

УДК 621.373.826.038.825

ФИЗИКА

Р. Б. Костянян, Т. В. Санамян

**Исследование времени жизни уровней эрбия  
в лютеций-алюминиевом гранате**

(Представлено академиком АН Армянской ССР М. Л. Тер-Микаеляном 9/VII 1984)

В последние годы большое внимание уделяется исследованию стимулированного излучения в различных кристаллах с примесью эрбия (<sup>1,2</sup>). Особенный интерес представляет трехмикронная генерация, соответствующая переходу  ${}^4I_{12/2} \rightarrow {}^4I_{13/2}$  иона эрбия в кристаллах структуры граната, в которых генерация наблюдается также при высоких содержаниях активаторных ионов.

На рис. 1 приведена диаграмма уровней ионов эрбия в кристаллах  $\text{Lu}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$  (<sup>3</sup>).

Известно, что в заселении лазерных уровней иона эрбия участвуют в основном два различных физических процесса: внутрицентровая многофононная безызлучательная релаксация на эти уровни поглощенной кристаллом световой энергии и процесс кросс-релаксации по механизму



Вероятность последнего процесса зависит от концентрации; он становится особенно существенным при больших содержаниях ионов эрбия. Поскольку в обоих процессах участвуют уровни  ${}^4H_{11/2}$ ,  ${}^4S_{3/2}$ ,  ${}^4F_{9/2}$ ,  ${}^4I_{9/2}$ , появляется необходимость исследования времен жизни ( $\tau$ ) этих уровней, знание которых важно для изучения динамики заселения лазерных уровней, а также при расчетах работы лазера на этих кристаллах в различных режимах генерации.

В данной работе приводятся результаты экспериментальных исследований уровней  ${}^2H_{11/2}$ ,  ${}^4S_{3/2}$ ,  ${}^4F_{9/2}$ ,  ${}^4I_{9/2}$  ионов эрбия в кристаллах лютеций-алюминиевого граната.

Кристаллы  $(\text{Lu}_{1-x}\text{Er}_x)_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ , где  $x$  менялось от 0,05 до 1, выращивались по методике, подробно описанной в работе (<sup>4</sup>). Времена жизни уровней измерялись по затуханию люминесценции с уровней  ${}^4S_{3/2}$ ,  ${}^4F_{9/2}$ ,  ${}^4I_{9/2}$ . Для возбуждения люминесценции этих уровней использовались вторые гармоники излучения неодимового лазера на длинах волн 1,06 и 1,32 мкм. Исследуемые кристаллы помещались в фокус монохроматора СДЛ-1. Люминесценция с исследуемых уровней регистрировалась фотоумножителем ФЭУ-83, сигнал с которого подавался на вход осциллографа СИ-15. Временное разрешение аппаратуры составляло 0,1 мксек. Длительность импульсов возбуждения люминесценции равнялась 20 нсек. Возбуждающие импульсы короткой дли-

128.

тельности применялись из-за малых времен жизни исследуемых уровней.

Излучение на 0,53 мкм резонансно поглощается с основного уровня  ${}^4I_{15/2}$  на  ${}^2H_{11/2}$ , возбуждение с которого быстро релаксирует на  ${}^4S_{3/2}$ . Затухание люминесценции с уровня  ${}^2H_{11/2}$  наблюдалось на переходе  ${}^4S_{3/2} \rightarrow {}^4I_{13/2}$  с длиной волны излучения 0,86 мкм. Зависимость времени жизни от концентрации ионов эрбия приведена на рис. 2. Как видно из рисунка, время жизни уровня  ${}^4S_{3/2}$  иона эрбия имеет сильную концентрационную зависимость, что может быть обусловлено увеличением вероятности кросс-релаксационного тушения этого уровня с повышением концентрации по механизму  $[{}^2H_{11/2}, {}^4I_{15/2}] \rightarrow [{}^4I_{9/2}, {}^4I_{13/2}]$  и  $[{}^2H_{11/2}, {}^4I_{15/2}] \rightarrow [{}^4I_{13/2}, {}^4I_{9/2}]$ .

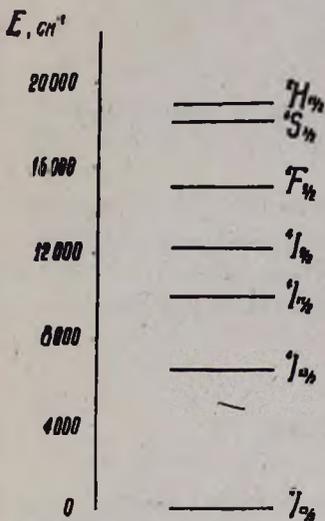


Рис. 1. Диаграмма энергетических уровней ионов эрбия в кристалле лютеций-алюминиевого граната

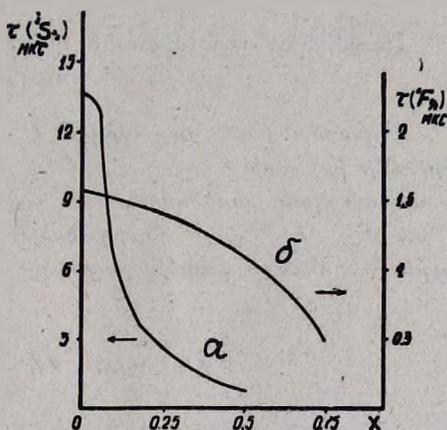


Рис. 2. Зависимость времени жизни уровней  ${}^4S_{3/2}$  (а) и  ${}^4F_{9/2}$  (б) от концентрации ионов эрбия

Измерение ( $\tau$ ) уровня  ${}^2H_{11/2}$  проводилось по наблюдению распада уровня  ${}^4S_{3/2}$ , затухание которого в случае коротких импульсов возбуждения может быть описано формулой

$$n_1(t) = \frac{n_{20}/\tau({}^2H_{11/2})}{1/\tau({}^4S_{3/2}) - 1/\tau({}^2H_{11/2})} \left[ \exp(-t/\tau({}^2H_{11/2})) - \exp(-t/\tau({}^4S_{3/2})) \right], \quad (1)$$

где  $n_1(t)$  — населенность уровня  ${}^4S_{3/2}$  в момент времени  $t$ ,  $n_{20}$  — начальное число возбужденных ионов на уровне  ${}^2H_{11/2}$ . Из (1), зная  $\tau({}^4S_{3/2})$  и форму распада уровня  ${}^4S_{3/2}$ , можно определить  $\tau({}^2H_{11/2})$ . В наших измерениях при всех концентрациях ионов эрбия значение  $\tau({}^2H_{11/2})$  составляло величину меньше временного разрешения аппаратуры, т. е. меньше  $10^{-7}$  с. Малое значение времени жизни уровня  ${}^2H_{11/2}$  обусловлено тем, что энергетическое расстояние между ним и близлежащим уровнем  ${}^4S_{3/2}$  составляет величину порядка  $700 \text{ см}^{-1}$ , следовательно, вероятности безызлучательных переходов с этого уровня должны иметь большие значения.

Излучение второй гармоники неодимового лазера длиной волны

излучения 0,66 мкм резонансно поглощается на уровне  ${}^4F_{9/2}$  иона эрбия. Люминесценция с этого уровня на длине волны излучения 0,67 мкм соответствует переходу  ${}^4F_{9/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$ . Зависимость времени жизни уровня  ${}^4F_{9/2}$  от концентрации приведена на рис. 3. В отличие от  ${}^4S_{3/2}$  уровень  ${}^4F_{9/2}$  имеет слабое концентрационное тушение.

Оценка величины времени жизни  ${}^4I_{9/2}$  была проведена так же, как и для уровня  ${}^2H_{11/2}$ . Для этого люминесценция наблюдалась с уровня  ${}^4I_{9/2}$ , который заселялся непосредственно через уровень  ${}^4F_{9/2}$ . Величина ( $\tau$ )  ${}^4I_{9/2}$  оказалась также меньше  $10^{-7}$  с.

Институт физических исследований  
Академии наук Армянской ССР

Ռ. Ք. ԿՈՍՏԱՆՅԱՆ, Տ. Վ. ՍԱՆԱՄՅԱՆ

Լյուսեցիում-ալյումինային նոնաբարում էրբիումի մակարդակների  
կյանքի տեղումբյուն ուսումնասիրումը

Աշխատանքում շարադրված է Լյուսեցիում-ալյումինային նոնաբարում էրբիումի իոնների  ${}^2H_{11/2}$ ,  ${}^4S_{3/2}$ ,  ${}^4F_{9/2}$ ,  ${}^4I_{9/2}$  էներգետիկ մակարդակների կյանքի տեղումբյուն փորձնականորեն ուսումնասիրման արդյունքները: Բերված է նաև  ${}^4S_{3/2}$  և  ${}^4F_{9/2}$  մակարդակների կյանքի տեղումբյուն կախվածությունը էրբիումի իոնների կոնցենտրացիայից:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

<sup>1</sup> Е. В. Жариков, В. И. Жёков, Л. А. Кулевский и др., Квантовая электроника, т. 8, 1867 (1974). <sup>2</sup> Х. С. Багдасаров, В. И. Жёков, В. А. Лобачев и др., Изв. АН СССР, т. 46, 1496 (1982). <sup>3</sup> А. А. Kaminski, Т. I. Butaeva, V. A. Fedorov e. a., Phys. stat. sol. (a), v. 39, 541 (1977). <sup>4</sup> А. G. Petrosyan, G. O. Shtrintjan, K. L. Ovanesyan e. a., J. Crystal Growth, v. 52, 556 (1981).