

ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСИ ИНДИЯ НА ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЮ $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$ ПРИ БОЛЬШИХ УРОВНЯХ ВОЗБУЖДЕНИЯ

Т. Д. Айтыкеева, К. И. Гейман, А. И. Лебедев

А. В. Матвеевко, А. Э. Юнович

Обнаружено, что при больших уровнях возбуждения в спектрах фотолюминесценции $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te} : \text{In}$ появляется не зависящая от x широкая полоса с энергией в максимуме, существенно большей E_g ($\hbar\omega^* \approx 230$ мэВ при 80К). Обсуждается возможность влияния возбужденных уровней примеси In на возникновение этой полосы.

Как в первом сообщении о $\text{PbTe} : \text{In}$ [1], так и в цикле последних работ [2 — 6], были описаны необычные свойства $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te} : \text{In}$, которые проявляются в гальваномагнитных эффектах и нестационарной фотопроводимости при низких температурах. В настоящем сообщении приведены результаты исследований спектров фотолюминесценции $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te} : \text{In}$ при больших уровнях возбуждения при температурах 20 — 180К.

Эпитаксиальные пленки $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$ ($x = 0,1 - 0,22$) получались методом мгновенного испарения в вакууме на подложку из BaF_2 [2] и легировались In (0,005 — 0,2 ат.%). Параметр x задавался соотношением компонент в процессе выращивания. Фотолюминесценция исследовалась при возбуждении неодимовым лазером ($\hbar\omega_{\text{возб}} = 1,17$ эВ, $W = 10^5 - 10^6$ Вт/см²) по методике, описанной в [7, 8], с использованием фотоприемников из $\text{Cd}_{1-x}\text{Hg}_x\text{Te}$ и $\text{Ge} : \text{Au}$.

На рис. 1 показаны спектры люминесценции образцов, легированных и не легированных In. Во всех 12 образцах, легированных In наблюдалась спектральная полоса с максимумом $\hbar\omega^* \approx 230$ мэВ (80К), положение которой почти не зависело от x , а с увеличением содержания In сдвигалось на 5 — 6 мэВ вверх. С увеличением температуры T выше ~ 50 К

полоса сдвигалась приблизительно как ширина запрещенной зоны E_g , $\partial(\hbar\omega^*)/\partial T \approx 0,6$ мэВ/К. Ширина полосы была $\lesssim 12$ мэВ при 80 К; иногда эта полоса искажалась поглощением излучения в атмосфере. В образцах без примеси In положение максимума $\hbar\omega$ закономерно изменялось с составом; линия фотолюминесценции находилась на 3–10 мэВ выше E_g и соответствовала узкой линии вынужденного излучения.

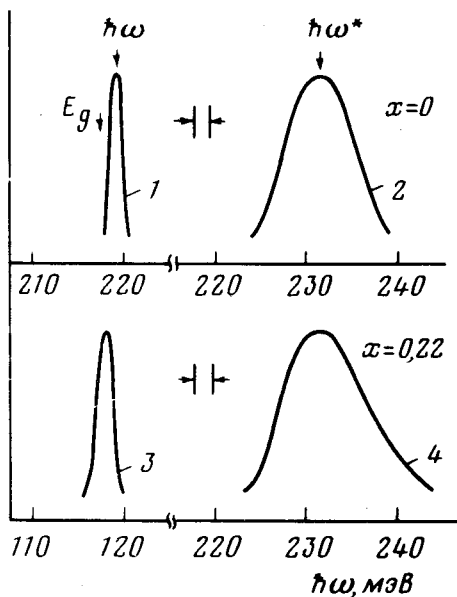


Рис. 1. Спектры фотолюминесценции $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$ для образцов, не легированных In [1, 3] и легированных In [2, 4]; сплошные линии — $T = 87\text{K}$; 0,1% In

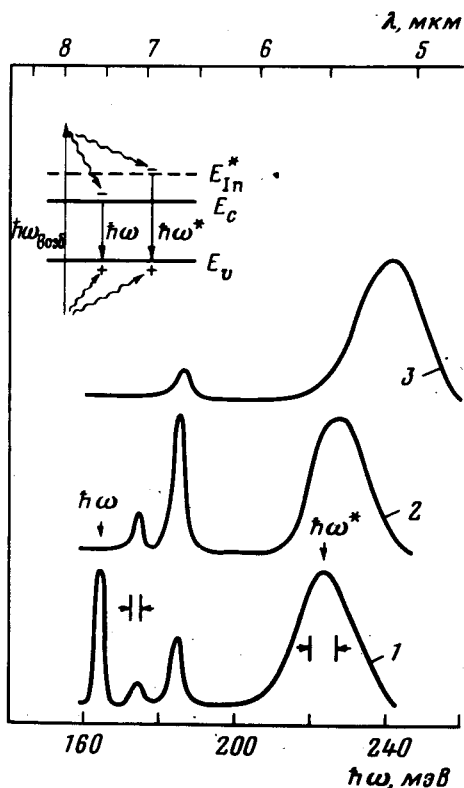


Рис. 2. Изменение спектров фотолюминесценции $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}:\text{In}$ при изменении температуры ($x \approx 0,22$; 0,1% In). На вставке показана энергетическая диаграмма электронных переходов

На рис. 2 показано изменение спектров для одной из пленок $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}:\text{In}$ при увеличении T . При низких температурах одновременно наблюдались низкоэнергетичные линии вынужденного излучения $\hbar\omega$ и полоса $\hbar\omega^*$. Линии вынужденного излучения вели себя как лазерные моды, пропадая с увеличением T по мере того, как энергия моды приближалась к E_g . Относительная интенсивность мод сильно зависела от уровня возбуждения. На рис. 3 показана зависимость положения линий от T . Полоса $\hbar\omega^*$ в образцах с In доминировала выше $\sim 90\text{K}$ и наблюдалась вплоть до $\sim 180\text{K}$.

Следует обратить особое внимание на широкий спектральный интервал, в котором наблюдаются полосы люминесценции, более 70 мэВ для образца, представленного на рис. 2 и рис. 3, т. е. более половины E_g . Это свидетельствует о том, что при указанных условиях возбуждения в излучательной рекомбинации принимают участие горячие носители. В опытах по электролюминесценции $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}:\text{In}$ в гетеропереходах о подобного рода спектрах не сообщалось [9].

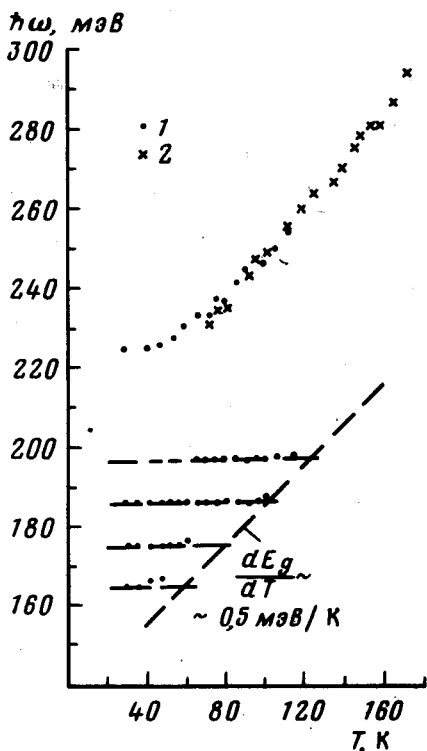


Рис. 3. Зависимость положения спектральных максимумов $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}:\text{In}$ от температуры: 1 — 0,1% In , 2 — 0,2% In ; $x \approx 0,22$

Наши результаты можно объяснить существованием квазилокального энергетического уровня на примеси In , E_{In}^* , расположенного выше края зоны проводимости (вставка на рис. 2). Уровень E_{In}^* отличается от основного уровня In , определяющего гальваномагнитные явления в $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}:\text{In}$. Возбужденные лазером горячие электроны не успевают термализоваться, захватываются атомами In и рекомбинируют с дырками. Эти дырки могут быть как свободными, так и локализованными на атомах In . Часть электронов из зоны проводимости непосредственно рекомбинирует с дырками, обуславливая краевую полосу. Такая

ситуация возможна, если времена установления равновесия между состояниями I_n и зоной существенно больше, чем времена рекомбинации из этих состояний. В наших опытах времена спада люминесценции ограничивались аппаратурой и были $\lesssim 10^{-7}$ сек.

Наблюдаемые оптические переходы в принципе можно объяснить моделями рекомбинации электронно-дырочной пары на атоме I_n^{2+} , электрона на ионе I_n^{3+} , дырки на ионе I_n^+ . Независимость полосы $\hbar\omega^*$ от состава, ее зависимость от температуры и неоднозначность сведений о зарядовом состоянии примеси I_n в равновесии затрудняют выбор однозначной интерпретации в рамках одной из этих моделей.

Авторы благодарят И.А.Драбкина, Н.Б.Брандта, Б.А.Акимова, Л.И.Рябову за плодотворные дискуссии.

Московский
государственный университет
им. М.В.Ломоносова

Поступила в редакцию
11 июня 1980 г.

Литература

- [1] А.А. Аверкин, В.И.Кайданов, Р.Б.Мельник: ФТП, 5, 91, 1971.
- [2] Ю.В.Андреев, К.И.Гейман, И.А.Драбкин, А.В.Матвеевко, Е.А.Можайев, В.Я.Мойжес. ФТП, 9, 1873, 1975.
- [3] Б.А.Акимов, Н.В.Брандт, С.А. Богословский, Л.И.Рябова, С. М.Чудинов. Письма в ЖЭТФ, 29, 11, 1979.
- [4] Б.М.Вул, И.Д.Воронова, Г.А.Калужная, Т.С.Мамедов, Т.Щ.Рагимова. Письма в ЖЭТФ, 29, 21, 1979.
- [5] Ю.М.Каган, К.А.Кикоин. Письма в ЖЭТФ, 31, 367, 1980.
- [6] Б.А.Акимов, Л.И.Рябова, О.Б.Яценко, С.М.Чудинов. ФТП, 13, 752, 1979.
- [7] F.Galeski, A.E.Yunovich, K.H.Herrmann, H.Kostial, I.Rechenberg, P.Schäfer. Phys. Stat. Sol. (b), 88, 675, 1978.
- [8] А.Э.Юнович, А.С.Аверюшкин, И.А.Дрозд, В.Г.Огнева. ФТП, 13, 1694, 1979.
- [9] К.И.Гейман, И.И.Засавицкий, А.В.Матвеевко, А.П.Шотов. ФТП, 13, 887, 1979.