

"ПЛЕНЕНИЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ" ПРИ СИЛЬНОМ НЕКОГЕРЕНТНОМ
ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ИОНОВ Er^{3+} И Yb^{3+} В КРИСТАЛЛАХ $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$

Т. Т. Басиев, Ю. К. Воронько, Е. В. Жариков, В. В. Осипко,
М. И. Тимошечкин

УДК 535.373.2

Приведены результаты измерения времен жизни уровней ионов $\text{Er}^{3+}(^4\text{I}_{11/2})$ и $\text{Yb}^{3+}(^2\text{F}_{5/2})$ в кристаллах $(\text{Y}_{1-x-y}\text{Er}_x\text{Yb}_y)_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ ($x = 0,05; 0,2, y = 0,1; 0,2; 0,4$) при селективном возбуждении и регистрации люминесценции. Сделан вывод о наличии в данной системе "пленения возбуждения" в результате сильного некогерентного взаимодействия ионов Er^{3+} и Yb^{3+} , что позволяет увеличить эффективное время жизни верхнего лазерного уровня $^4\text{I}_{11/2}$ ионов Er^{3+} более чем в 3 раза.

В работе /1/ нами сообщалось об экспериментальном обнаружении эффекта "пленения электронного возбуждения" при сильном взаимодействии ионов Er^{3+} и Yb^{3+} в кристаллах флюорита.

Экспериментальное проявление этого эффекта состоит в значительном увеличении наблюдаемого времени жизни ионов Yb^{3+} (до 7,5 мс) по сравнению с собственным $\tau_0(^2\text{F}_{5/2})$ ионов Yb^{3+} (3 мс), вследствие резонансного обмена энергией с коллективом долгоживущих ионов Er^{3+} ($\tau_0(^4\text{I}_{11/2}) = 8$ мс).

В этой же работе нами было предложено использовать эффект "пленения возбуждения" для увеличения времени жизни верхнего лазерного уровня $^4\text{I}_{11/2}$ ионов Er^{3+} в кристаллах граната $(\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12})$, на которых получено стимулированное излучение с длиной волны генерации около 3 мкм (переход $^4\text{I}_{11/2} - ^4\text{I}_{13/2}$). Как было показано нами в работах /2,3/, в этих кристаллах соотношение времен жизни Er^{3+} и Yb^{3+} оказывается обратным по сравнению с соответствующим

отношением в кристаллах флюорита. Так, для алмайттршевого граната $\tau_0(\text{Yb}^{3+}) = 1,17$ мс, что более чем в 10 раз превосходит $\tau_0(\text{Er}^{3+}) = 0,1$ мс.

Работа лазера в неэффективном режиме самозащирания (время жизни нижнего лазерного уровня $\tau_0({}^4I_{13/2}) = 6,4$ мс существенно больше времени жизни верхнего $\tau_0({}^4I_{11/2}) = 0,1$ мс), и, кроме того, плохое согласование времени жизни верхнего лазерного уровня ${}^4I_{11/2}$ с длительностью излучения ламп накачки привели к мысли о совместном введении ионов Yb^{3+} и Er^{3+} в кристаллы граната с целью увеличения $\tau({}^4I_{11/2})$ ионов Er^{3+} и повышения эффективности работы лазера.

Как было показано в работе /1/, необходимым условием существования "пленения возбуждения" является наличие сильного некогерентного взаимодействия между ионами как одного, так и различных типов, т.е.,

$$P(\text{Er}^{3+} \rightleftharpoons \text{Er}^{3+}); P(\text{Yb}^{3+} \rightleftharpoons \text{Yb}^{3+}); P(\text{Er}^{3+} \rightleftharpoons \text{Yb}^{3+}) \gg \frac{1}{\tau_0(\text{Er}^{3+})}; \frac{1}{\tau_0(\text{Yb}^{3+})}. \quad (1)$$

Здесь P - вероятность резонансного межионного взаимодействия, а $\tau_0(\text{Er}^{3+})$ и $\tau_0(\text{Yb}^{3+})$ - собственные времена жизни метастабильных уровней, находящихся в резонансе.

Вследствие того, что вероятность взаимодействия ион-ион существенно зависит от расстояния R между ионами $P \sim R^{-6}$ (где $S = 6; 8; 10$ при мультипольном взаимодействии), ее увеличения можно добиться наращиванием концентрации примесных ионов.

Это приводит к тому, что обе примесные подсистемы (Er^{3+} и Yb^{3+}), которые первоначально (при низких концентрациях) были изолированы и имели различные времена дезактивации возбуждений $\tau_0(\text{Er}^{3+})$ и $\tau_0(\text{Yb}^{3+})$, после выполнения условия (1) обобществляют электронные возбуждения, после чего их скорости распада становятся одинаковыми

$$\tau_{\text{ср}}^{-1} = \frac{n(\text{Er})/\tau_0(\text{Er}) + n(\text{Yb})/\tau_0(\text{Yb})}{n(\text{Er}) + n(\text{Yb})}. \quad (2)$$

В настоящей работе мы приводим результаты измерений скоростей дезактивации метастабильных уровней ${}^4I_{11/2}(\text{Er}^{3+})$ и ${}^2F_{5/2}(\text{Yb}^{3+})$

в кристаллах $(Y_{1-x-y}Er_xYb_y)_3Al_5O_{12}$.

Измерения проводились при селективном возбуждении и регистрации люминесценции отдельно ионов Er^{3+} и Yb^{3+} по схеме, приведенной в работе /1/.

Кристаллы смешанных иттрий-эрбий-иттербий-алюминиевых гранатов с различными концентрациями Er^{3+} ($x = 0,05; 0,2$) и Yb^{3+} ($y = 0,1; 0,2; 0,4$) были выращены по методу Чохральского из иридиевых тиглей. Использовались следующие исходные вещества: Ti_2O_3 марки "00000", Er_2O_3 марки "0000", Yb_2O_3 марки "0000" и Al_2O_3 , полученная разложением из алюмоаммонийных квасцов ОС4-7-4. Шихты гранатов $Y_3Al_5O_{12}$, $Er_3Al_5O_{12}$ и $Yb_3Al_5O_{12}$ готовились отдельно. Исходные окислы смешивали в стехиометрическом соотношении.

Измерения показали, что для всех исследованных кристаллов имеет место сильное некогерентное взаимодействие коллективов ионов Er^{3+} и Yb^{3+} .

Таблица I

кристаллы	$\tau_{изм}, \text{ мс}$	$\tau_{ср}, \text{ мс}$
$(Y_{0,85}Er_{0,05}Yb_{0,1})_3Al_5O_{12}$	0,25	0,24
$(Y_{0,75}Er_{0,05}Yb_{0,2})_3Al_5O_{12}$	0,32	0,34
$(Y_{0,6}Er_{0,2}Yb_{0,2})_3Al_5O_{12}$	0,145	0,18
$(Y_{0,4}Er_{0,2}Yb_{0,4})_3Al_5O_{12}$	0,125	0,24

Времена жизни ионов Er^{3+} и Yb^{3+} для каждого кристалла оказались одинаковыми, что говорит об усреднении их скоростей распада вследствие обратимого переноса энергии ион-ион $Er^{3+} \rightleftharpoons Yb^{3+}$. Значения измеренных времен затухания люминесценции $\tau_{изм}$ для ионов Er^{3+} и Yb^{3+} и рассчитанных по формуле (2) величин $\tau_{ср}$ приведены в табл. I. Из таблицы видно, что в соответствии с выказанными ранее предположениями дополнительное введение в кристаллы $(Y_{1-x}Er_x)_3Al_5O_{12}$ ионов Yb^{3+} действительно приводит к существенному росту времени жизни верхнего лазерного уровня $^4I_{11/2}$ ионов Er^{3+} (более чем в 3 раза), что, как мы указывали, может положительно сказаться на работе этого материала в качестве активного элемента трехмикронного лазера (переход $^4I_{11/2} - ^4I_{13/2}$). Отметим, что ионы Yb^{3+} в этих кристаллах могут играть

не только пассивную роль аккумулятора электронных возбуждений, но и активную - эффективно поглощая излучение накачки в диапазоне длин волн 0,9-1,0 мкм и тем самым увеличивая число электронных возбуждений (инверсию) [§].

Сравнение измеренных и рассчитанных времен жизни (см. таблицу) показывает, что наилучшее совпадение имеет место при не очень больших суммарных концентрациях активных ионов (15 - 25 ат.%). Увеличение суммарной концентрации активной примеси (40 - 60 ат.%) приводит к существенному занижению измеренных времен жизни по сравнению с расчетными. Наиболее вероятной причиной этого является появление с ростом концентрации паразитного канала гибели электронных возбуждений, который обусловлен их миграцией по метастабильным уровням к неконтролируемым тушащим примесям, присутствующим в кристалле в очень малом количестве. Как нами было показано ранее /2,3/, такой канал безызлучательной гибели электронных возбуждений может приводить к падению времени жизни (тушению люминесценции) ионов Yb^{3+} до 100 нс и ионов Er^{3+} до 70 нс. При этом времена жизни определяются содержанием неконтролируемых примесей, что позволяет при использовании исходных веществ более высокой чистоты ожидать увеличения τ и при высоких концентрациях активных ионов.

С учетом перечисленных обстоятельств можно заключить, что совместное введение ионов Yb^{3+} и Er^{3+} в кристаллы граната позволяет существенно увеличить время жизни уровня ${}^4\text{I}_{11/2}$ ионов Er^{3+} , до значений, точно соответствующих рассчитанной зависимости, приведенной нами в работе /1/.

[§] Введение ионов Yb^{3+} для сенсбилизации ионов Er^{3+} в трехмикронном лазере на гранате предложено М. И. Тимошечкиным.

Поступила в редакцию
13 апреля 1979 г.

Л и т е р а т у р а

1. Т. Т. Басиев, Ю. К. Воронько, В. В. Осико, А. М. Прохоров, И. А. Щербakov, ЖЭФ, 70, 1226 (1976).

2. Т. Т. Басиев, Б. В. Шариков, В. И. Жекон, Т. М. Мурина, В. В. Осико, А. М. Прохоров, Б. П. Стариков, М. И. Тимошечкин, И. А. Щербаков, Квантовая электроника **3**, 1471 (1976).
3. Т. Т. Басиев, Ю. К. Воронько, И. А. Щербаков, ЖЭТФ, **66**, 2119 (1974).