

ИЗМЕНЕНИЕ ПРАВИЛ ОТБОРА ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ТЕЛЛУРА ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

В.Б. Анзин, Ю.В. Косичкин, А.И. Надеждинский

Обнаружено изменение правил отбора фотолюминесценции теллура при понижении температуры от 300 до 4К. Одновременно наблюдается появление нового пика фотолюминесценции при энергиях меньших ширины запрещенной зоны.

1. В настоящее время имеется лишь одно сообщение об успешном наблюдении люминесценции теллура [1]. Возбуждение осуществлялось электронным пучком. Там же упоминалось о фотолюминесценции (ФЛ) при накачке Ga As-лазером, но отмечалась малая эффективность такого способа возбуждения.

2. В настоящей работе в качестве источника накачки использовалось излучение He-Ne-лазера с $\lambda = 0,63 \text{ мкм}$. Лазерное излучение с $\lambda = 1,15 \text{ мкм}$ и $\lambda = 3,39 \text{ мкм}$ подавлялось фильтрами из воды и стекла СЗС-26. Луч лазера фокусировался на поверхность кристалла $(10\bar{1}0)$, параллельную тригональной оси C_3 . ФЛ регистрировалась охлаждаемым приемником из РbS в направлении противоположном направлению распространения лазерного луча. Приемник защищался от возбуждающего излучения с $\lambda = 0,63 \text{ мкм}$ пластиной из Ge. На всех исследовавшихся образцах удалось уверенно зарегистрировать сигнал ФЛ, причем травление приводило к значительному росту ее интенсивности по сравнению с люминесценцией свежесколотых, но нетравленных образцов. С увеличением концентрации примесей от $2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ до $2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ интенсивность ФЛ возрастает примерно в десять раз.

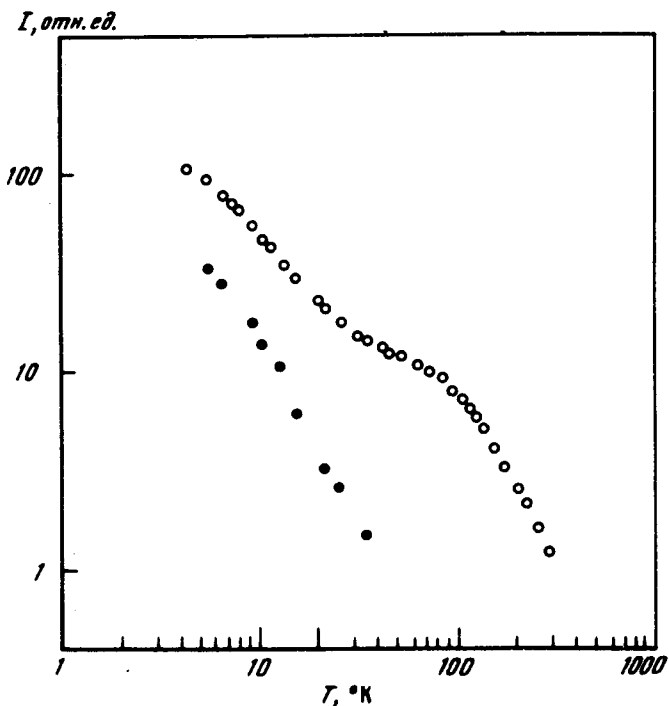


Рис. 1. Температурные зависимости интенсивности I ФЛ с векторами поляризации $E \perp C_3$ (верхняя кривая) и $E \parallel C_3$ (нижняя кривая)

3. На образце с концентрацией $1,7 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ проводились измерения ФЛ в интервале температур $4 \div 300 \text{ К}$. Для этого использовался оптический криостат продувной типа с охлаждаемыми окнами из BaF_2 . Образец находился в атмосфере газообразного гелия.

Было обнаружено, что интенсивность ФЛ сильно зависит от температуры (рис. 1). В исследованном температурном интервале можно выделить две области: при температурах больших 40 К излучение линейно поляризовано с вектором поляризации $E \perp C_3$, в области меньших тем-

ператур появляется компонента ФЛ с $E \parallel C_3$. При этом отношение интенсивностей ФЛ с $E \parallel C_3$ и $E \perp C_3 - I_{\parallel}/I_{\perp}$ достигает величины 0,3. Внутри кристалла это отношение с учетом разницы преломления для данных поляризации света [2], достигает 0,6.

С изменением температуры наблюдается также существенное изменение формы спектра ФЛ (рис. 2). При высоких температурах, когда излучение линейно поляризовано, спектр ФЛ аналогичен [1] и соответствует межзонному переходу с шириной запрещенной зоны $\epsilon_g = 334 \pm 1$ Мэв. По мере того, как с понижением температуры происходит деполяризация излучения, появляется пик ФЛ, расположенный при энергиях, меньших ϵ_g , причем в температурном интервале $4 \div 20$ К его положение в пределах ошибки остается неизменным.

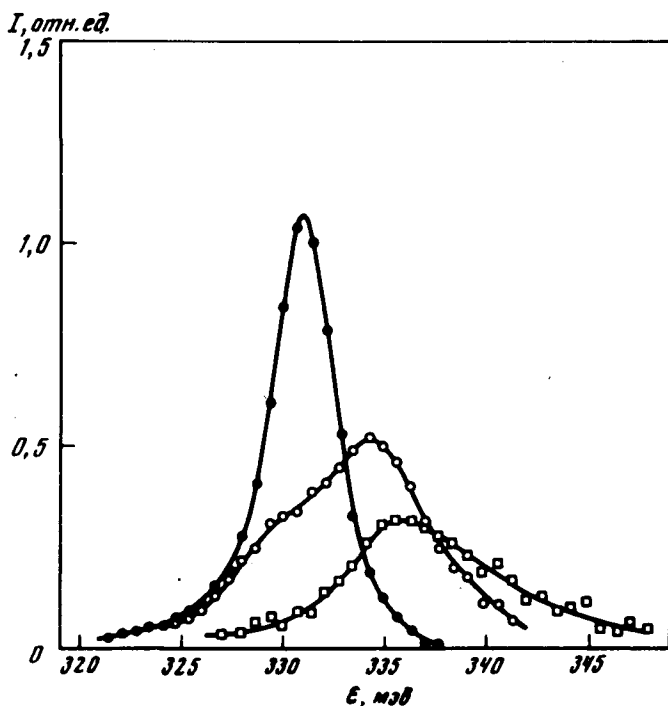


Рис. 2. Спектры ФЛ при температурах 6, К (—●—), 25 К (—○—), 39 К (—□—) (регистрировалась сумма интенсивностей двух поляризаций)

4. При исследовании спектров фотопроводимости теллура [3] был обнаружен дополнительный максимум, располагающийся при энергии меньшей ϵ_g и не зависящий от поляризации света. По-видимому и этот максимум и низкотемпературный пик ФЛ имеют одну и ту же природу и связаны с состояниями, расположенными внутри запрещенной зоны и имеющими энергию ϵ_c в 100 раз меньшую ϵ_g (энергия отсчитывается от дна зоны). При низких температурах большинство возбужденных носителей находится на этих состояниях, что приводит к появлению пика ФЛ при энергии $\epsilon_g - \epsilon_c$ меньшей ϵ_g .

Повышение температуры вызывает ионизацию состояний и ФЛ происходит благодаря излучательному переходу электрона из зоны проводимости в валентную зону. Такой переход запрещен для $E \parallel C_3$, что и определяет линейную поляризацию излучения при высоких температурах.

Эти правила отбора нарушаются для излучательного перехода с участием внутрizonных состояний, о чем свидетельствует и сильная деполяризация ФЛ при низких температурах.

5. Объяснение совокупности этих фактов сталкивается с рядом трудностей. Если волновые функции состояний происходят из блоховских функций экстремума зоны, то их отличие от блоховских функций должно быть невелико в силу малости ϵ_c / ϵ_g . При этом правила отбора для излучательного перехода должны измениться незначительно, т. е. должно быть $I_{\parallel} / I_{\perp} \ll 1$, в то время как экспериментально наблюдается величина близкая к единице ($I_{\parallel} / I_{\perp} = 0,6$).

Сильная деполяризация ФЛ была бы более понятной, если предположить, что состояния происходят не из блоховских функций экстремума зоны, например, располагаются в другой области k -пространства. Однако это плохо согласуется с тем, что они имеют энергию столь близкую к энергии дна зоны. Кроме того, в этом случае, следовало бы ожидать сильной зависимости ϵ_c от внешних параметров, например, температуры, чего не наблюдается в эксперименте.

Таким образом вопрос о природе пика ФЛ, появляющегося при низких температурах и его поляризационных свойствах требует дополнительного исследования.

Авторы выражают признательность А.М.Прохорову за поддержку данной работы, И.И.Фарбштейну за ряд ценных замечаний, В.Г.Веселого и М.С.Бреслеру за полезное обсуждение результатов.

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

Поступила в редакцию
1 июля 1976 г.

Литература

- [1] C. Benoit'a la Guillaume, J.M. Debever, Solid State Comm., 3, 19, 1965; C. Benoit'a la Guillaume, J.M. Debever. Conf. Proc. Physics of Quantum Electronics, 397, 1966.
- [2] R.S. Caldwell, A.Y. Fan. Phys. Rev., 114, 664, 1959.
- [3] В.Б. Анзин, Ю.В. Косичкин, А.И. Надеждинский. ФТТ, 18, 1784, 1976.