

07

## Генерация на переходе ${}^3F_4-{}^3H_6$ иона $Tm^{3+}$ при прямом возбуждении состояния ${}^3F_4$ излучением газового лазера с ядерной накачкой

© А.В. Бочков, А.В. Загидулин, Э.П. Магда,  
В.В. Мироненко, Г.С. Софиенко, А.С. Подымако

Российский федеральный ядерный центр — Всероссийский  
научно-исследовательский институт технической физики  
им. акад. Е.И. Забабахина, Снежинск Челябинской области  
E-mail: E.P.Magda@vniitf.ru

Поступило в Редакцию 3 апреля 2006 г.

Приведены результаты исследования возможности получения генерации в кристалле  $Tm^{3+}$ : YAP при прямой накачке уровня  ${}^3F_4$  иона  $Tm^{3+}$  узкополосным излучением газового лазера, работающего в средней ИК-области спектра. Эффективность преобразования излучения накачки в спонтанное излучение на переходе  ${}^3F_4-{}^3H_6$  иона  $Tm^{3+}$  составила  $\sim 65-75\%$ . Эффективность генерации лазерного излучения (ЛИ) по поглощенной энергии накачки составила  $\sim 4\%$ .

PACS: 42.55.-f

Перспективными твердотельными лазерными средами для генерации лазерного излучения в области длин волн  $1.6-2.0\ \mu m$  являются активированные тулнием кристаллы типа YAG, YAP и т.п. Схема образования инверсной населенности в них выглядит следующим образом. При поглощении кванта излучения с длиной волны  $0.78-0.80\ \mu m$  происходит возбуждение  ${}^3F_4$  состояния  $Tm^{3+}$ . В процессе кроссрелаксации  ${}^3H_4 \rightarrow {}^3F_4$ :  ${}^3H_6 \rightarrow {}^3F_4$  образуется два возбужденных состояния  ${}^3F_4$ , с которых происходит генерация в основное  ${}^3H_6$  состояние. Квантовая эффективность этого процесса в идеальном случае составляет 2. В реальной ситуации квантовая эффективность кроссрелаксации зависит от концентрации активатора и составляет обычно  $1.4-1.8$  [1,2]. С энергетической точки зрения было бы целесо-

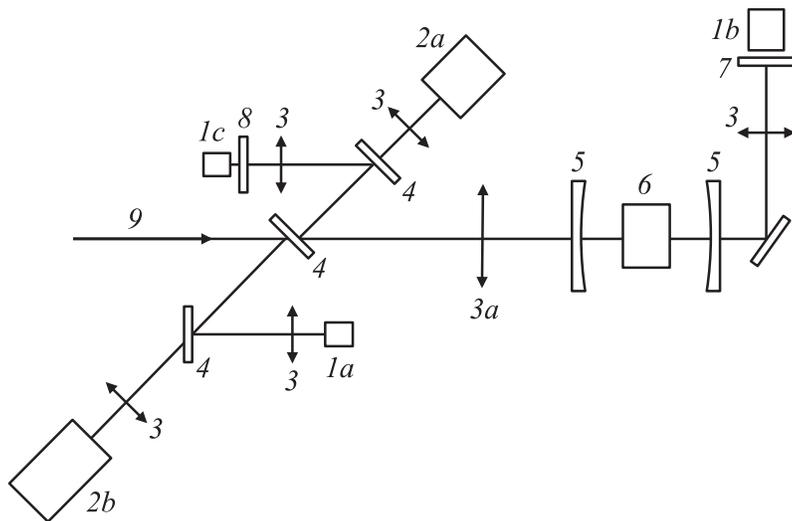
образно возбуждать  ${}^3F_4$  уровень непосредственно излучением с длиной волны 1.7–1.9  $\mu\text{m}$ .

Спектроскопические исследования, результаты которых приведены в работах [3,4], показывают, что активированные тулнием кристаллы обладают существенным поглощением в средней ИК-области спектра. При поглощении кванта излучения с длиной волны 1.6–1.8  $\mu\text{m}$  (сечение поглощения  $\sim 1 \cdot 10^{-20} \text{ cm}^2$ ) происходит прямое возбуждение  ${}^3F_4$  состояния иона  $\text{Tm}^{3+}$ , которое является верхним уровнем перехода  ${}^3F_4 \rightarrow {}^3H_6$ . При помещении в неселективный резонатор происходит генерация лазерного излучения с длиной волны 1.85–2.0  $\mu\text{m}$ .

Нами были выполнены опыты по получению генерации на переходе  ${}^3F_4-{}^3H_6$  иона  $\text{Tm}^{3+}$  при накачке излучением с длинами волн 1.73 и 1.79  $\mu\text{m}$ . В экспериментах использовался кристалл  $\text{Tm}^{3+} : \text{YAP}$  (4 at.%) с размерами 7.5×7.5×5 mm (длина 5 mm). Полированные плоско-параллельные грани кристалла имели просветляющее покрытие для излучения с длиной волны 1.94  $\mu\text{m}$ . Боковая поверхность кристалла — матовая.

Перед началом экспериментов по получению генерации были выполнены измерения величины поглощенной энергии излучения накачки в кристалле  $\text{Tm}^{3+} : \text{YAP}$ , коэффициента поглощения и времени жизни уровня, с которого идет интенсивная люминесценция. Было найдено, что время жизни равно  $6.8 \pm 0.2 \text{ ns}$ . Коэффициент поглощения составляют 2.6 и 2.2  $\text{cm}^{-1}$  для длин волн 1.73 и 1.79  $\mu\text{m}$  соответственно. Измеренная эффективность преобразования излучения накачки в люминесценцию получилась равной 54% для длины волны накачки 1.73  $\mu\text{m}$  и 76% для 1.79  $\mu\text{m}$ . В качестве источника накачки использовалось излучение лазера с ядерной накачкой [5]. Энергия накачки на входе в кристалл устанавливалась порядка 0.14–0.2 Н, длительность импульса накачки 350  $\mu\text{s}$ .

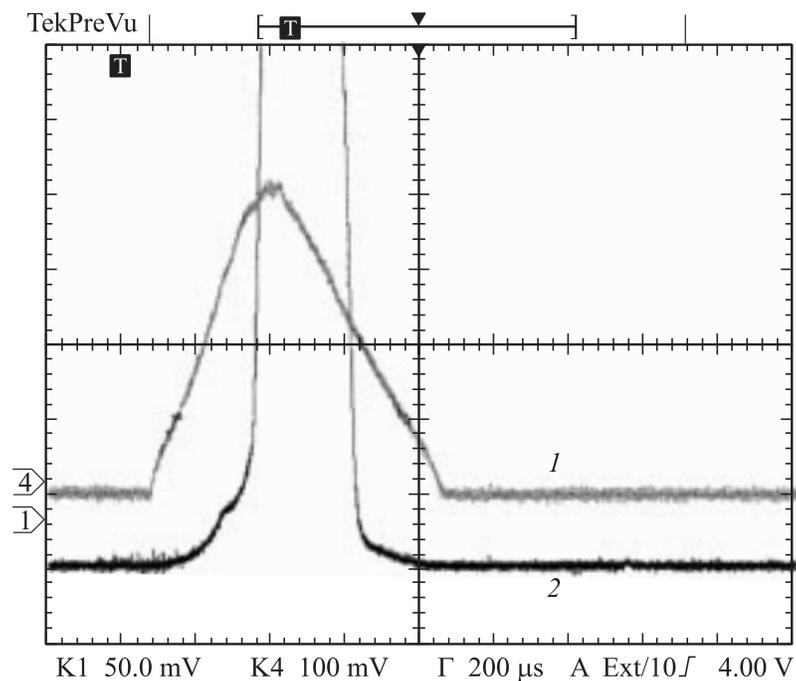
Оптическая схема экспериментальной установки, использовавшейся для исследования возможности получения генерации на переходе иона  $\text{Tm}^{3+}$ , приведена на рис. 1. Для возбуждения кристалла использовалась продольная схема накачки. Кристалл размещался в перетяжке концентрического резонатора, состоящего из 2 зеркал с радиусами кривизны 4.5 см. Зеркала имели коэффициенты отражения в диапазоне длин волн 1.9–2.1  $\mu\text{m}$ :  $\sim 97\%$  — зеркала со стороны ввода ЛИ накачки, 99.5 % — зеркала с противоположной стороны. На внешнюю поверхность зеркал



**Рис. 1.** Схема исследования генерации активного элемента:  $1a, 1b, 1c$  — фотоприемники,  $2a, 2b$  — калориметры ИМО-2Н,  $3$  — линза,  $4$  — делительная пластина,  $5$  — зеркала резонатора,  $6$  — образец,  $7$  — фильтр (зеркало),  $8$  — фильтр (германиевая пластина),  $9$  — ЛИ накачки.

нанесено просветляющее на длине волны накачки покрытие. Пропускание первого зеркала на длине волны накачки составляло  $\sim 92\%$ , второго —  $65\%$ . Излучение накачки фокусировалось на кристалл линзой  $3a$  с фокусным расстоянием 50 см. Расчетная величина области накачки составляла  $\sim \varnothing 1 \times 5 \text{ mm}^3$ .

Параметры излучения накачки регистрировались калориметром  $2$  и фотоприемником  $1a$  (PbSe). Излучение, выходящее из резонатора кристалла, регистрировалось калориметром  $2a$  и фотоприемником (PbSe)  $1c$  и  $1b$ . Перед фотоприемником  $1c$  устанавливалась германиевая пластина, „отрезающая“ оптическое излучение с длиной волны короче  $1.8 \mu\text{m}$ . Перед фотоприемником  $1b$  устанавливалось диэлектрическое зеркало с пропусканием ЛИ на длине волны накачки менее  $0.1\%$  и имеющее коэффициент пропускания на длине волны  $\sim 2 \mu\text{m}$   $30\%$ .



**Рис. 2.** Осциллограммы импульсов накачки (1) и импульса генерации  $\text{YAP: Tm}^{3+}$  (2).

Генерация была получена при накачке излучением с длинами волн 1.73 и 1.79  $\mu\text{m}$ . Для длины волны 1.73  $\mu\text{m}$  параметры генерации были выше. На рис. 2 приведена осциллограмма импульса накачки ( $\lambda = 1.73 \mu\text{m}$ ) и импульса генерации ЛИ кристаллом  $\text{YAP: Tm}^{3+}$ . По оценкам пороговая мощность накачки составила  $\sim 35 \text{ KW/cm}^3$ , эффективность преобразования излучения накачки в лазерное излучение кристалла 4%.

Авторы выражают свою признательность А.В. Шестакову и А.Г. Охримчуку за любезно предоставленные активные элементы и полезные рекомендации по выполнению работы.

## Список литературы

- [1] Антупенко В.М., Воронин С.П., Мак А.А. и др. // Опт. и спектр. 1986. Т. 60. С. 95–97.
- [2] Kintz G.J., Allen R., Estarowitz L. // Postdeadline Paper. Conf. Lasers Electro-Opt. Washington, DC, Opt. Soc. Amer., 1987. Paper ThU4.
- [3] Stoneman R.C., Esterowitz L. // Opt. Lett. 1990. V. 15. N 9. P. 486–488.
- [4] Huber G., Duzrynsri E.W., Peterman Klaus. // IEEE J. of Quant. Electr. 1988. V. 24. N 6. P. 920–923.
- [5] Magda E.P. // Laser and Particle Beams. V. 11. N 3. P. 496–476.