

ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ КРИСТАЛЛОВ $Y_3Al_5O_{12}$ -TRС. Х. Батыгов, Ю. К. Воронько, Б. И. Денкер
и В. С. Радюхин

Исследованы спектры термолюминесценции и кривые термовысвечивания кристаллов иттрий-алюминиевого граната, активированных трехвалентными редкоземельными ионами. Ионы Eu^{3+} , Sm^{3+} и Yb^{3+} образуют в гранате ловушки электронов, Ce^{3+} , Pr^{3+} , Tb^{3+} — дырок. По кривым термовысвечивания двухактиваторных кристаллов ИАГ-Eu, Tb и ИАГ-Yb, Tb определены потенциалы ионизации Eu^{2+} (1.5 эВ) и Yb^{2+} (1.3 эВ).

Исследование рекомбинационной люминесценции кристаллов иттрий-алюминиевого граната (ИАГ), активированных редкоземельными ионами (TR), является удобным путем изучения центров захвата, ответственных, в частности, за фото- и радиационное окрашивание граната [1-3]. Люминесценция ИАГ-TR при возбуждении ионизирующей радиацией наблюдалась в работах [4-6]. Отмечалось [3, 4], что при γ -облучении в кристаллах запасается светосумма, высвечиваемая при нагревании.

В данной работе исследуется термовысвечивание γ -облученных кристаллов ИАГ-TR.

Кристаллы и аппаратура

Кристаллы ИАГ выращивались методом Чохральского из иридиевого тигля в атмосфере аргона со скоростью 6 мм/час. Были выращены как неактивированные, так и активированные различными редкоземельными элементами кристаллы. Концентрации активаторов в шихте составляли 0.1%. Содержание посторонних примесей в исходных Y_2O_3 и Al_2O_3 не превышало $10^{-4}\%$. Кристаллы облучались при 77 и $300^\circ K$ γ -лучами Co^{60} дозой 10^7 р. Конструкция установки для записи кривых термовысвечивания позволяла сочетать запись кривых со снятием спектров термолюминесценции либо снимать одновременно две кривые в разных спектральных областях. Скорость нагрева составляла 0.4 град. сек.

Результаты

Спектры термолюминесценции кристаллов ИАГ-TR при низких температурах совпадают со спектрами рентгено- и катодолюминесценции [5]. В неактивированных кристаллах спектр состоит из широкой полосы с максимумом около 3200 \AA . В активированных кристаллах «собственное» свечение сохраняется, но его интенсивность зависит от активатора. Резкое ослабление «собственного» свечения вызывается, например, введением в кристаллы европия. «Собственное» свечение в термолюминесценции наблюдается только при температурах ниже $300^\circ K$.

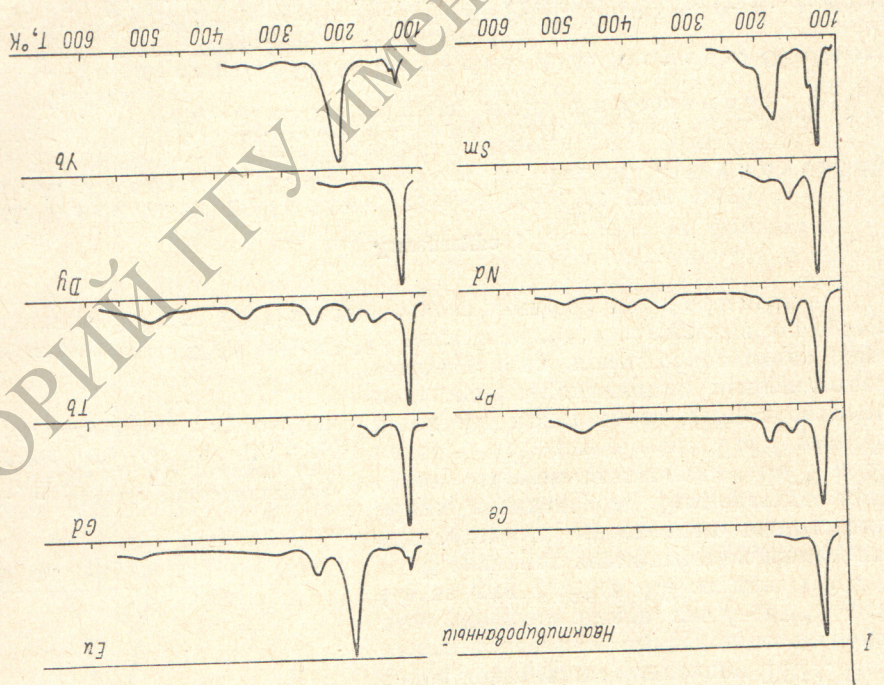
На рис. 1 приведены кривые термовысвечивания исследованных кристаллов, снятые для «собственного» свечения в неактивированном ИАГ и для активаторного в ИАГ-TR. Положения пиков «собственного» и акти-

термовысвечивания могут наблюдаться в том случае, если значительная ионизация происходит при более высоких температурах. Соответствующие пики Eu^{2+} и Yb^{2+} , имеющие большие потенциалы ионизации, чем Sm^{2+} , денем электрона с Sm^{2+} .

В этом случае на кривых термовысвечивания IAL-Sm должен быть пик, соответствующий ионизации двухвалентного самария. Действительно, на кривой термовысвечивания IAL-Sm имеется пик с $T^* = 180^\circ \text{K}$, отсутствующий на остальных кривых. Очевидно, этот пик обусловлен освобождением электрона с Sm^{2+} .

Известно, что наряду с Eu^{3+} и Yb^{3+} большое сродство к электрону имеет Sm^{3+} [7]. При 300°K восстановление Sm^{3+} не происходит [3], но можно ожидать, что при низких температурах Sm^{2+} окажется устойчивым. В этом случае на кривых термовысвечивания IAL-Sm должен быть пик, соответствующий ионизации двухвалентного самария. Действительно, на кривой термовысвечивания IAL-Sm имеется пик с $T^* = 180^\circ \text{K}$, отсутствующий на остальных кривых. Очевидно, этот пик обусловлен освобождением электрона с Sm^{2+} .

Рис. 1. Кривые термовысвечивания кристаллов IAL-TR, облученных γ -лучами при 77°K .



Как видно из рис. 1, на кривых термовысвечивания имеются пики (110, 170 K), общие для всех кристаллов. Естественно связать эти пики с собственными дефектами кристаллов. В присутствии некоторых активных центров пики появляются в присутствии ионов, способных переходить в двухвалентное (Eu , Yb) или четырехвалентное (Ce , Pr , Tb) состояние [3]. Пики около 200, 260, 320, 360 K, появляющиеся в присутствии Eu и Yb , обусловлены, по-видимому, освобождением дырок с уровней, образованных собственными дефектами. Отсутствие этих пииков ватерного высвечивания в активированных кристаллах до 300°K совпадают, но относительная интенсивности пииков могут меняться.

часть дырок захвачена на глубоких ловушках. Такие условия реализуются в кристаллах, содержащих в качестве соактиваторов Се, Рг или Ть, которые способны прочно удерживать дырки [7]. На рис. 2 приведены

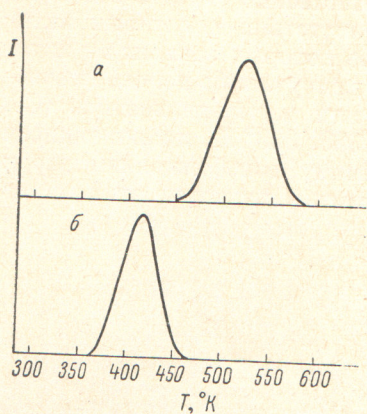


Рис. 2. Кривые термовысвечивания ($\lambda=380$ нм, Tb^{3+}) кристаллов ИАГ-Еу, Ть (а) и ИАГ-Уь, Ть (б), облученных γ -лучами при 300° К.

кривые термовысвечивания кристаллов ИАГ-Еу, Ть и ИАГ-Уь, Ть. Эти кривые имеют практически по одному пику, положение которого изменяется при переходе от Еу к Уь. Замена тербия на празеодим не влияет на T_m пика. На этом основании можно заключить, что пики на кривых рис. 2 обусловлены ионизацией TR^{2+} , а энергии активации представляют собой потенциалы ионизации TR^{2+} . Потенциалы ионизации, вычисленные по начальным участкам пиков, где $I \sim e^{-s/kT}$, равны 1.5 эв для Eu^{2+} и 1.3 эв для Yb^{2+} .

В спектрах термолюминесценции двухактиваторных кристаллов видны линии, обоим активаторов. Температуры максимумов термовысвечивания Eu^{3+} и Yb^{3+} на $10 \div 15^\circ$ ниже, чем Tb^{3+} или Pg^{3+} в тех же кристаллах. При электронном механизме рекомбинации непосредственно возбуждаются ионы, образующие дырочную люминесценцию Eu^{3+} и Yb^{3+} в этом случае остается пока неясным.

Литература

- [1] М. Васс, А. Е. Раладино. J. Appl. Phys., 38, 2706, 1967.
- [2] П. А. Арсеньев, Е. Ф. Кустов, Л. Ли, М. В. Чукичев. Кристаллография, 13, 740, 1968.
- [3] С. Х. Батыгов, Ю. К. Воронько, Б. И. Денкер, А. А. Майер, В. В. Осико, В. С. Радюхин, М. И. Тимошечкин. ФТТ, 14, 977, 1972.
- [4] Х. С. Багдасаров, Ш. А. Вахидов, А. А. Юсупов. Сб. «Спектроскопия кристаллов». Изд. «Наука», М., 1970.
- [5] Ю. К. Воронько, Б. И. Денкер, В. В. Осико, А. М. Прохоров, М. И. Тимошечкин. ДАН СССР, 188, 1258, 1969.
- [6] Ю. К. Воронько, Э. Л. Нолле, В. В. Осико, М. И. Тимошечкин. Письма в ЖЭТФ, 13, 125, 1971.
- [7] С. Х. Батыгов. Сб. «Спектроскопия кристаллов», стр. 167. Изд. «Наука», М., 1970.

Поступило в Редакцию 5 апреля 1972 г.