

СПЕКТРАЛЬНЫЕ И ГЕНЕРАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА АЛЮМИНАТА ЭРБИЯ
С ПРИМЕСЬЮ Tu^{3+}

В. А. Горбачев, В. И. Яков, Т. М. Мурина,

В. В. Осяко, Б. П. Стариков, М. И. Тимошечкин

Как известно, несмотря на большое количество созданных лазерных материалов, в настоящее время продолжается поиск и исследование новых матриц для твердотельных оптических генераторов. В нашей работе сообщается о новом материале - эрбиевом алюминате ($ErAlO_3$) с примесью Tu^{3+} , который по предварительным данным может оказаться перспективным для генераторов непрерывного действия. Для синтеза $ErAlO_3-Tu^{3+}$ использовались окислы Er_2O_3 и Al_2O_3 марок "0000" и "00СЧ" соответственно. Тщательно высушенные окислы смешивались в молярном отношении 1:1 и прокаливались при $1200^\circ C$ в течение 8 часов. Полученную после спекания шихту расплавили в печи с помощью высокочастотного генератора ВЧИ-63/0,44. Кристаллы выращивались в вакууме $6 \cdot 10^{-4}$ мм рт.ст. по методу Чохральского из кварцевого тигля на затравку произвольной ориентации. Скорость роста составляла 6-10 мм/час. Примесь Tu^{3+} вводилась в расплав в виде окиси Tu_2O_3 чистотой "000" в количестве 0,5% по весу.

Эрбиевый алюминат представляет собой анизотропный кристалл орторомбической симметрии. Твердость его несколько выше, чем у $YAlO_3$, но ниже чем у $Y_3Al_5O_{12}$ ^{*)}. Трехвалентные редкоземельные ионы типа Tu^{3+} , Ho^{3+} входят в решетку $ErAlO_3$, замещая Er^{3+} без зарядовой компенсации и не вызывая деформационных искажений основы. Матрица имеет широкие полосы поглощения в области 0,3-1,2

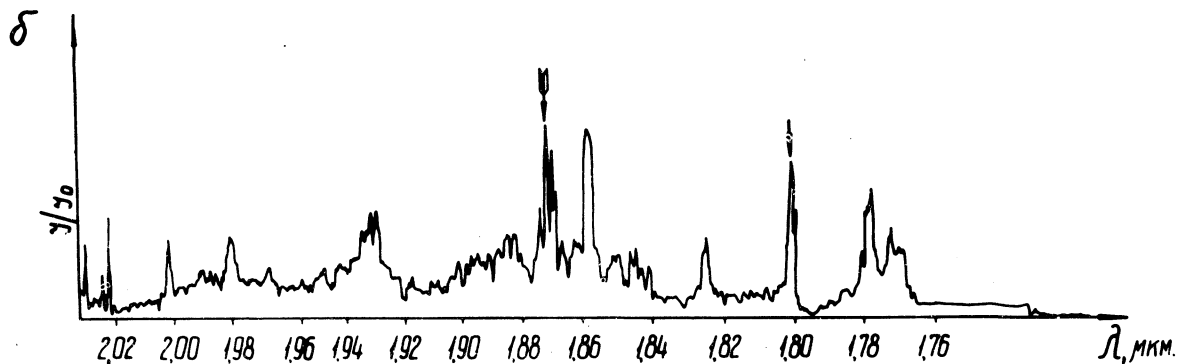
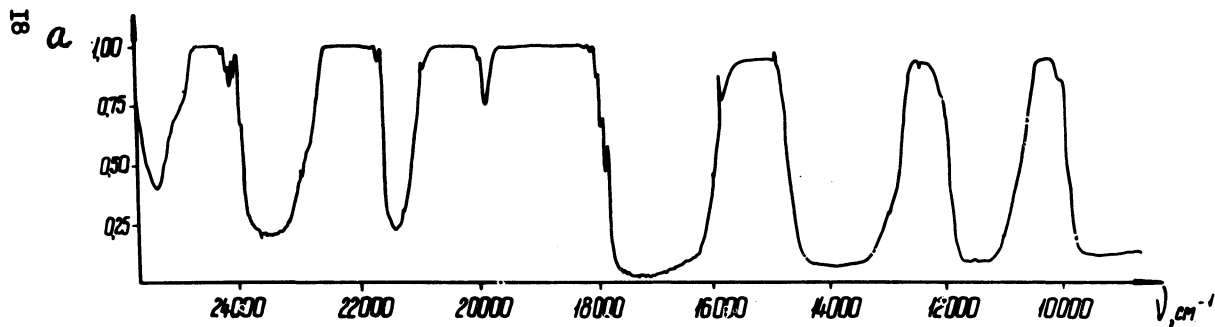
*) Микротвердость, измеренная на микротвердомере ПМТ-3, для $Y_3Al_5O_{12}$, $ErAlO_3$, $YAlO_3$ составила 1540, 1400, 1260 кг/мм² соответственно.

мкм, за которые ответственны ионы Er^{3+} . На рис. 1а представлен спектр поглощения, снятый при комнатной температуре на спектрофотометре Unicam SP-700. Спектр люминесценции Tu^{3+} при переходе ${}^3\text{H}_4 \rightarrow {}^3\text{H}_6$, снятый с помощью спектрометра ДФС-12, приведен на рис. 1б. В исследуемом кристалле измерялось время жизни τ , интенсивность люминесценции J иона Tu^{3+} при переходе с уровня ${}^3\text{H}_4$ при изменении температуры от 77°K до 300°K и интенсивность люминесценции иона Er^{3+} при переходе с уровня ${}^4\text{I}_{13/2}$ при азотной и комнатной температурах. Температура образца контролировалась термопарой медь-константан. Накачка осуществлялась ксеноновой лампой ИФП-800. Разделение спектров производилось с помощью призмного монохроматора ДМР-4. Соответствующие кривые приведены на рис. 2. Как видно, с повышением температуры наблюдается тушение люминесценции с уровня ${}^3\text{H}_4$ иона Tu^{3+} . Одновременно с этим мы наблюдали возрастание интенсивности люминесценции иона Er^{3+} при переходе ${}^4\text{I}_{13/2} \rightarrow {}^4\text{I}_{15/2}$. Поэтому можно считать, что наблюдаемое уменьшение τ и J при переходе ${}^3\text{H}_4 \rightarrow {}^3\text{H}_6$ с ростом температуры может быть связано с передачей энергии от ионов Tu^{3+} ионам Er^{3+} . При этом кривые затухания люминесценции были одноэкспоненциальными; следовательно, вероятность такой передачи w можно вычислить по формуле

$$\frac{1}{\tau(T)} - \frac{1}{\tau_0} = w(T),$$

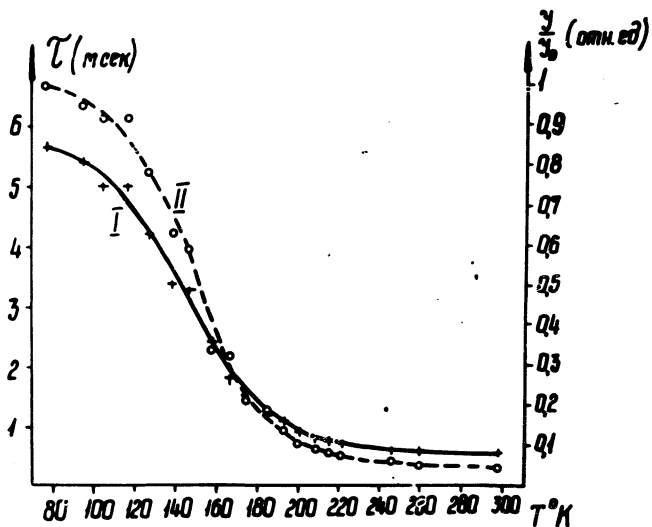
где $\tau(T)$ - наблюдаемое время жизни уровня ${}^3\text{H}_4$ иона Tu^{3+} при температуре T , τ_0 - время жизни уровня ${}^3\text{H}_4$ иона Tu^{3+} при 77°K . Расчет показывает, что при $T \leq 150^\circ$ $w \leq 40 \text{ сек}^{-1}$. Впервые передачу энергии от ионов Tu^{3+} ионам Er^{3+} в эрбиевом гранате $\text{Er}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ наблюдали в работе /1/. В работе /2/ проведено детальное исследование этого явления и показано, что передача носит резонансный характер, ее вероятность возрастает с температурой за счет увеличения заселенности соответствующих Starkовских компонент уровней ${}^4\text{I}_{15/2}(\text{Er}^{3+})$ и ${}^3\text{H}_4(\text{Tu}^{3+})$.

Вынужденное излучение Tu^{3+} в матрице ErAlO_3 исследовалось в эллиптическом осветителе с импульсной ксеноновой лампой накачки ИФП-2000. Лазерный образец - цилиндрический стержень длиной 12 мм, диаметром 4 мм - помещался в кварцевый дьяр, заполненный жидким азотом. Серебряные зеркала наносились на торцы кристалла.



Р и с. 1. а) Спектр поглощения матрицы EgAlO_3 при $T=300^\circ\text{K}$. По оси ординат отложена относительная оптическая плотность. б) Спектр люминесценции иона Ti^{3+} (${}^3\text{H}_4 \rightarrow {}^3\text{H}_6$) в кристалле EgAlO_3 при 77°K . Стрелкой отмечена линия генерации.

коэффициенты отклонения ± 1 и ± 2 составляли 100% и 50% соответственно. Наблюдалась при пороговых энергиях накачки ~ 15 дж (77°K) на длине волны I, 872 мкм (${}^3\text{H}_4 \rightarrow {}^3\text{H}_6$). С ростом температуры порог генера-



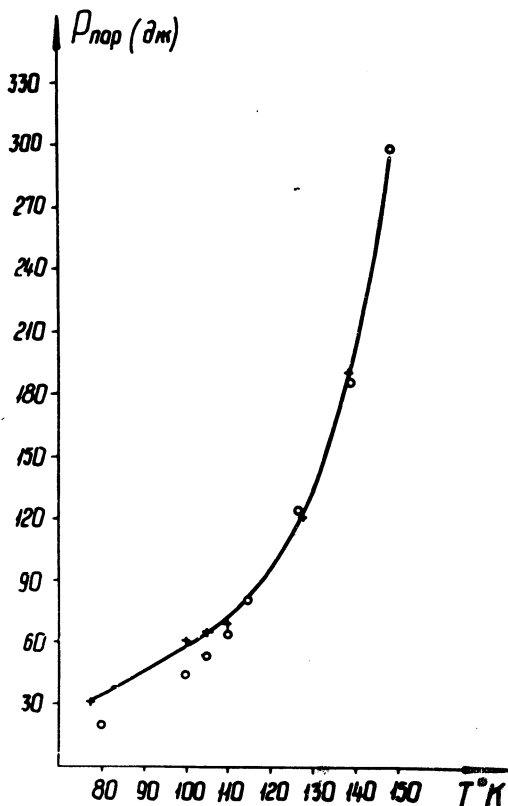
Р и с. 2. I - зависимость времени жизни τ на метастабильном уровне ${}^3\text{H}_4$ иона Tu^{3+} от температуры. II - зависимость относительной интенсивности J/J_0 люминесценции Tu^{3+} (${}^3\text{H}_4 \rightarrow {}^3\text{H}_6$) от температуры.

ция резко возрастает. Из рис. 3 видно, что при увеличении температуры от 77°K до 150°K порог генерации возрастает на порядок. Пороговые значения мощности накачки определяются тремя параметрами, зависящими от температуры: заселенность нижнего рабочего уровня, наблюдаемым временем жизни на метастабильном уровне, шириной линии люминесценции.

Для оценки величины расстояния между нижним лазерным уровнем и основным состоянием мы провели анализ температурной зависимости интенсивностей линий люминесценции с $\lambda = 1,872$ мкм (линии генерации) и $\lambda = 1,802$ мкм. На рис. 2 эти линии отмечены стрелками. Так как

$$\frac{J(1,872)}{J(1,802)} : \frac{J'(1,872)}{J'(1,802)} = \exp \left[\Delta \left(\frac{1}{kT_1} - \frac{1}{kT_2} \right) \right] = 0,8,$$

действия при азотных температурах. При повышении температуры сильно уширяются линии люминесценции и начинается передача энергии от ионов Ti^{3+} ионам Er^{3+} , при этом пороги генерации резко возрастают.



Р и с. 3. Зависимость пороговых энергий накачки для $ErAlO_3-Ti^{3+}$ от температуры. * - экспериментальные точки; о - теоретические точки.

Поступила в редакцию
26 января 1973 г.

1. L. G. Van Uitert, L. F. Johnson. J. Chem. Phys., 44, 3514 (1966).
2. Г. М. Зверев, Г. Я. Колодный, А. М. Онищенко. ЖЭТФ, 57, 795 (1969).
3. J. T. Gourley. Phys. Rev., B5, 22 (1972).
4. T. Kushida. Phys. Rev., 185, 500 (1969).
5. В. А. Сычугов, Г. П. Шипуло. ФТТ, 10, 2821 (1968).
6. D. E. McCumber. Phys. Rev., 132, A163 (1964).
7. И. С. Андриеш, В. Я. Гамбург, Д. Н. Вылегжанин, А. А. Каминский, С. И. Клокшинер, Ю. Е. Перлин. ФТТ, 10, 2967 (1972).