

07

Генерация трехмикронного излучения на кристаллах YAG:Er при резонансном возбуждении ионов активатора в нижний лазерный уровень

© В.П. Данилов, Б.И. Денкер, В.И. Жеков, Д.И. Мурин,
Т.М. Мурина, С.В. Сверчков, М.И. Студеникин

Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва
E-mail: danilov@kapella.gpi.ru

Поступило в Редакцию 21 сентября 2005 г.

Импульсный лазер на фосфатном стекле, активированном ионами $\text{Cr}^{3+} - \text{Yb}^{3+} - \text{Er}^{3+}$ ($\lambda = 1.54 \mu\text{m}$), использован для накачки кристаллов $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Er}^{3+}$ в нижний лазерный уровень трехмикронного перехода ${}^4\text{I}_{11/2} \rightarrow {}^4\text{I}_{13/2}$ иона Er^{3+} ($\lambda = 2.94 \mu\text{m}$). При энергии импульса накачки $E_{\text{exc.}} = 200 \text{ mJ}$ эффективность (КПД) трехмикронной генерации составила 20%. Дифференциальный КПД Er:YAG-лазера при резонансной накачке в нижний лазерный уровень составил 26%.

PACS: 42.55.Sa

Исследование спектроскопических и генерационных характеристик высококонцентрированных лазерных кристаллов YAG:Er³⁺ (концентрация ионов Er³⁺ $C \geq 30\%$) показало, что генерация трехмикронного излучения ($\lambda = 2.94 \mu\text{m}$) на самоограниченном лазерном переходе ${}^4\text{I}_{11/2} \rightarrow {}^4\text{I}_{13/2}$ ионов Er³⁺ определяется многочисленными кросс-релаксационными процессами [1–4], среди которых особенно важным является ап-конверсионный процесс с нижнего лазерного уровня (рис. 1, процесс A). Перенос энергии с нижнего лазерного уровня ${}^4\text{I}_{13/2}$ (${}^4\text{I}_{13/2} \rightarrow {}^4\text{I}_{15/2}$; ${}^4\text{I}_{13/2} \rightarrow {}^4\text{I}_{9/2}$) способствует заселению верхнего лазерного уровня при одновременной разгрузке нижнего лазерного уровня, что приводит к увеличению инверсной населенности и снятию самоограничения лазерного перехода. Ап-конверсионный процесс переноса энергии с верхнего лазерного уровня ${}^4\text{I}_{11/2}$ (${}^4\text{I}_{11/2} \rightarrow {}^4\text{I}_{15/2}$; ${}^4\text{I}_{11/2} \rightarrow {}^4\text{I}_{7/2}$) (процесс B на рис. 1) приводит к уменьшению инверсной

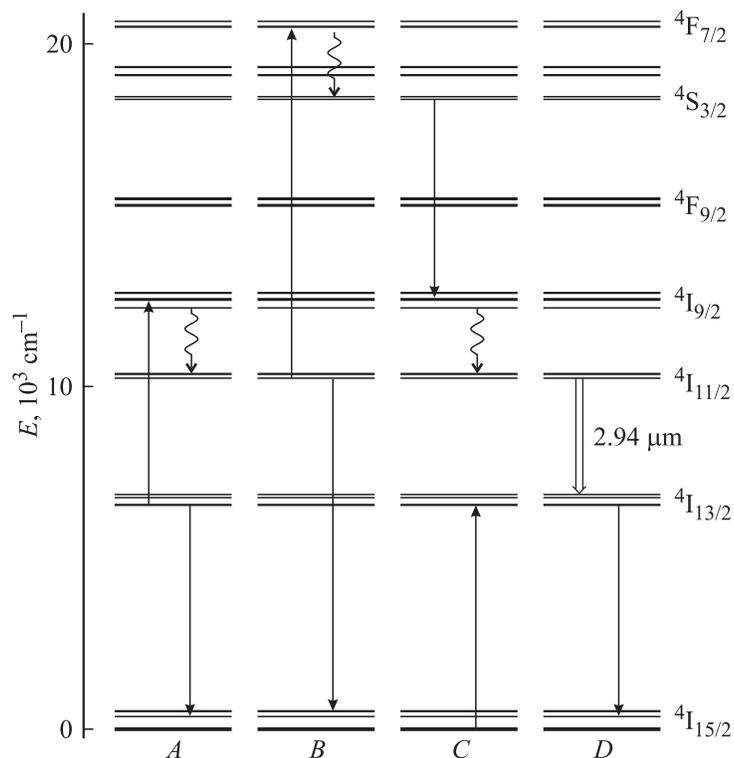


Рис. 1. Основные кросс-релаксационные процессы в кристаллах Er:YAG, ответственные за формирование инверсной населенности трехмикронного лазерного перехода.

населенности, однако этот негативный эффект компенсируется другими процессами ион-ионного взаимодействия, в частности, процессом кросс-релаксации с уровня $4S_{3/2}$ (процесс *C* на рис. 1), который эффективно заселяет рабочие уровни трехмикронного лазерного перехода [2]. Обратные процессы передачи энергии во всех трех случаях выключаются благодаря быстрой внутрицентровой безызлучательной релаксации с уровнями $4F_{7/2}$ и $4I_{9/2}$. Указанные на рис. 1 кросс-релаксационные процессы определяют эффективность трехмикронной генерации и позволяют реализовать квазистационарный и непрерывный

режим генерации (процесс D на рис. 1) в высококонцентрированных кристаллах $\text{YAG}-\text{Er}^{3+}$ [2,4,5].

Накопление возбужденных ионов на нижнем долгоживущем лазерном уровне, как уже указывалось, приводит к эффективному переносу энергии возбуждения с нижнего лазерного уровня на верхний. Вероятность суммирования энергии определяется произведением $W \times N$, где W — константа скорости переноса энергии возбуждения с уровня ${}^4\text{I}_{13/2}$ ($W = 5.4 \cdot 10^{-17} \text{ cm}^3/\text{s}$ при концентрации ионов Er^{3+} $C = 33\%$ [4] и N — его населенность. Если выполняется условие $W \times N \geq 1/\tau$ ($\tau = 10^{-4} \text{ s}$ — время жизни верхнего лазерного уровня ${}^4\text{I}_{11/2}$), то возможна генерация на переходе ${}^4\text{I}_{11/2} \rightarrow {}^4\text{I}_{13/2}$ при возбуждении кристаллов в нижний лазерный уровень. В работах [4,6] была показана принципиальная возможность получения трехмикронной генерации при накачке кристаллов $\text{Er}:\text{YAG}$ в нижний лазерный уровень, однако перспективы практического применения такого способа накачки оставались неясными.

С целью оценки реальных перспектив лазерной накачки кристаллов $\text{Er}:\text{YAG}$ в нижний лазерный уровень трехмикронного перехода в настоящей работе исследованы генерационные характеристики $\text{Er}:\text{YAG}$ -лазера при резонансной накачке в нижний лазерный уровень ${}^4\text{I}_{13/2}$ излучением лазера на фосфатном стекле, легированном ионами $\text{Cr}^{3+}-\text{Yb}^{3+}-\text{Er}^{3+}$ ($\lambda = 1.54 \mu\text{m}$) [7]. Для эффективного протекания процессов ап-конверсии необходимо наличие высокой концентрации ионов активатора ($C \geq 30\%$) и высоких скоростей накачки ($\geq 10^{23} \text{ cm}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$). В настоящей работе использовались кристаллы $\text{Er}:\text{YAG}$ с концентрацией ионов активатора $C = 50\%$, что обеспечивало высокий коэффициент поглощения ($k = 14 \text{ cm}^{-1}$) излучения накачки в активном элементе. Последний представлял собой полированную пластину с размерами $\approx 5 \times 10 \times 0.5 \text{ mm}$. Возбуждение осуществлялось по поперечной схеме. Луч импульсного лазера на фосфатном стекле фокусировался цилиндрической линзой на активный элемент в пятно с размерами $\approx 0.2 \times 5 \text{ mm}$. Лазер накачки работал в режиме одной поперечной моды. Длительность импульса накачки составляла $\Delta t \approx 0.5 \text{ ns}$. Использовался плоский резонатор длиной $L = 7 \text{ mm}$ с коэффициентом отражения выходного зеркала $R \approx 95\%$. Энергии лазерных импульсов измерялись прибором ИМО-2н. Порог генерации составил $\approx 48 \text{ mJ}$ (вблизи порога генерации излучение $\text{Er}:\text{YAG}$ -лазера фиксировалось фотоспротивлением PbS).

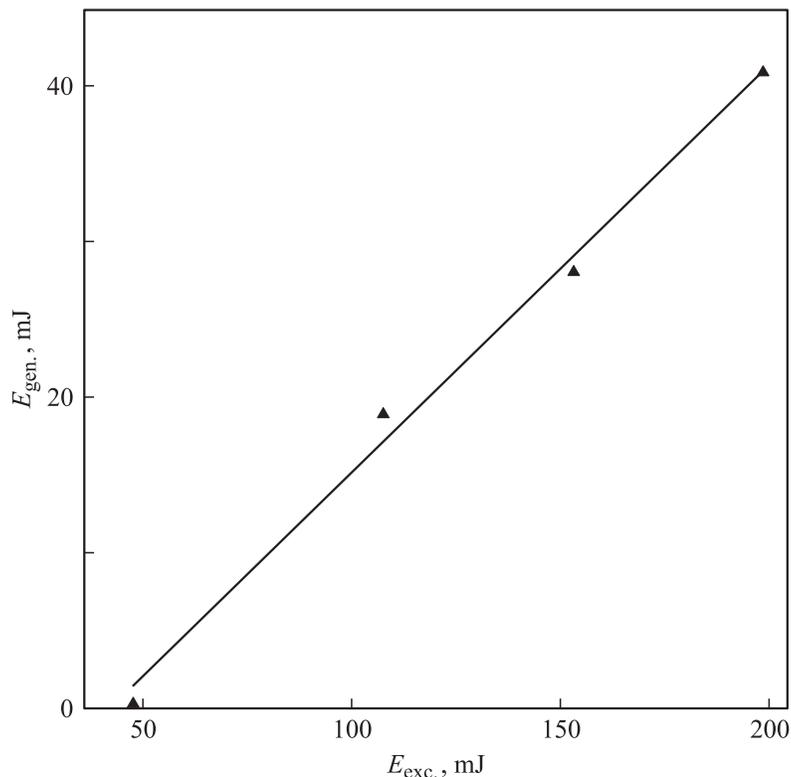


Рис. 2. Генерационная характеристика Er:YAG-лазера ($\lambda = 2.94 \mu\text{m}$) при резонансной накачке в нижний лазерный уровень.

Генерационная характеристика Er:YAG-лазера при резонансной накачке в нижний лазерный уровень приведена на рис. 2. Максимальная эффективность (КПД) генерации трехмикронного YAG–Er-лазера составила 20%, при этом дифференциальный КПД лазера составил $\approx 26\%$. Сравнение результатов настоящей работы с известными в литературе данными показывает, что энергетические характеристики Er:YAG-лазера при накачке в нижний лазерный уровень и при накачке в верхний лазерный уровень вполне сопоставимы, а по дифференциальному КПД практически не отличаются. Так, в работе [5] при накачке кристаллов

YAG—Er³⁺ диодами и излучением Ti:Al₂O₃-лазера в верхний лазерный уровень ⁴I_{11/2} были получены дифференциальные КПД 12 и 26% соответственно. Результаты проведенных нами экспериментов показывают, таким образом, что резонансное возбуждение кристаллов Er:YAG в нижний лазерный уровень трехмикронного перехода имеет реальные перспективы в качестве способа накачки Er:YAG-лазеров и может быть реализовано в диодном варианте накачки. Перспективность накачки Er:YAG-лазеров в нижний уровень подтверждается также теоретическими оценками в работе [8], где показано, что предельная эффективность трехмикронной генерации при комнатной температуре может определяться только стоковыми потерями на переходе ⁴I_{9/2} → ⁴I_{11/2} и достигать значений 40–50%.

Список литературы

- [1] Жеков В.И., Мурина Т.М., Прохоров А.М. и др. // Квантовая электроника. 1986. Т. 13. № 2. С. 419–422.
- [2] Багдасаров Х.С., Жеков В.И., Лобачев В.А. и др. // Труды ИОФАН. М.: Наука, 1989. Т. 19. С. 5–68.
- [3] Багдасаров Х.С., Данилов В.П., Жеков В.И. и др. // Квантовая электроника. 1992. Т. 19. № 4. С. 376–378.
- [4] Pollack S.A., Chang D.B. // J. Appl. Phys. 1988. V. 64. N 6. P. 2885–2893.
- [5] Dinerman V.K., Moulton P.F. // Opt. Lett. 1994. V. 19. N 15. P. 1143–1145.
- [6] Жеков В.И., Лобачев В.А., Мурина Т.М. и др. // Квантовая электроника. 1989. Т. 16. № 6. С. 1138–1140.
- [7] Денкер Б.И., Максимова Г.В., Осико В.В. и др. // Квантовая электроника. 1991. Т. 18. № 9. С. 1063–1065.
- [8] Prokhorov A.M., Zhekov V.I., Murina T.M. et al. // Laser Physics. 1993. V. 3. N 1. P. 79–83.