

УДК 535.89

ФИЗИКА

Х. С. БАГДАСАРОВ, Г. А. БОГОМОЛОВА, Д. Н. ВЫЛЕГЖАНИН,
А. А. КАМИНСКИЙ, А. М. КЕВОРКОВ, А. Г. ПЕТРОСЯН, академик А. М. ПРОХОРОВ
**ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ И СТИМУЛИРОВАННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ИОНОВ
 Yb^{3+} В АЛЮМИНИЕВЫХ ГРАНАТАХ**

Иттербий Yb как активатор для кристаллических матриц во многих отношениях занимает особое место среди других редких земель (TR). Ион Yb^{3+} обладает простейшей схемой электронных состояний, при расчете которой не возникает проблемы промежуточной связи. Единственный терм 2F расщепляется спин-орбитальным взаимодействием на два мультиплета, далеко отстоящих один от другого ($\approx 10\,000\text{ см}^{-1}$). Особенностью такой системы уровней является то, что благодаря отсутствию близко расположенных мультиплетов при рассмотрении некоторых проявлений электрон-фононного взаимодействия, например, температурного сдвига бесфононных линий, для ионов Yb^{3+} можно учитывать перемешивание лишь электронных состояний внутри мультиплетов, а «межмультиплетным» смешиванием пренебрегать.

Ион Yb^{3+} — единственный из исследованных ионов TR^{3+} , имеющий интенсивные электронно-колебательные переходы в гранатах. По структуре этих переходов можно судить об интенсивности взаимодействия отдельных участков колебательного спектра кристалла с электронами примеси. Это важно знать для объяснения и предсказания основных спектрально-кинетических свойств лазерного кристалла. Иттриевые и редкоземельные гранаты в настоящее время известны как наиболее эффективные активные среды для ОКГ ⁽¹⁾, и всякие сведения об их примесно-активных колебаниях представляют большую ценность.

Ион Yb^{3+} эффективно участвует в процессах нерезонансной передачи энергии и как акцептор (донор Nd^{3+}), и как донор (акцепторы Er^{3+} , Tu^{3+} , Ho^{3+}). В ряде соединений он участвует также в кооперативных процессах накопления энергии ⁽²⁾. Среди ионов TR^{3+} стимулированное излучение Yb^{3+} изучено в наименьшей степени ⁽¹⁾. Между тем наши предварительные исследования показали, что некоторые кристаллы, активированные Yb^{3+} , могут обладать удовлетворительными генерационными характеристиками, причем стимулированное излучение Yb^{3+} ($\lambda \approx 1\text{ мкм}$) лежит в той области спектра, где для других ионов TR^{3+} оно пока не обнаружено. Таким образом, ион Yb^{3+} обладает целым рядом свойств, обещающих интересные результаты при его изучении.

Настоящей работой мы начинаем цикл комплексных исследований спектроскопических и генерационных свойств иона Yb^{3+} в кристаллических средах, подобных исследованиям, выполненным для кристаллов с ионами Nd^{3+} (см., например, ^(3, 4)).

Не останавливаясь на методах исследования — они аналогичны описанным в ^(3, 4) — приведем здесь некоторые основные результаты исследования двух первых матриц, активированных иттербием: $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ и $\text{Lu}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$. Оба кристалла обладают близкими спектральными и генерационными характеристиками. Для одного из них на рис. 1 приведены спектр люминесценции $^2F_{5/2} \rightarrow ^2F_{7/2}$ и схема штарковских расщеплений состояний $^2F_{5/2}$ и $^2F_{7/2}$. Данные, полученные в генерационных экспериментах, для обоих кристаллов сведены в табл. 1.

В табл. 1 в графе «Кристалл» указаны длина и диаметр активного элемента; в скобках приведены концентрации активаторов в ат.%. E_{Π} — значение пороговой энергии, пересчитанное на длину кристалла. Данные этой колонки получены в ОКГ с использованием осветительной системы эллиптического сечения с Хе лампой ИФП-400 и конфокального оптического резонатора ($R=576$ мм) с диэлектрическими интерференционными

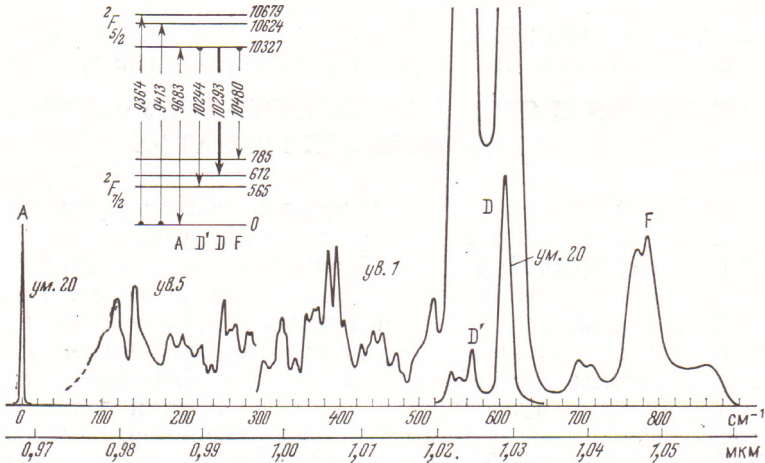


Рис. 1. Спектр люминесценции и схема кристаллического расщепления состояний $^2F_{5/2}$ и $^2F_{7/2}$ иона Yb^{3+} в $Y_3Al_5O_{12}$ для $77^\circ K$. В форму спектра внесены изменения, учитывающие спектральную чувствительность приемника и наличие перепоглощения для резонансного перехода А. Положение уровней указано в $см^{-1}$, длины волн переходов между ними — в \AA

зеркалами ($\tau \approx 1\%$). Активный элемент, установленный в трубчатом кристате, непосредственно контактировал с жидким азотом или охлаждался его парами. $\Delta\nu_{\text{люм}}$ — ширина линии люминесценции по уровню 0,5; $\Delta\nu_r$ — ширина линии генерации при энергии возбуждения, приблизительно в три раза превышающей пороговую; E_k — положение конечного рабочего уровня. Первое упоминание о стимулированном излучении Yb^{3+} в $Y_3Al_5O_{12}$ было сделано в (5) (при $T=77^\circ K$ $\lambda_r=1,0296 \text{ \AA}$ и $E_{\Pi}=325 \text{ Дж}$).

На рис. 2 представлены спектры стимулированного излучения, полученные при температуре $77^\circ K$.

Таблица 1

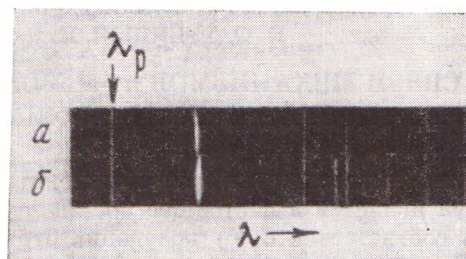
Кристаллы	Т, °К	λ_r , мкм	E_{Π} , Дж	$\Delta\nu_{\text{люм}}$, $см^{-1}$	$\Delta\nu_r$, $см^{-1}$	E_k , $см^{-1}$	$\tau_{\text{люм}}$, мсек
$Y_3Al_5O_{12}-Yb^{3+} (\approx 0,7)$ 24 мм, 6 мм	77	1,0293	9	7	≈ 1	612	1
$Y_3Al_5O_{12}-Nd^{3+} (0,8) - Yb^{3+} (2)$ 24 мм, 6 мм	77	1,0293	4,5	7	≈ 1	612	1
	200	1,0298	210	≈ 30	≈ 4	≈ 612	—
$Y_3Al_5O_{12}-Cr^{3+} (0,5) - Nd^{3+} (0,8) - Yb^{3+} (2)$ 35 мм, 6 мм	77	1,0293	2	7	≈ 1	612	1
	210	1,0299	200	≈ 30	≈ 4	≈ 612	—
$Lu_3Al_5O_{12}-Yb^{3+} (2)$ 30 мм, 6 мм	77	1,0294	1,5	≈ 7	1	621	1
	175	1,0297	75	≈ 28	≈ 3	621	—
$Lu_3Al_5O_{12}-Nd^{3+} (\approx 1) - Yb^{3+} (\approx 2)$ 15 мм, 6 мм	77	1,0294	≈ 1	7	≈ 1	621	1

В более подробном изложении результаты исследований будут опубликованы в отдельной работе.

Авторы благодарны Л. Ли за измерение времени жизни метастабильного состояния иона Yb^{3+} .

Нами также при 77°K было обнаружено стимулированное излучение ионов Yb^{3+} (~ 5 вес. %) и в кристаллах $\text{Lu}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$ ($l=25$ мм, $\varnothing=5$ мм),

Рис. 2. Спектры стимулированного излучения кристаллов $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ (а) и $\text{Lu}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ (б). $\lambda_p = 10\,253 \text{ \AA}$ — реперная линия



сенсibilизированных ионами Nd^{3+} (1,5 вес. %), с параметрами: $\lambda_r = 1,0230$ мкм, $E_n = 1,5$ дж и $\Delta\nu_{\text{люм}} \cong 7,0 \text{ см}^{-1}$. В описанных выше условиях опыта также была получена генерация ионов Ho^{3+} , Er^{3+} и Tu^{3+} в гранатах при 77°K , в которых иттербий входит в основу матрицы: $\text{Yb}_3\text{Al}_5\text{O}_{12} - \text{Er}^{3+}$ (~ 3 вес. %, $l=30$ мм, $\varnothing=5$ мм) с $\lambda_r = 1,6615$ мкм и $E_n = 75$ дж, $(\text{Yb}, \text{Er})_3\text{Al}_5\text{O}_{12} - \text{Tu}^{3+}$ (~ 3 вес. %, $l=20$ мм, $\varnothing=5$ мм) с $\lambda_r = 1,8850$ и $2,0195$ мкм при $E_n = 48$ и 25 дж соответственно, и $(\text{Yb}, \text{Er}, \text{Tu})_3\text{Al}_5\text{O}_{12} - \text{Ho}^{3+}$ (~ 6 вес. %, $l=31$ мм, $\varnothing=6$ мм) с $\lambda_r = 2,1010$ мкм и $E_n = 10$ дж.

Примечание при корректуре. Недавно нами были найдены условия и синтезированы новые гранаты с TR^{3+} -ионами. У трех из них зарегистрирован эффект генерации: $\text{Lu}_3\text{Sc}_2\text{Al}_3\text{O}_{12} - \text{Nd}^{3+}$ ($\lambda_r = 1,0599$ и $1,3370$ мкм при 300°K и $\lambda_r = 1,0591$ мкм при 77°K), $\text{Gd}_3\text{Sc}_2\text{Al}_3\text{O}_{12} - \text{Nd}^{3+}$ ($\lambda_r = 1,05995$ и $1,3370$ мкм при 300°K и $\lambda_r = 1,05915$ мкм при 77°K), $\text{Er}_3\text{Sc}_2\text{Al}_3\text{O}_{12} : \text{Tu}^{3+} - \text{Ho}^{3+}$ ($\lambda_r = 2,0985$ мкм при 77°K).

Институт кристаллографии им. А. В. Шубникова и
Физический институт им. П. Н. Лебедева
Академии наук СССР
Москва

Поступило
11 II 1974

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. А. Каминский, Спектроскопия кристаллов, «Наука», 1973, стр. 70. ² П. П. Феофилов, Физика примесных центров в кристаллах, Таллин, 1972, стр. 539.
³ А. А. Kaminskii, D. N. Vylegshinin, Instit. Electr. Electron. Engin. J., Quantum Electron., v. 7, 329 (1971). ⁴ Д. Н. Вылегжанин, А. А. Каминский, ЖЭТФ, т. 62, 685 (1972). ⁵ L. F. Johnson, J. E. Geusic, L. G. Van Uitert, Appl. Phys. Lett., v. 7, 127 (1965).