

## КВАЗИЛОКАЛЬНЫЕ СОСТОЯНИЯ В ЩЕЛОЧНОГАЛОИДНЫХ КРИСТАЛЛАХ, АКТИВИРОВАННЫХ ИНДИЕМ

*В.П. Данилов, В.И. Жеков, Т.М. Мурина,  
Л.Е. Нагли, А.М. Прохоров*

Методом двухступенчатой спектроскопии обнаружено поглощение из нижнего возбужденного состояния ионов  $\text{In}^+$ , в ЩГК, которое связывается с наличием в зоне проводимости ЩГК квазилокальных состояний активатора. Проведена оценка положения квазилокальных уровней относительно основного уровня.

В работах <sup>1-3</sup> было высказано предположение, что фотоионизация из релаксированного возбужденного состояния (РВС) ртутеподобных ионов (РИ) в щелочногалоидных кристаллах (ЩГК), которая наблюдается при интенсивном возбуждении ( $I \geq 1 \text{ МВт/см}^2$ ) в А-полосе <sup>4,5</sup>, связана с высокоэнергетическими состояниями РИ в зоне проводимости кристалла (квазилокальными состояниями <sup>6</sup>). С этой точки зрения представляет интерес экспериментально исследовать спектральную зависимость процессов фотоионизации РИ из РВС.

В настоящей работе методом двухступенчатой спектроскопии обнаружено и исследовано поглощение из возбужденного состояния ионов  $\text{In}^+$  в ЩГК. Исследования проводились на установке описанной в <sup>4,5</sup>. В качестве источника возбуждения использовался эксимерный ХеС1-лазер (энергия кванта  $E = 4$  эВ, энергия в импульсе  $P = 2 \cdot 10^{-2}$  Дж, длительность импульса  $\tau = 1,5 \cdot 10^{-8}$  с). Зондирование поглощения из возбужденного состояния осуществлялось коллимированным пучком света дуговой ртутной лампы.

Для кристаллов КС1, КВг, К1, активированных индием, нами обнаружено поглощение, длительность затухания которого совпадает со временем спонтанного распада нижнего возбужденного состояния активаторных ионов.

Известно, что при интенсивном возбуждении в А-полосе РИ в ЩГК образуются различные примесные и собственные дефекты <sup>4,5</sup>, имеющие широкие полосы поглощения. Поэтому наблюдаемое нами поглощение могло быть связано не только с поглощением из возбужденного состояния, но и с изменением концентрации дефектов вследствие их термо- и фотоионизации, а также туннельной рекомбинации.

С целью выяснения природы обнаруженного поглощения исследовались зависимости времени его затухания от температуры ( $T = 100 - 600$  К), интенсивности возбуждения ( $2 - 30$  МВт /  $\text{см}^2$ ) и концентрации активатора ( $C = 10^{17} - 10^{19}$   $\text{см}^{-3}$ ). Температурные исследования показали, что изменение времени затухания поглощения точно совпадает с температурными изменениями времен жизни возбужденных состояний активатора <sup>7</sup>. На рис. 1 приведены кривые затухания поглощения и люминесценции для ионов  $\text{In}^+$  в КВг и КС1 при  $T = 100$  К и  $T = 293$  К.

Установлено также, что длительность затухания не зависит от интенсивности возбуждения и концентрации активатора.

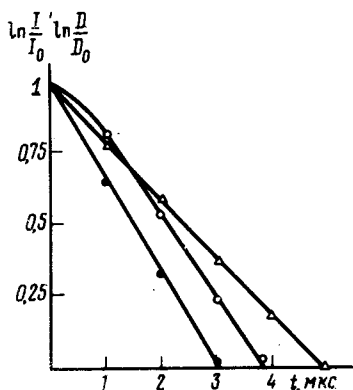


Рис. 1

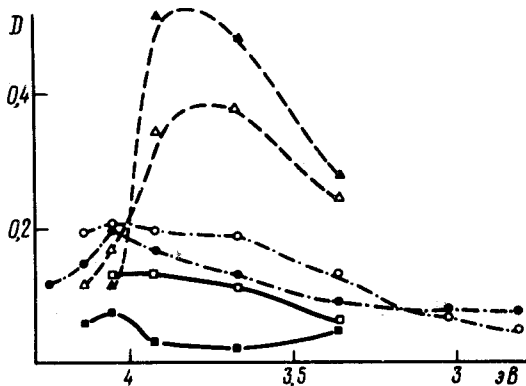


Рис. 2

Рис. 1. Время затухания люминесценции (сплошные прямые) и поглощения:  $\Delta$  — КС1 —  $\text{In}$  ( $T = 100 - 293$  К);  $\circ$  — КВг —  $\text{In}$  ( $T = 100$  К);  $\bullet$  — КВг —  $\text{In}$  ( $T = 293$  К)

Рис. 2. Спектры поглощения из возбужденного состояния ионов  $\text{In}^+$  в ЩГК: ( $\Delta$  — КВг,  $\circ$  — К1,  $\square$  — КС1;  $T = 293$  К), ( $\triangle$  — КВг,  $\bullet$  — К1,  $\blacksquare$  — КС1;  $T = 100$  К)

Анализ экспериментальных данных приводит к следующим выводам.

1) Наблюдаемое поглощение не может быть связано с термической ионизацией дефектов, так как вероятность термической ионизации экспоненциально зависит от температуры. 2) Поскольку время поглощения не зависит от интенсивности возбуждения, то можно не рассматривать процесс фотоионизации электронных центров окраски (типа  $\text{In}^0$ ) фотонами люминесценции. В этом случае время затухания поглощения зависило бы от интенсивности возбуждения. 3) В работе <sup>8</sup> показано, что вероятность туннелирования экспоненциально зависит

от расстояния между ионами активатора. Туннельные процессы не могут быть причиной наблюдаемого поглощения, так как времена затухания поглощения не зависят от концентрации активатора. 4) Проведенные эксперименты позволяют интерпретировать обнаруженное поглощение, как поглощение из РВС ионов  $\text{In}^+$ .

Используя спектральные линии дуговой ртутной лампы мы исследовали спектры поглощения из РВС, которые приведены на рис. 2. Из рис. 2 видно, что при  $T = 100$  К в спектрах поглощения имеются четко выраженные максимумы.

Тот факт, что в спектральной области, где наблюдаются максимумы поглощения из РВС, сечения фотоионизации из РВС близки к сечениям разрешенных переходов <sup>2,3</sup>, подтверждает предположение о резонансной фотоионизации <sup>1-3</sup>, т.е. оптический переход из РВС происходит на квазилокальный уровень активатора. На спектр поглощения из РВС, возможно, оказывают влияние пики плотности состояний зоны проводимости ЩГК, однако спектр поглощения РВС и его температурная зависимость не соответствуют спектру межзонных переходов в чистых ЩГК.

Наибольшую вероятность переходов с <sup>3</sup> $P_1$ -уровня должны иметь переходы на верхние  $S$ - и  $D$ -уровни иона  $\text{In}^+$ . Используя данные работ <sup>9,10</sup> мы оценили энергию переходов в ЩГК из основного состояния иона  $\text{In}^+$  на  $S$ - и  $D$ -уровни и на обнаруженные квазилокальные уровни по максимумам поглощения из РВС с учетом стокового сдвига (см. таблицу 1).

Кристаллы	$S$ -уровни (эВ)	$D$ -уровни (эВ)	Квазилокальные уровни (эВ)
KCl - In	7,3	7,5	7,8
KBr - In	7,1	7,4	7,4
KI - In	6,5	7,0	7,3

Положение  $S$ - и  $D$ -уровней оценивается по „линейной аппроксимации” <sup>9</sup> приближенно, поэтому наблюдаемые максимумы в спектре поглощения из РВС могут быть связаны как с  $S$ -, так и с  $D$ -состояниями свободных ионов  $\text{In}^+$ .

В заключение отметим, что величины сечений фотопереходов между РВС и квазилокальными состояниями ионов  $\text{In}^+$ , оцененные по оптической плотности поглощения, хорошо совпадают с величинами сечений, измеренных по изменению относительного квантового выхода внутрицентральной люминесценции <sup>2,3</sup>.

Авторы благодарят А.Е. Казакова и М.В.Федорова за обсуждение работы.

#### Литература

1. Billardon M., Ortega Y.M. Sol. State Comm., 1981, 38, 765.
2. Данилов В.П., Жеков В.И., Мурина Т.М., Нагли Л.Е. Изв. АН Латв.ССР, сер. физ.-тех. наук, 1982, №3, 78.
3. Данилов В.П., Жеков В.И., Мурина Т.М., Нагли Л.Е., Прохоров А.М. Квантовая электроника, 1982, 9 1472.
4. Баранов П.Г., Данилов В.П., Жеков В.И., Мурина Т.М., Нагли Л.Е., Прохоров А.М. Краткие сообщения по физике, 1980, № 5, 33.
5. Баранов П.Г., Данилов В.П., Жеков В.И., Мурина Т.М., Нагли Л.Е., Прохоров А.М. ФТТ, 1980, 22, 2790.
6. Кристофель Н.Н., Завт Г.С. Оптика и спектроскопия, 1968, 25, 705.
7. Тале А.К. Сб. „Радиационная физика”, изд. „Зинатне”, Рига, 1970, 6, 49.
8. Лейман В.И. ФТТ, 1972, 14, 3650.
9. Луцик Н.Е., Луцик Ч.Б., Труды ИФА АН ЭССР, 1957, № 5, 6.
10. Луцик Н.Е. Труды ИФА АН ЭССР, 1957, № 6, 149.