходимо отметить, что в случае линейной схемы построения резонатора лазера, в отличие от схемы, приведенной в [5], не удалось избавиться от линии с $\lambda = 1357$ нм при использовании описанных выше глухого и выходного зеркал.

Было установлено, что эффективность генерации с $\lambda = 1444$ нм весьма чувствительна к потерям, обусловленным неактивным поглощением матрицы АЭ. Исследованы пропускание и усиление излучения с $\lambda = 1444$ нм для большого числа АЭ различного размера. Измерения показали, что начальное пропускание невозбужденных элементов лежало в пределах 79–94%. При использовании АЭ, начальное пропускание которых составляло менее 86%, усиление не было зарегистрировано даже при максимальной энергии накачки. Измерения спектров поглощения в области 1–1.5 мкм показали (рис.1), что во всех кристаллах имеется узкая полоса поглощения с максимумом на $\lambda = 1485$ нм и полушириной 10–15 нм. Длина волны 1444 нм попадает на коротковолновый склон этой полосы поглощения. Данное поглощение обусловлено, вероятно, наличием в шихте, из которой выращи-

Институт физики им. Б.И.Степанова НАНБ, Белоруссия, 220072 Минск, просп. Ф.Скорины, 68

Поступила в редакцию 10 февраля 2000 г.

Рис.1. Оптическая плотность D одного из АЭ длиной 80 мм.

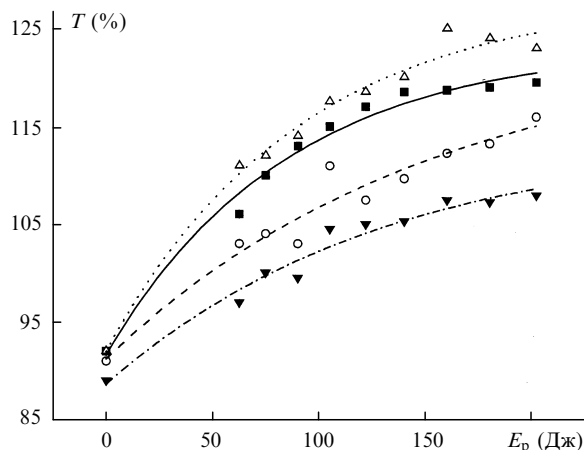
вают кристаллы ИАГ:Nd³⁺, плохо контролируемых примесей. Максимальное однопроходное усиление в 1.27 и 1.16 раз было получено в АЭ $\varnothing 6.3 \times 80$ мм с резьбой и в АЭ $\varnothing 10 \times 100$ мм соответственно.

Исследования показали, что УФ компонента в спектре накачки приводит к заметному уменьшению предельного усиления, имеющему обратимый характер. Это позволяет сделать вывод о том, что под воздействием УФ излучения в матрице образуются нестабильные центры окраски, которые уменьшают эффективность генерации с $\lambda = 1444$ нм. Использование раствора кумаринового красителя КН-30 в этаноле для охлаждения импульсной лампы, а также АЭ, поглощающего излучение импульсной лампы с $\lambda = 420$ нм и переизлучающего его в спектральный диапазон 480–520 нм, обеспечивает возрастание энергии генерации на 80%. Это связано, вероятно, как с повышением эффективности накачки, так и с падением эффективности образования короткоживущих центров окраски.

Было установлено, что эффективность генерации с $\lambda = 1444$ нм, как и для моноимпульсного режима работы лазера на $\lambda = 1064$ нм [6–8], ограничивается генерацией на внутренних модах АЭ и мощной многопроходной усиленной люминесценцией с $\lambda = 1064$ нм, формирующейся в поперечном направлении внутри отражателя. Сказанное иллюстрирует рис.2, на котором приведены зависимости коэффициентов пропускания (усиления) от энергии накачки для различных АЭ. Видно, что при одинаковом начальном пропускании предельное усиление больше для АЭ, на боковые поверхности которых была нанесена резьба с целью ослабления влияния генерации на внутренних модах с $\lambda = 1064$ нм.

Уменьшение усиления при увеличении диаметра АЭ связано с действием многопроходной усиленной люминесценции с $\lambda = 1064$ нм внутри отражателя. Для уменьшения влияния указанных эффектов следует использовать АЭ с боковой поверхностью, имеющей глубокий рельеф (например, резьбу), а также отражатели с минимальным коэффициентом отражения на $\lambda = 1064$ нм, например из молочного стекла МС-20.

Исследования показали, что оптимальный коэффициент отражения выходного зеркала при использовании одного АЭ составляет $\sim 90\%$, а двух – примерно 70% . В

Рис.2. Зависимости пропускания (усиления) T от энергии накачки E_p для АЭ $\varnothing 6.3 \times 80$ мм с резьбой (Δ) и без резьбы (\blacksquare), а также АЭ $\varnothing 10 \times 100$ мм с резьбой (\circ) и без резьбы (\blacktriangledown) при зондировании излучением свободной генерации с $\lambda = 1444$ нм.

оптимальных условиях энергия генерации на одном АЭ $\varnothing 6.3 \times 80$ мм достигала 0.34 Дж в импульсе, а на АЭ $\varnothing 10 \times 100$ мм – 0.5–0.6 Дж. Максимальная энергия лазерного излучения с $\lambda = 1444$ нм при использовании двух АЭ $\varnothing 10 \times 100$ мм составляла 1.4 Дж.

Необходимо отметить, что в отличие от данных, приведенных в [5], во всех случаях, когда в спектре генерации присутствовали другие спектральные линии помимо линии с $\lambda = 1444$ нм, интенсивность последней была чрезвычайно мала.

Авторы выражают глубокую признательность В.А. Орловичу за полезные обсуждения и внимание к работе. Настоящая работа финансировалась Международным научно-техническим центром (ISTC) (проект В-266).

1. Singh S., Smith R.G., Van Uitert L.G. *Phys.Rev.B*, **10**, 2566 (1974).
2. Зверев Г.М., Голяев Ю.Д., Шалаев Е.А., Шокин А.А. *Лазеры на алюмоиттриевом гранате с неодимом* (М., Радио и связь, 1985, с.25).
3. Marling J. *IEEE J. Quantum Electron.*, **14**, 56 (1978).
4. Birnbaum M., Tucker A.W., Fincher C.L. *IEEE J. Quantum Electron.*, **13**, 101D (1977).
5. Hodson N., Golding D.J., Eisel D. *Proc. on Advanced Solid-State Lasers* (Salt Lake City, OSA, 1994, v.20, p.6).
6. Wong S.K., Mathieu P., Pace P. *Appl.Phys.*, **57**, 650 (1990).
7. Батище С.А., Малевич Н.А., Мостовников В.А., Мышалов П.И. *ЖТЭС*, **43**, 576 (1985).
8. Батище С.А., Кузьмук А.А., Малевич Н.А., Мостовников В.А. *Изв. АН БССР. Сер. физ.-мат. наук*, № 2, 61 (1987).

S.A.Batishche, A.A.Kuz'muk, N.A.Malevich, G.A.Tatur. A powerful repetitively pulsed 1444-nm Nd:YAG laser.

A powerful repetitively pulsed 1444-nm Nd³⁺:YAG laser is studied. It is shown that the efficiency of this laser is mainly limited by the absorption at $\lambda = 1444$ nm in the matrix of the active element, the UV Fourier spectrum component of the pumping lamps, the lasing at the internal mode frequencies of the active elements, and the amplified luminescence at 1064 nm. Optimisation procedure resulted in creation of a powerful laser ($\lambda = 1444$ nm) with the pulse energy 1.4 J and the pulse repetition rate 1–10 Hz.