

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 $Gd_3Ga_5O_{12} - Nd^{3+}$

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 $Gd_3Ga_5O_{12}(O_h^{10}-Ia3d)$ в широком интервале температур. Вторая задача охватывала круг традиционных спектроскопических вопросов, среди которых важнейшими были установление энергий штарковских уровней активатора, измерение люминесцентного времени жизни τ_{lum} метастабильного состояния ${}^4F_{5/2}$ и ширины линий люминесценции $\Delta\nu_{lum}$, 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 $Gd_3Ga_5O_{12}-Nd^{3+}$ (~ 1 ат.%), зарегистрированные

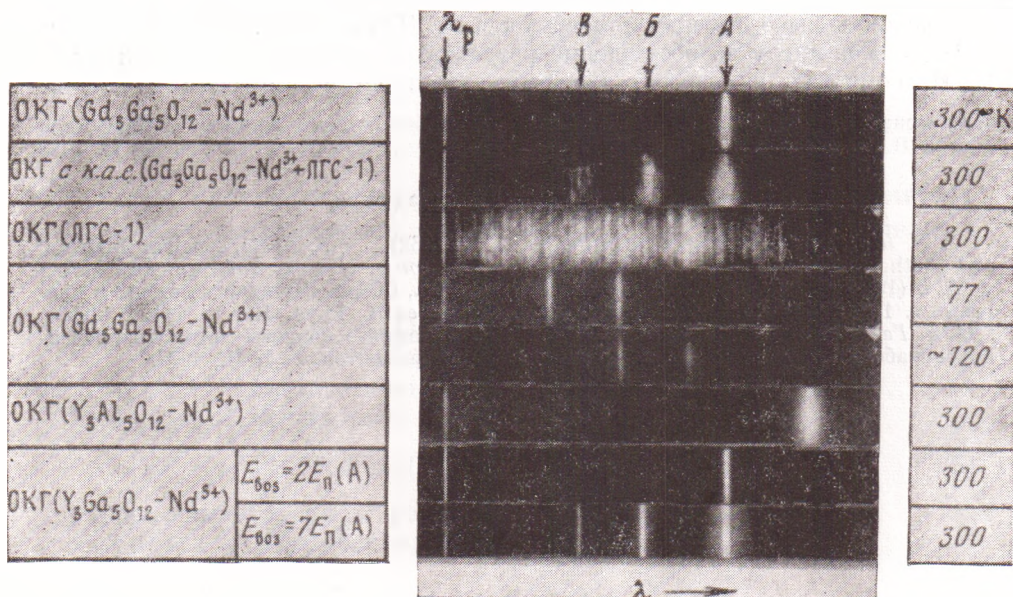


Рис. 1. Спектры стимулированного излучения кристаллов $Gd_3Ga_5O_{12}$ и $Y_3Ga_5O_{12}$ с ионами Nd^{3+} (переход ${}^4F_{5/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$): стрелкой отмечена реперная линия с $\lambda_p = 10561 \text{ \AA}$

Рис. 2. Спектры люминесценции (а), поглощения (б) и схема кристаллического расщепления (в) состояний $^4F_{3/2}$ и $^4I_{11/2}$ ионов Nd^{3+} в $Gd_3Ga_5O_{12}$ при 300° К (а', в') и 77° К (а''—в''). а — $^4F_{3/2} \rightarrow ^4I_{11/2}$, а' — $\Delta E(^4F_{3/2}) = 45 \text{ см}^{-1}$, б' — $^4I_{9/2} \rightarrow ^4I_{11/2}$

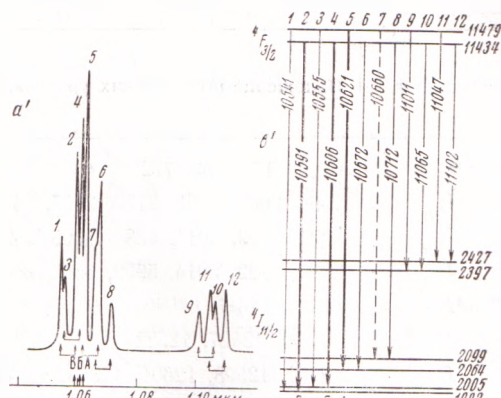


Рис. 3. Спектры люминесценции (а), поглощения (б) и схема кристаллического расщепления (в) состояний $^4F_{3/2}$ и $^4I_{9/2}$ ионов Nd^{3+} в $Gd_3Ga_5O_{12}$. а — $^4F_{3/2} \rightarrow ^4I_{9/2}$, $T = 77^\circ \text{ К}$, $\Delta E(^4F_{3/2}) = 43 \text{ см}^{-1}$; б — $^4I_{9/2} \rightarrow ^4I_{11/2}$, $T = 300^\circ \text{ К}$; в — $T = 77^\circ \text{ К}$. 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

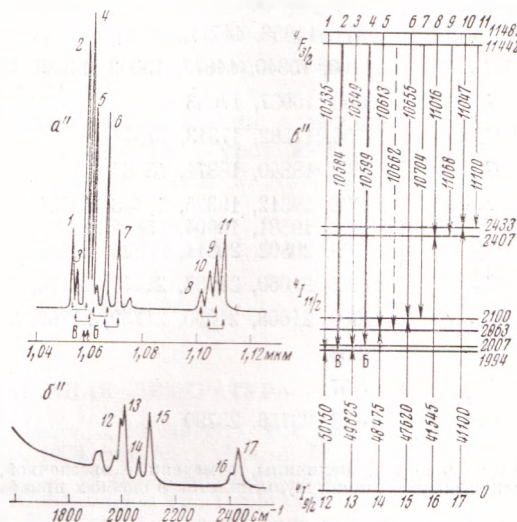


Рис. 4. Спектры люминесценции (а), поглощения (б) и схема кристаллического расщепления (в) состояний $^4F_{3/2}$ и $^4I_{13/2}$ ионов Nd^{3+} в $Gd_3Ga_5O_{12}$ при 77° К. а — $^4F_{3/2} \rightarrow ^4I_{13/2}$, б — $^4I_{9/2} \rightarrow ^4I_{13/2}$. Обозначения как на рис. 3

Рис. 2

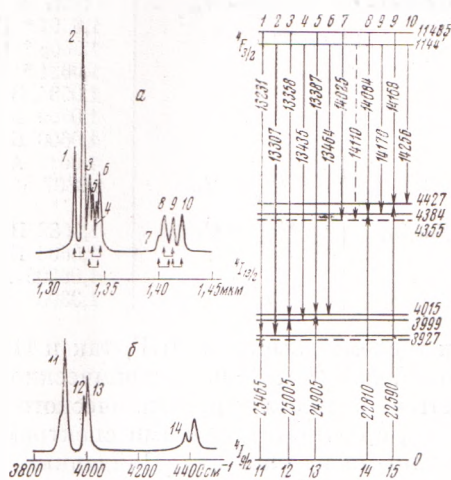
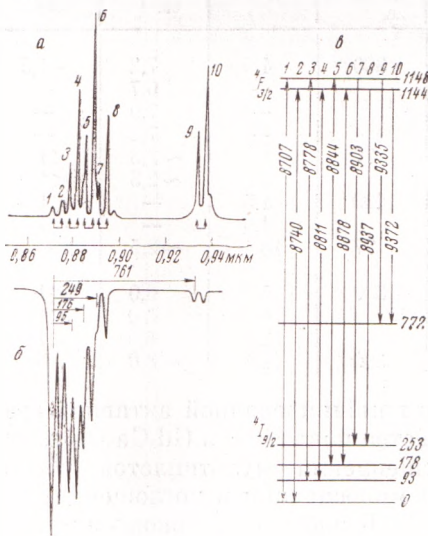


Рис. 3

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
$^4G_{3/2}$	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 20769, 20802, 20811, 20825	12	10	(734 *)
$^5G_{9/2}$	21013, 21060, 21087, 21110, 21174, 21189	4	4	56
$^4G_{11/2}$	21609, 21668, 21690, 21752, 21769, 21865	6	6	176
$^2K_{15/2}$	21956	8	6	256 *
$^2D_{3/2}$	23167	2	1	
$^2P_{3/2}$	23718, 23756, 23790	1	1	
$^2D_{5/2}$		3	3	72

Примечания. 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_{Π} , Дж	$\Delta\nu_{\text{люм}}$, см ⁻¹	$\Delta\nu_T$, см ⁻¹
Gd ₃ Ga ₅ O ₁₂	$^4F_{3/2} \rightarrow ^4I_{11/2}$	1,0621 А	300	4	7,2	~1,5
		1,0591 * В		—	6,7	—
		1,0606 * Б		—	7,0	—
		1,0621 * А	77	—	7,2	—
		1,0584 В		1	~2,3	<1
		1,0599 Б		2	~2,3	<1
	$^4F_{3/2} \rightarrow ^4I_{13/2}$	1,0600 Б	120	1,5	—	<1
		1,0615 А		1,5	—	<1
		1,3307	77	18	~2,5	—
Y ₃ Ga ₅ O ₁₂	$^4F_{3/2} \rightarrow ^4I_{11/2}$	1,0589 В	300	5	6,0	<1
		1,0603 Б		4	6,0	<1
		1,06205 А		2	6,5	<1
	$^4F_{3/2} \rightarrow ^4I_{13/2}$	1,3305	300	12,5	~8,0	—

как в схеме обычного ОКГ, так и ОКГ с комбинированной активной средой (к.а.с.) ⁽¹⁰⁾. Спектроскопические свойства иона Nd³⁺ в Gd₃Ga₅O₁₂ поясняются схемами кристаллического расщепления мультиплетов $^4F_{3/2}$ и $^4I_{9/2-13/2}$ 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 Gd₃Ga₅O₁₂ (0,3—6,5 мкм) сведены в табл. 1. Результаты спектрально-генерационных измерений содержит табл. 2.

В этой же таблице помещены предварительные данные исследований стимулированного излучения кристалла $Y_3Ga_5O_{12}-Nd^{3+}$. Измеренное при 77 и 300° К τ_{lum} состояния ${}^4F_{3/2}$ ($C_{Nd} < 0,3$ ат.%) изученных кристаллов составляет 250 ± 20 мксек.

1) Точность измерения длины волны генерации λ_r 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-монокроматор). Линии, длины волн которых отмечены звездочкой, зарегистрированы в ОКГ с к.а.с. Предварительные сведения о генерации этих кристаллов на переходе ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$ приводятся в работе (¹¹).

2) Значения пороговых энергий возбуждения E_n пересчитаны на длину кристалла. В наших опытах использовались активные элементы из $Gd_3Ga_5O_{12}-Nd^{3+}$ (~ 1 ат.%) и $Y_3Ga_5O_{12}-Nd^{3+}$ (~ 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) $\Delta\nu_{lum}$ получены при энергии возбуждения в три раза больше E_n .

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

В заключение авторы благодарят Л. Ли и Т. А. Тевосян 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 А. А. Kaminskii, Opto-Electronics, v. 3, 19 (1971). ² А. А. Каминский, В сборн. Спектроскопия кристаллов, «Наука», 1973, стр. 70. ³ А. А. Каминский, ДАН, т. 211, 811 (1973). ⁴ А. А. Каминский, В. В. Осико, Неорганические материалы, т. 3, 417 (1967). ⁵ Ю. К. Воронько, А. А. Каминский и др., Неорганические материалы, т. 2, 1161 (1966). ⁶ А. М. Морозов, М. Н. 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 А. А. Каминский, ЖЭТФ, т. 58, 407 (1970). ⁹ А. А. Каминский, С. Э. Саркисов, Неорганические материалы, т. 9, 505 (1973). ¹⁰ А. А. 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).