

УДК 535.89

ФИЗИКА

Х. С. БАГДАСАРОВ, Г. А. БОГОМОЛОВА, М. М. ГРИЦЕНКО,
А. А. КАМИНСКИЙ, А. М. КЕВОРКОВ, академик А. М. ПРОХОРОВ,
С. Э. САРКИСОВ

**СПЕКТРОСКОПИЯ СТИМУЛИРОВАННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
КРИСТАЛЛОВ $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12} - \text{Nd}^{3+}$**

Постановка настоящей работы диктовалась двумя задачами. Первая из них состояла в получении точных спектроскопических сведений о свойствах стимулированного излучения ионов Nd^{3+} в кубическом кристалле $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$ ($O_h^{10}-Ia3d$) в широком интервале температур. Вторая задача охватывала круг традиционных спектроскопических вопросов, среди которых важнейшими были установление энергий штарковских уровней активатора, измерение люминесцентного времени жизни $\tau_{\text{люм}}$ метастабильного состояния ${}^4F_{5/2}$ и ширины линий люминесценции $\Delta_{\text{улюм}}$, на частотах которых была зарегистрирована генерация, а также идентификация обнаруженных индуцированных переходов.

Перечисленные задачи являются необходимыми этапами в нашей общей программе по выявлению новых свойств известных лазерных кристаллов, а также поиску более эффективных новых. В частности, настоящая работа тесно примыкает к проблеме создания смешанных лазерных систем (¹⁻³) на основе гранатов (³⁻⁷). Не затрагивая экспериментальной техники и методов исследований — они аналогичны описанным в работах (^{8, 9}), — мы здесь приведем в табличном и графическом виде полученные нами результаты.

На рис. 1 представлены спектры стимулированного излучения (${}^4F_{5/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$) кристалла $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12} - \text{Nd}^{3+}$ (~1 ат. %), зарегистрированные

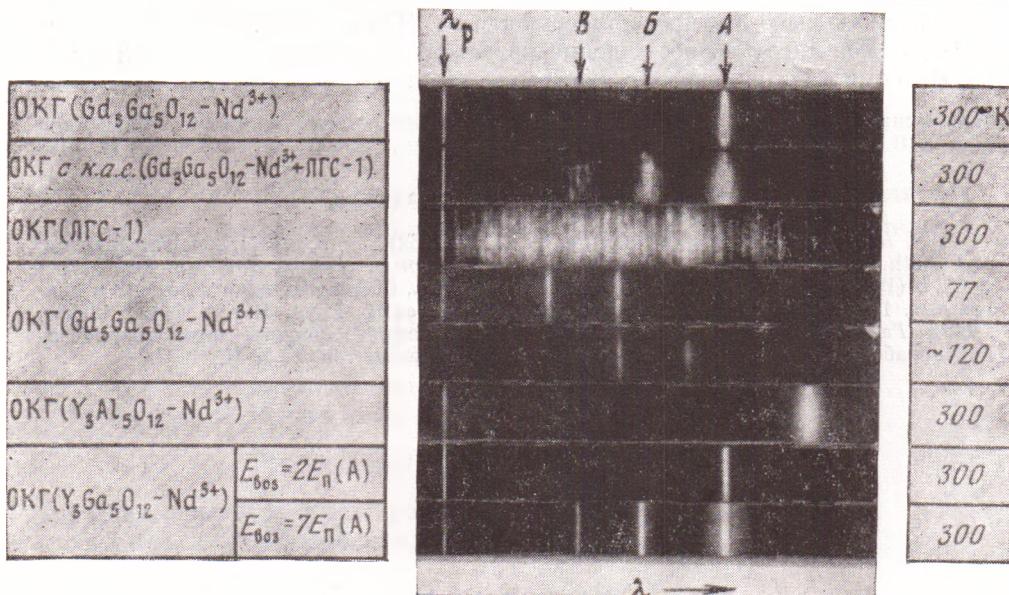


Рис. 1. Спектры стимулированного излучения кристаллов $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$ и $\text{Y}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$ с ионами Nd^{3+} (переход ${}^4F_{5/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$): стрелкой отмечена реперная линия с $\lambda_p = 10561 \text{ \AA}$

Рис. 2. Спектры люминесценции (а), поглощения (б) и схема кристаллического расщепления (в) состояний ${}^4F_{3/2}$ и ${}^4I_{11/2}$ ионов Nd³⁺ в Gd₃Ga₅O₁₂ при 300° К (а', в') и 77° К (а''—в''). а — ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$, а' — $\Delta E({}^4F_{3/2}) = 45$ см⁻¹, в'' — ${}^4I_{9/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$

Рис. 3. Спектры люминесценции (а), поглощения (б) и схема кристаллического расщепления (в) состояний ${}^4F_{3/2}$ и ${}^4I_{11/2}$ ионов Nd³⁺ в Gd₃Ga₅O₁₂. а — ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{9/2}$, Т = 77° К. $\Delta E({}^4F_{3/2}) = 43$ см⁻¹; б — ${}^4I_{9/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$, Т = 300° К; в — Т = 77° К. Линии на спектрах и переходы на схеме связаны поясняющей нумерацией. Положение уровней на схеме указано в см⁻¹, а переходы между ними приведены в Å

Рис. 4. Спектры люминесценции (а), поглощения (б) и схема кристаллического расщепления (в) состояний ${}^4F_{3/2}$ и ${}^4I_{11/2}$ ионов Nd³⁺ в Gd₃Ga₅O₁₂ при 77° К. а — ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$, б — ${}^4I_{9/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$. Обозначения как на рис. 3

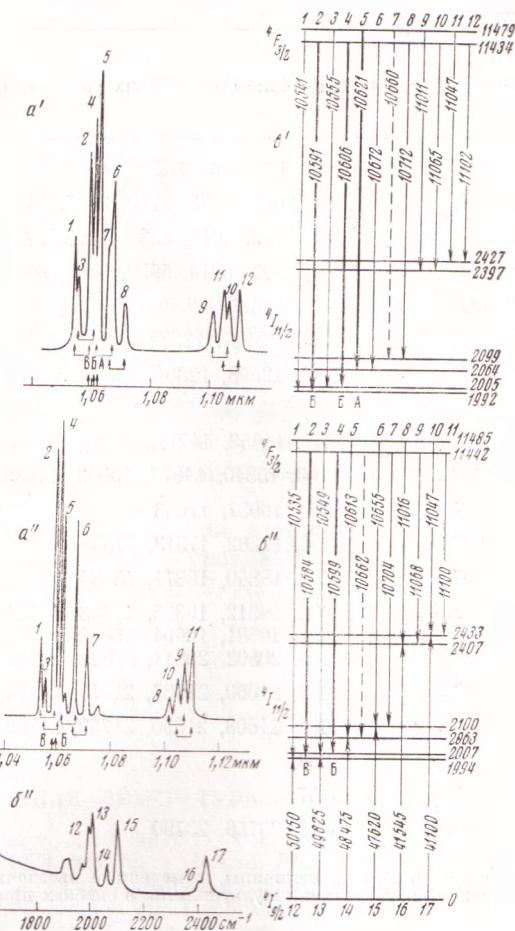


Рис. 2

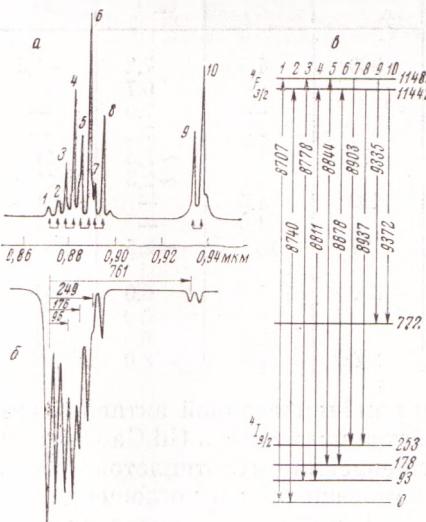


Рис. 3

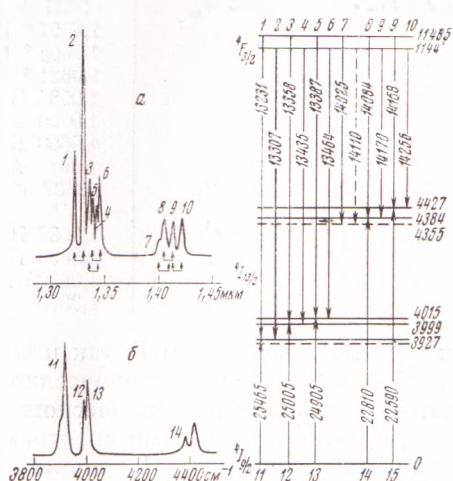


Рис. 4

Таблица 1

Мультиплет	Положение штарковских уровней, при 77° К, см ⁻¹	Количество компонент		ΔE , см ⁻¹
		теор.	эксп.	
$^4I_{9/2}$	0, 93, 178, 253, 772	5	5	772
$^4I_{11/2}$	1994, 2007, 2063, 2100, 2407, 2433	6	6	439
$^4I_{13/2}$	3927, 3999, 4015, 4384, 4398 *, 4427	7	6	500 *
$^4I_{15/2}$	5770, 5822, 5914, 5932, 6513, 6552, 6653	8	7	883 *
$^4F_{3/2}$	11442, 11485	2	2	43
$^4F_{5/2}$	12390, 12427, 12522	3	3	132
$^2H_{9/2}$	12571, 12598, 12604, 12814, 12825	5	5	254
$^4F_{7/2} + ^4S_{3/2}$	13378, 13421, 13559 *, 13563, 13570, 13603	6	6	(225)
$^4F_{9/2}$	14641, 14658, 14771, 14881	5	4	240 *
$^2H_{11/2}$	15760, 15840, 14873, 15952, 16085, 16090	6	6	330
$^4G_{5/2}$	16880, 16987, 17053	3	3	73
$^2G_{7/2}$	17256, 17262, 17313, 17544	4	4	288
$^4G_{7/2}$	18761, 18840, 18871, 18984	4	4	223
$^2K_{13/2} + ^2G_{9/2}$	19238, 19312, 19335, 19448, 19524 19562, 19581, 19604, 19822, 19872	12	10	(734 *)
$^5G_{9/2}$	20769, 20802, 20841, 20825	4	4	56
$^4G_{11/2}$	21013, 21060, 21087, 21110, 21174, 21189	6	6	176
$^2K_{15/2}$	21609, 21668, 21690, 21752, 21769, 21865	8	6	256 *
$^2D_{3/2}$	21956	2	1	
$^2P_{1/2}$	23167	1	1	
$^2D_{5/2}$	23718, 23756, 23790	3	3	72

При мечания. Величины, отмеченные звездочкой, требуют уточнения. Из-за сложности идентификации линий мультиплетов в скобках приведено общее расщепление.

Таблица 2

Кристалл	Переход	λ_T , мкм	T, °К	E_H , дж	$\Delta v_{люм}$, см ⁻¹	Δv_G , см ⁻¹
$Gd_3Ga_5O_{12}$	$^4F_{3/2} \rightarrow ^4I_{11/2}$	1,0621 А	300	4	7,2	$\sim 1,5$
		1,0591 * В	—	—	6,7	—
		1,0606 * Б	—	—	7,0	—
		1,0621 * А	—	—	7,2	—
		1,0584 В	77	1	$\sim 2,3$	≤ 1
		1,0599 Б	—	2	$\sim 2,3$	≤ 1
		1,0600 Б	120	1,5	—	≤ 1
		1,0615 А	—	1,5	—	≤ 1
$Y_3Ga_5O_{12}$	$^4F_{3/2} \rightarrow ^4I_{13/2}$	1,3307	77	18	$\sim 2,5$	—
		1,0589 В	300	5	6,0	≤ 1
		1,0603 Б	—	4	6,0	≤ 1
		1,06205 А	—	2	6,5	≤ 1
	$^4F_{3/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$	1,3305	300	12,5	$\sim 8,0$	—

как в схеме обычного ОКГ, так и ОКГ с комбинированной активной средой (к.а.с.) (10). Спектроскопические свойства иона Nd³⁺ в $Gd_3Ga_5O_{12}$ поясняются схемами кристаллического расщепления мультиплетов $^4F_{3/2}$ и $^4I_{9/2-15/2}$ с соответствующими спектрами люминесценции и поглощения, показанными на рис. 2–4. Найденные при 77° К энергии штарковских уровней ионов Nd³⁺, переходы между которыми соответствуют полосе оптической прозрачности кристалла $Gd_3Ga_5O_{12}$ (0,3–6,5 мкм) сведены в табл. 1. Результаты спектрально-генерационных измерений содержат табл. 2.

В этой же таблице помещены предварительные данные исследований стимулированного излучения кристалла $\text{Y}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}-\text{Nd}^{3+}$. Измеренное при 77 и 300°К $\tau_{\text{люм}}$ состояния ${}^4F_{5/2}$ ($C_{\text{Nd}} < 0,3$ ат. %) изученных кристаллов составляет 250 ± 20 мкsec.

1) Точность измерения длины волны генерации λ_g в области 1,06 мкм составляла $\pm 0,5$ Å (фоторегистрация, ДФС-8), а в спектральном районе 1,33 мкм ± 10 Å (фотоэлектрическая регистрация, ИК-монохроматор). Линии, длины волн которых отмечены звездочкой, зарегистрированы в ОКГ с к.а.с. Предварительные сведения о генерации этих кристаллов на переходе ${}^4F_{5/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$ приводятся в работе ⁽¹¹⁾.

2) Значения пороговых энергий возбуждения E_p пересчитаны на длину кристалла. В наших опытах использовались активные элементы из $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}-\text{Nd}^{3+}$ (~ 1 ат. %) и $\text{Y}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}-\text{Nd}^{3+}$ (~ 1 ат. %) диаметром 5 мм и длиной 25 и 20 мм с плоскопараллельными торцами ($\sim 5''$), которые помещались в эллиптический осветитель с Хе лампой ИФП-400, окруженной фильтром ЖС-17. Оптический резонатор создавался внешними сферическими зеркалами с $\tau=1\%$, установленными конфокально ($R=576$ мм на $\lambda=1,06$ мкм и $R \approx 600$ мм на $\lambda=1,33$ мкм).

3) $\Delta\nu_{\text{люм}}$ получены при энергии возбуждения в три раза больше E_p .

4) $\Delta\nu_g$ — ширина линий люминесценции по уровню 0,5.

В заключение авторы благодарят Л. Ли и Т. А. Тевоян за помощь в эксперименте.

Физический институт им. П. Н. Лебедева
Академии наук СССР

Поступило
11 II 1974

Институт кристаллографии им. А. В. Шубникова
Академии наук СССР
Москва

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ A. A. Kaminskii, Opto-Electronics, v. 3, 19 (1971). ² A. A. Каминский, В сборнике Спектроскопия кристаллов, «Наука», 1973, стр. 70. ³ A. A. Каминский, ДАН, т. 211, 811 (1973). ⁴ A. A. Каминский, B. B. Осико, Неорганические материалы, т. 3, 417 (1967). ⁵ Ю. К. Воронько, A. A. Каминский и др., Неорганические материалы, т. 2, 1161 (1966). ⁶ A. M. Морозов, M. N. Толстой и др., Оптика и спектроскопия, т. 22, 414 (1967); Г. М. Зверев, Г. Я. Колодный, ЖЭТФ, т. 52, 337 (1967). ⁷ Ю. К. Воронько, Г. В. Максимова и др., Оптика и спектроскопия, т. 33, 681 (1972). ⁸ A. A. Каминский, ЖЭТФ, т. 58, 407 (1970). ⁹ A. A. Каминский, C. Э. Саркисов, Неорганические материалы, т. 9, 505 (1973). ¹⁰ A. A. Каминский, Письма ЖЭТФ, т. 7, 26 (1968).
¹¹ J. E. Geusic, H. M. Marcos, L. G. Van Uitert, Appl. Phys. Lett., v. 4, 182 (1964).