

ЭФФЕКТИВНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ИНДУЦИРОВАННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ $1,054 \rightarrow 1,54 \text{ мкм}$

В. П. Гапонцев, М. Е. Жаботинский, А. А. Изыннеев,
В. Б. Кравченко, Ю. П. Рудницкий

Ниже, по-видимому, впервые сообщается об эффективном преобразовании излучения ОКГ на неодимовом стекле ($\lambda = 1,054 \text{ мкм}$) в индуцированное излучение в диапазоне $1,54 \text{ мкм}$. Преобразование получено путем возбуждения излучением неодимовых ОКГ генерации в иттербий-эрбиевом стекле на переходе ${}^4I_{13/2} - {}^4I_{15/2}$ ионов Er^{3+} (трехуровневая схема генерации). Излучение накачки при этом поглощалось ионами Yb^{3+} в результате электронного перехода между верхней штарковской компонентной основного уровня ${}^4F_{3/2}$ и метастабильным уровнем ${}^4F_{7/2}$ с последующей безызлучательной передачей энергии возбуждения ионам Er^{3+} (рис. 1). Хотя начальный под уровень абсорбционного перехода при комнатной температуре очень слабо заселен ($\sim 1,5 \cdot 10^{-2} n_0$), за счет введения в стекло больших концентраций Yb^{3+} (до $1,5 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-3}$) удается обеспечить коэффициент поглощения на частоте накачки порядка нескольких сотых долей см^{-1} . Такой уровень поглощения, конечно, обуславливает высокие пороговые плотности возбуждающего излучения, доступные, однако, импульсным ОКГ на неодимовом стекле и не превышающие световой прочности стекол. Вместе с тем при слабом поглощении становится возможным исключительно равномерное возбуждение больших объемов активной среды. Проведенные нами предварительный анализ и спектрально люминесцентные исследования характеристик системы ионов $\text{Yb}^{3+} + \text{Er}^{3+}$ в различных стеклянных матрицах, в том числе квантового выхода и особенностей безызлучательной передачи в паре $\text{Yb}^{3+} \rightarrow \text{Er}^{3+}$, при высоких плотностях возбуждающего излучения

показали, что в оптимальных условиях вполне реально ожидать энергетической эффективности преобразования $\eta = 40 + 50\%$ ¹⁾. В таком случае описываемая схема позволяет разрабатывать лазерные системы на диапазон $1,54 \text{ мк}$, по энергетике лишь немногим уступающие импульсным неодимовым ОКГ, а по некоторым другим параметрам, например, угловой расходимости и яркости излучения, даже их превосходящие. Для сравнения заметим, что у известных по работам [1 – 3] ОКГ на эрбьевом стекле с накачкой от импульсных ламп энергетический КПД не превышает $0,3 + 0,5\%$, а снимаемые энергии – нескольких десятых джоуля.

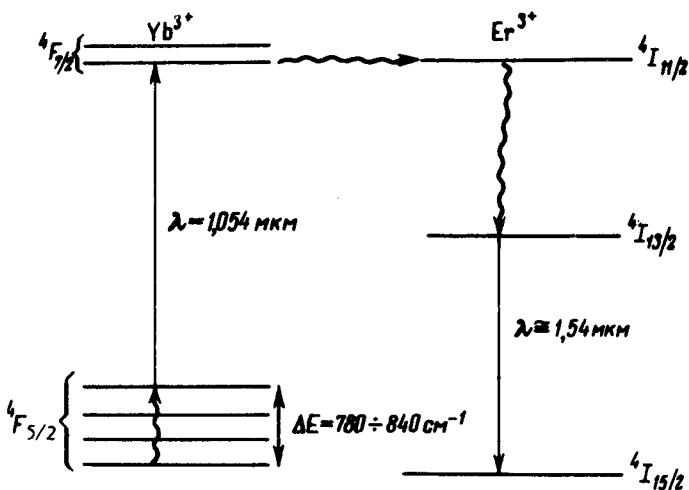


Рис. 1. Упрощенная схема преобразования индуцированного излучения $1,054 - 1,54 \text{ мк}$

Для генерационных исследований нами было выбрано барий-алюмометафосфатное стекло, активированное $1,5 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-3}$ ионов Yb^{3+} и $2,5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ ионов Er^{3+} , которое по совокупности необходимых спектрально-люминесцентных характеристик обладает преимуществом перед другими типами стеклянных матриц. Для него коэффициент поглощения излучения накачки составил $6,2 \cdot 10^{-2} \text{ см}^{-1}$, эффективное поперечное сечение индуцированного излучения ионов Er^{3+} на частоте генерации $1,2 \cdot 10^{-20} \text{ см}^2$, длительность люминесценции $\text{Er}^{3+} - 8,8 \cdot 10^{-3} \text{ сек}$, скорость безызлучательной передачи энергии возбуждения в паре $\text{Yb}^{3+} - \text{Er}^{3+}$.

¹⁾ Предельное теоретическое значение η определяется стоксовым сдвигом частоты генерации относительно частоты накачки и равно 0,69.

больше $9 \cdot 10^3$ сек $^{-1}$ и квантовая эффективность передачи, определенная по сокращению времени жизни Yb^{3+} , более 0,93. Из этого стекла был изготовлен активный элемент в виде прямоугольной плоско-параллельной пластины сечением 10×14 мм и длиной 70 мм с двумя боковыми гранями, скошенными под углом $45^\circ \pm 5''$. Излучение накачки вводилось в активный элемент нормально к одной из скошенных граней (10×20 мм 2) и, претерпев внутри нескольких полных внутренних отражений, выходило через противоположную грань. Косой ход лучей накачки позволил вдвое повысить плотность потока возбуждающего излучения внутри элемента по отношению к плотности радиации на входе и обеспечить повышенную равномерность возбуждения по объему активной среды. Достоинством такой формы активного элемента является также простота пространственного разведения пучков накачки и генерации.

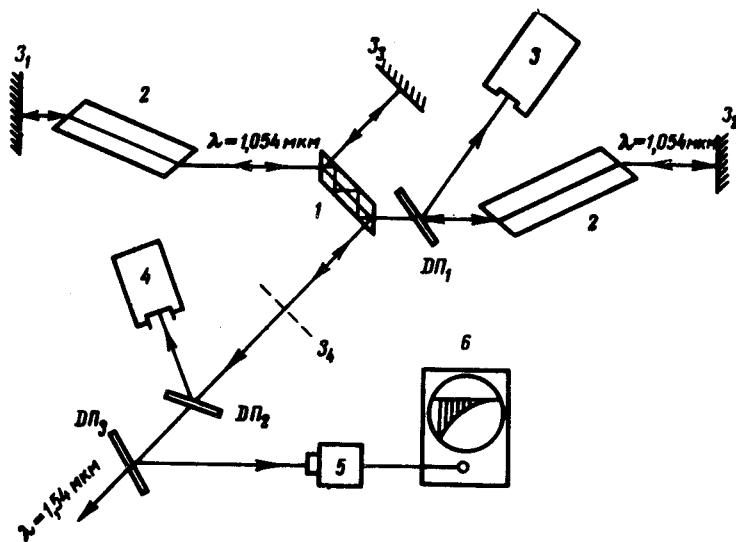


Рис. 2. Оптическая схема эксперимента

ИКТ-1М, на который направлялась калиброванная часть излучения при помощи делительной пластинки $D\pi_1$, внесенной в резонатор. Резонатор эрбьевого ОКГ составлен плоскими диэлектрическими зеркалами 3_3 и 3_4 ($r_3 = 99\%$ и $r_4 = 62\%$) при базе 150 мм. Энергия его генерации измерялась вторым калориметром ИКТ-1М (4). Кинетика развития генерации регистрировалась германиевым фотодиодом 5, подключенным к запоминающему осциллографу С1-42 (6). Спектры генерации

Оптическая схема эксперимента на рис. 2. Yb^{3+} – Er^{3+} – элемент 1 помещен в резонатор неодимового ОКГ накачки с базой 1200 мкм, образованный двумя диэлектрическими зеркалами z_1 и z_2 с коэффициентами отражения $r_{z_1, z_2} = 99,5\%$ и двумя активными элементами 2 из фосфатного стекла ЛПС-40, выполненными в виде пластин прямоугольного сечения $10 \times 32 \text{ mm}^2$ и длиной 280 мкм, с торцами, срезанными под углом Брюстера. Неодимовые элементы расположены симметрично относительно Yb^{3+} – Er^{3+} – элемента, благодаря чему неравномерность возбуждения по длине последнего не превышала 2%, хотя он, являясь полезной нагрузкой неодимового ОКГ, поглощал 60% подводимого излучения накачки. Длительность светового импульса возбуждения неодимовых элементов равнялась $1,6 \cdot 10^{-3}$ сек по уровню 0,1 а их излучение происходило на длине волн $1,054 \pm 0,001 \text{ мкм}$. Энергия, подводимая к входной грани Yb^{3+} – Er^{3+} – элемента, измерялась калориметром 3 типа изучались при помощи спектрографа с дисперсией 20 \AA/mm путем выжигания фотоэмulsionии на предварительно засвеченной и проявленной фотопленке.'

Генерация эрбивого ОКГ носила типичный пичковый характер при длительности отдельных пичков $1+3 \text{ мксек}$. При небольшом превышении над порогом излучение происходило на линии $\lambda_1 = 1536 \text{ мкм}$ с $\Delta\lambda_1 = 1,6 + 1,8 \text{ мкм}$, затем последовательно появлялись более слабые линии с $\lambda_2 = 1543 \pm 1 \text{ мкм}$ (1,5 порога) и $\lambda_3 = 1538,5 \pm 0,75 \text{ мкм}$ ($\sim 2,5$ порога).¹

Пороговая энергия накачки составила 5,3 дж, поглощенных в 1 см³ Yb^{3+} – Er^{3+} – элемента. При трехкратном превышении над порогом энергия излучения в импульсе свободной генерации достигала 21 дж при дифференциальном коэффициенте преобразования $\eta_g \approx 29\%$. В режиме модуляции добротности при помощи врачающейся призмы (500 оборотов/сек) тот же элемент излучал 5,1 дж в импульсе длительностью $\sim 30 \text{ мксек}$. Невысокое оптическое качество стекла, полученного в лабораторных условиях, не позволило настроить резонатор эрбивого ОКГ с точностью выше $\pm 1'$, что явно недостаточно для его эффективной работы. Учитывая это, можно надеяться, что при стекле высокого оптического качества вполне достижимо получение эффективности преобразования $\sim 40 - 50\%$.

Институт радиотехники
и электроники
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
13 августа 1973 г.

Литература

- [1] E. Snitzer, R. F. Woodcock. Appl. Phys. Lett., 6, 45, 1965.
- [2] K. O. White, E. H. Holt, R. F. Woodcock. Laser focus. 6, 41, 1970.
- [3] E. Snitzer C. G. Young. "Advances in lasers", v. 2, A. Levine, Ed. N. Y. Dekker, 1968, p.p. 191 – 256.