

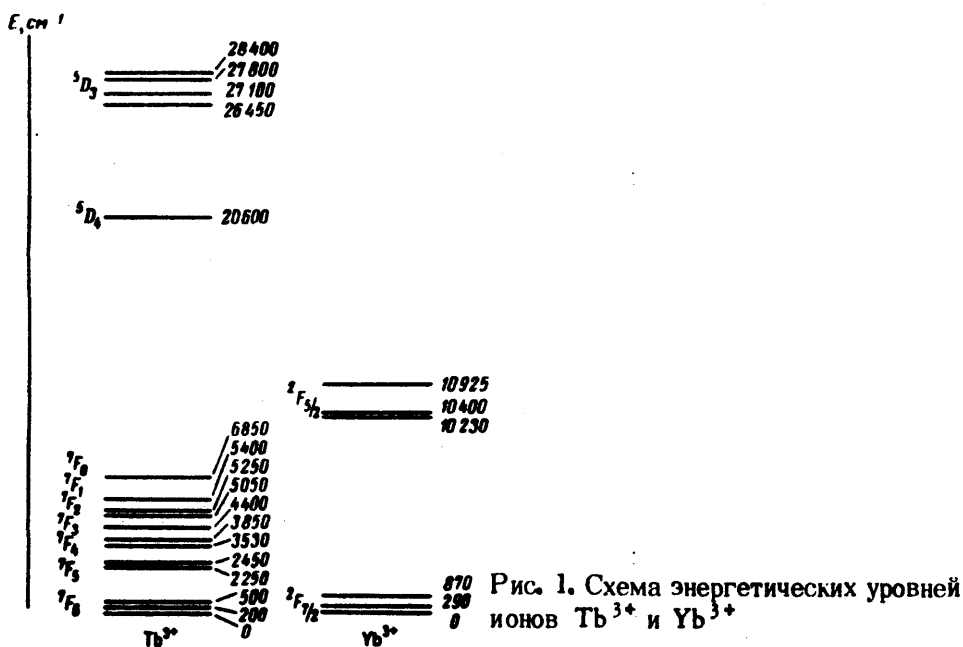
**ПЕРЕДАЧА ЭНЕРГИИ ВОЗБУЖДЕНИЯ
МЕЖДУ ТРЕХВАЛЕНТНЫМИ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ ИОНАМИ,
СТИМУЛИРОВАННАЯ ПОЛЕМ ИЗЛУЧЕНИЯ**

*В. И. Булак, Г. М. Зверев, Г. О. Карапетян,
А. М. Онищенко*

В настоящей работе обнаружена передача энергии возбуждения от ионов Yb^{3+} ионам Tb^{3+} в силикатном стекле, стимулированная излучением неодимового лазера с длиной волны $1,06 \text{ мк}$. Передача энергии осуществляется за счет взаимодействия иона Yb^{3+} , находящегося в возбужденном состоянии, иона Tb^{3+} , находящегося в основном состоянии, и фотона с энергией, равной разности между возбужденными энергетическими состояниями ионов $\text{Yb}^{3+}({}^2\text{F}_{5/2})$ и $\text{Tb}^{3+}({}^3\text{D}_4)$. В наших экспериментах излучение неодимового лазера приводило не только к возбуждению ионов Tb^{3+} , но и создавало поле фотонов на разностной

частоте. Теоретическое рассмотрение передачи энергии возбуждения между активными ионами с участием фотонов проведено в работе [1].

Исследования проводились на образцах силикатного стекла, активированного 8 мол. % ионов Tb^{3+} и 7 мол. % ионов Yb^{3+} (содержание в исходной шихте). При облучении стекла с примесью ионов Tb^{3+} и Yb^{3+} светом неодимового лазера, работающего как в режиме свободной генерации, так и в режиме модулированной добротности, при $T = 300^\circ K$ наблюдалась люминесценция ионов Tb^{3+} в области $0,48 + 0,53 \text{ мк}$, связанная с переходами с уровня 5D_4 на уровни $^7F_6 - 0$. Схема энергетических уровней ионов Yb^{3+} и Tb^{3+} представлена на рис. 1 [2]. Лазерное излучение переводит ионы Yb^{3+} в состояние $^2F_{5/2}$ и создает поле фотонов на частоте, соответствующей разности энергетических состояний 5D_4 ионов Tb^{3+} и $^2F_{5/2}$ ионов Yb^{3+} . При возбуждении ультрафиолетовым излучением в этом образце при $T = 300^\circ K$ наблюдалась люминесценция ионов Tb^{3+} с уровня 5D_4 со временем жизни 500 мксек и люминесценция ионов Yb^{3+} с уровня $^2F_{5/2}$ со временем жизни 200 мксек. Спектры излучения и времена жизни возбужденных состояний активных ионов при лазерном возбуждении не отличались от наблюдаемых при возбуждении ультрафиолетом.



На рис. 2 приведены осциллограмма сигнала люминесценции ионов Tb^{3+} при облучении образца светом неодимового лазера, работающего в режиме модулированной добротности с длительностью импульса $2 \cdot 10^{-8} \text{ сек}$. Разрешающее время приемной аппаратуры составляло $5 \cdot 10^{-6} \text{ сек}$. Из рассмотрения кинетики излучения ионов Tb^{3+} видно, что люминесценция следует непосредственно за возбуждающим импульсом. Помимо рассмотренного выше процесса передачи энергии возбуждения, стимулированного полем излучения, к появлению зеленой люминес-

ценции ионов Tb^{3+} могут приводить кооперативные взаимодействия, т. е. передача энергии двух возбужденных ионов Yb^{3+} одному иону Tb^{3+} , и двухфотонное возбуждение ионов Tb^{3+} . Покажем, что этими процессами в данном случае нельзя объяснить появление зеленого свечения ионов Tb^{3+} при лазерном возбуждении.

Как видно из схемы энергетических уровней (рис. 1), энергия перехода с уровня 7F_6 на уровень 5D_4 ионов Tb^{3+} составляет 20600 см^{-1} . Ширина линии поглощения, соответствующая переходу с уровня 7F_6 на уровень 5D_4 при $T = 300^\circ\text{K}$ по нашим измерениям составляет $\sim 360 \text{ см}^{-1}$. Энергия двух квантов лазерного излучения с длиной волны $1,06 \text{ мк}$ равна $\sim 18800 \text{ см}^{-1}$. Таким образом даже с учетом ширины линии двух квантов лазерного излучения недостаточно, чтобы возбудить ионы Tb^{3+} на уровень 5D_4 . Это свидетельствует о неэффективности двухфотонного возбуждения в данной системе.

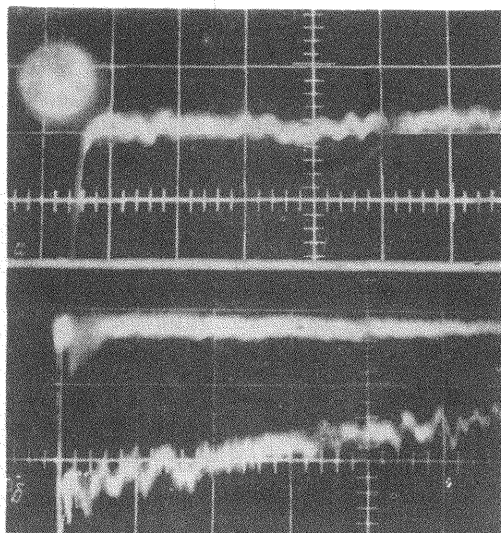


Рис. 2. Осциллограмма люминесценции ионов Tb^{3+} при возбуждении образца излучением неодимового лазера с длительностью импульса $2 \cdot 10^{-8} \text{ сек}$, при длительности развертки: а — 5 мксек/см , б — 50 мксек/см

В том случае, если за появление люминесценции ответственны кооперативные процессы [3 - 5], при возбуждении излучением неодимового лазера с длительностью импульса $2 \cdot 10^{-8} \text{ сек}$ должно наблюдаться разгорание люминесценции ионов Tb^{3+} , определяемое временем жизни ионов Yb^{3+} . В наших экспериментах в пределах 5 мксек не наблюдалось разгорания люминесценции ионов Tb^{3+} . Передача энергии возбуждения осуществляется за время действия лазерного импульса. Та-

ким образом, за появление зеленой люминесценции Tb^{3+} ответственны процессы передачи энергии возбуждения, идущие с участием фотонов.

Нами были проведены оценки вероятности такого взаимодействия при возбуждении образца излучением неодимового лазера, работающего как в режиме свободной генерации, так и в режиме модулированной добротности. При этом определялось число возбужденных ионов Yb^{3+} и Tb^{3+} при заданной энергии возбуждающего импульса. Число возбужденных ионов Yb^{3+} оценивалось по поглощению энергии излучения в исследуемом образце. Коэффициент поглощения ионов Yb^{3+} на частоте лазерного перехода при $T = 300^\circ K$ составляет $0,24 \text{ см}^{-1}$. Число возбужденных ионов Tb^{3+} определялось по амплитуде сигнала люминесценции на экране осциллографа. Калибровка приемной аппаратуры в области $0,53 \text{ мк}$ проводилась с помощью второй гармоники неодимового лазера.

В случае генерации в режиме модулированной добротности с длительностью импульса ($\tau_{\text{и}}$) $2 \cdot 10^{-8} \text{ сек}$, энергией $0,1 \text{ Дж}$ и диаметром пучка $0,2 \text{ см}$ полное число возбужденных ионов Yb^{3+} (n_{Yb}^*) составляло $\sim 1 \cdot 10^{17}$, а число возбужденных ионов Tb^{3+} (n_{Tb}^*) $\sim 1 \cdot 10^{15}$. Вероятность передачи (W_B) определялась из соотношения $n_{Tb}^* = n_{Yb}^* W_B \tau_{\text{и}}$ и оказалась равной $\sim 10^6 \text{ сек}^{-1}$. В случае свободной генерации при $\tau_{\text{и}} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ сек}$ и той же энергии и диаметре пучка W_B оказалась равной $\sim 10^2 \text{ сек}^{-1}$.

Обнаруженный нами вынужденный процесс передачи энергии возбуждения осуществляется с поглощением фотона. Вероятность такого процесса равна вероятности передачи энергии от возбужденного иона Tb^{3+} иону Yb^{3+} под действием поля излучения на частоте, соответствующей разности энергетических состояний 5D_4 иона Tb^{3+} и $^2F_{5/2}$ иона Yb^{3+} . При этом ион Tb^{3+} переходит из возбужденного состояния 5D_4 в основное состояние 7F_6 , ион Yb^{3+} переходит из основного состояния $^2F_{7/2}$ в возбужденное состояние $^2F_{5/2}$ с одновременным вынужденным испусканием фотона на разностной частоте. В отсутствие поля излучения передача энергии осуществляется со спонтанным испусканием фотона.

Люминесценция, связанная с переходами с уровня одного активного иона (Gd^{3+}) на уровень другого (Yb^{3+}) в Yb_2O_3 , наблюдалась Феофиловым [6]. Вероятность этого излучения по данным работы [6] составляет $\sim 10 + 10^2 \text{ сек}^{-1}$. Рассчитанная нами по вероятности вынужденного взаимодействия вероятность спонтанного процесса, оказалась равной $\sim 10^2 \text{ сек}^{-1}$, что согласуется с данными работы [6].

В заключение авторы выражают благодарность Г.Я.Колодному, В.А.Пашкову и В.М.Буймистрову за обсуждение полученных результатов и ценные дискуссии.

Поступила в редакцию
19 июля 1971 г.

Литература

- [1] D.L.Dexter. *Optic Communication*, 2, №3, 1970.
 - [2] Г.О.Карапетян, А.Д.Рейшахрит. *Изв. АН СССР, Сер. Неорганические материалы*, 3, 217, 1967.
 - [3] В.В.Овсянкин, П.П.Феофилов. *Письма в ЖЭТФ*, 3, 494, 1966.
 - [4] В.В.Овсянкин, П.П.Феофилов. *Журн. Прикл. Спектр.*, 7, 498, 1967.
 - [5] В.В.Овсянкин, П.П.Феофилов. *ДАН СССР*, 174, 787, 1967.
 - [6] П.П.Феофилов, А.К.Трофимов. *Оптика и спектроскопия*, 27, 538, 1969.
-