

# К вопросу о происхождении полосы 1 эВ в фотолюминесценции $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$

© В.Е. Седов<sup>¶</sup>, О.А. Матвеев, А.И. Терентьев, Н.К. Зеленина

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук,  
194021 Санкт-Петербург, Россия

(Получена 31 января 2007 г. Принята к печати 14 февраля 2007 г.)

Исследована фотолюминесценция при 77 К образцов  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$  ( $x = 0, 0.005$  и  $0.01$ ), отожженных при  $900^\circ\text{C}$  и давлениях паров кадмия  $P_{\text{Cd}} = 3 \cdot 10^4 - 2 \cdot 10^5$  Па. Обнаружено, что доля полосы 1 эВ в интегральной по спектру фотолюминесценции этих образцов не зависит от  $P_{\text{Cd}}$  в отличие от образцов  $\text{Cd}_{0.95}\text{Zn}_{0.05}\text{Te}$ , в которых она с ростом  $P_{\text{Cd}}$  увеличивается до  $\sim 90\%$ . Полоса не сдвигается в коротковолновую область с ростом  $x$ . Подтверждено сделанное заключение о том, что в формировании свойств  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$  играют роль вакансии Zn. Сделан вывод о том, что полоса 1 эВ вызывается захватом свободных дырок на акцепторные уровни как вакансии кадмия, так и вакансии цинка. Эти уровни близки друг к другу, поэтому их трудно различить.

PACS: 61.72.Ji; 71.55.Gs; 72.40.w; 78.55.Et

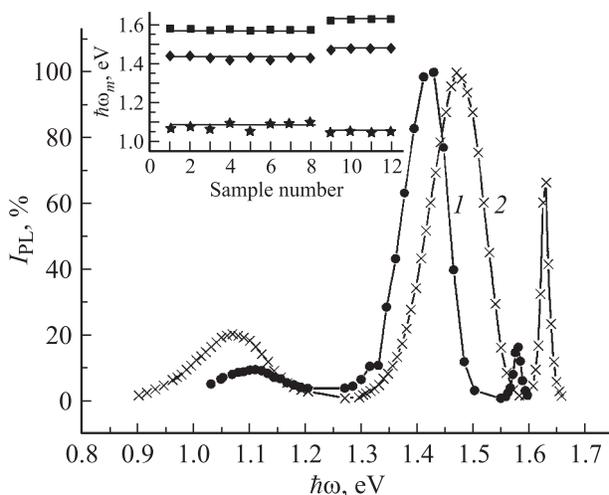
В спектре фотолюминесценции (ФЛ)  $\text{CdTe}$  и  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$  обычно присутствует полоса с максимумом около 1 эВ. Глубокий центр (или центры), связанный с этой полосой, вносит вклад в самокомпенсацию кристаллов [1,2] и влияет на время жизни носителей в них [3,4]. Этим объясняется интерес к нему. Этот центр проявляется также в поглощении [5] и фотопроводимости [3,4]. Природа его окончательно не установлена. В ряде работе его связывают с двукратно отрицательно заряженной вакансией кадмия  $V_{\text{Cd}}^{-2}$  [6] или комплексом с ее участием [1,4,7]. В работе [8] обнаружено, что в спектре ФЛ  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$  вблизи 1 эВ наблюдаются три полосы с энергиями в максимуме 1.145, 1.135 и 1.05 эВ. С увеличением  $x$  полосы 1.145 и 1.135 эВ сдвигаются в коротковолновую область в соответствии с увеличением ширины запрещенной зоны, полоса 1 эВ сдвигается в область меньших энергий. В наших образцах обычно наблюдается полоса 1.05–1.1 эВ. В работе [9] на основании отжига образцов  $\text{Cd}_{0.95}\text{Zn}_{0.05}\text{Te}$  при различных давлениях пара кадмия мы сделали заключение о том, что в формировании свойств кристаллов (степень самокомпенсации, фотолюминесценция, время жизни носителей) играют роль вакансии цинка  $V_{\text{Zn}}$ . При обсуждении ФЛ предполагалось, что положения уровней  $V_{\text{Cd}}$  и  $V_{\text{Zn}}$  относительно валентной зоны в  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$  приблизительно одинаковы и не зависят от  $x$  [8].

В настоящей работе исследовано влияние отжига образцов  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}:\text{Cl}$  с меньшим содержанием цинка ( $x = 0, 0.005$  и  $0.01$ ) на полосу ФЛ 1 эВ и обсуждено происхождение этой полосы.

Отжиг производился так же, как в работе [9], при  $900^\circ\text{C}$  в течение 5 ч при различных давлениях пара кадмия в диапазоне  $P_{\text{Cd}} = 5 \cdot 10^3 - 2 \cdot 10^5$  Па с медленным охлаждением до комнатной температуры в течение 48 ч. ФЛ измерялась при 77 К и возбуждалась He–Ne-лазером (энергия кванта 1.96 эВ, плотность возбуждаю-

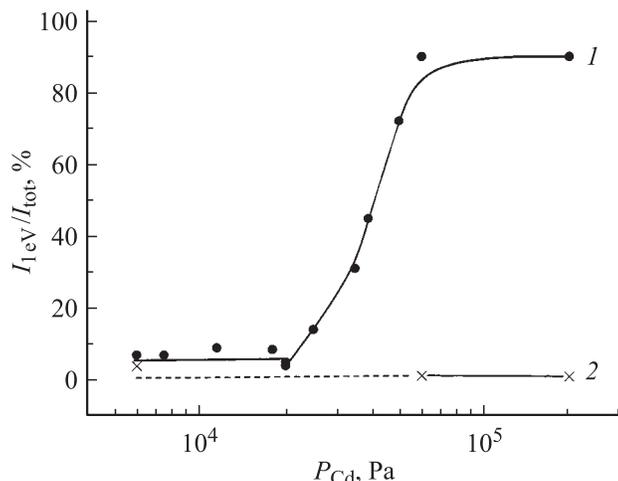
щего потока фотонов  $\sim 10^{18} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$ ) или Ar-лазером (2.43 эВ,  $\sim 10^{21} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$ ).

Типичные спектры ФЛ образцов  $\text{CdTe}$  и  $\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$  до отжига показаны на рис. 1. Хотя доля полосы 1 эВ в интегральной по спектру ФЛ была несколько различной для различных образцов одинакового состава, наблюдалась тенденция к ее увеличению с ростом содержания цинка. На вставке рис. 1 показаны положения максимумов полос ФЛ для двух партий образцов  $\text{CdTe}$  и  $\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$ . Видно, что так же, как в работе [8], полоса 1 эВ сдвигается в длинноволновую область с увеличением  $x$ . Положение максимума и форма полосы 1 эВ не изменялись при увеличении интенсивности возбуждающего потока от  $10^{18}$  до  $10^{21} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$ . Это говорит о том, что указанная ФЛ вызвана рекомбинацией свободных носителей, а не рекомбинацией донорно-



**Рис. 1.** Спектры фотолюминесценции при 77 К образцов  $\text{CdTe}$  (1) и  $\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$  (2). На вставке — положения максимумов полос фотолюминесценции для двух партий образцов  $\text{CdTe}$  (1–8) и  $\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$  (9–12).

<sup>¶</sup> E-mail: Oleg.Matveev@mail.ioffe.ru



**Рис. 2.** Зависимость от давления паров Cd при отжиге доли полосы 1 эВ в интегральной по спектру фотолуминесценции образцов  $\text{Cd}_{0.95}\text{Zn}_{0.05}\text{Te}$  (1), а также  $\text{Cd}_{0.995}\text{Zn}_{0.005}\text{Te}$  и  $\text{Cd}_{0.99}\text{Zn}_{0.01}\text{Te}$  (2) при 77 К.

акцепторных пар. Ранее [9] нами было обнаружено, что для  $\text{Cd}_{0.95}\text{Zn}_{0.05}\text{Te}$  относительная интенсивность полосы 1 эВ в результате отжига при давлении пара кадмия  $P_{Cd} \geq 3 \cdot 10^4$  Па увеличивается и при  $2 \cdot 10^5$  Па достигает  $\sim 90\%$  (рис. 2). Отжиги, сделанные в настоящей работе, показали, однако, что при содержании цинка  $x \leq 0.01$  относительная интенсивность указанной полосы не возрастает, как видно на рис. 2. Она была приблизительно одинаковой для образцов с  $x = 0.005$  и  $0.01$ . Это согласуется с заключением, сделанным в работе [9], о том, что в полосу ФЛ 1 эВ вносит вклад вакансии цинка. Действительно, отжиг при избыточных давлениях Cd уменьшает концентрацию комплексов  $V_{Cd}$ -донор, ответственных за основную полосу 1.45 эВ, но не изменяет концентрацию  $V_{Zn}$ , дающих вклад в полосу 1 эВ, в результате чего эта полоса становится преобладающей в  $\text{Cd}_{0.95}\text{Zn}_{0.05}\text{Te}$  при больших давлениях Cd. Можно предположить, что в кристаллах с меньшей концентрацией Zn меньше и концентрация  $V_{Zn}$ . Поэтому роль их в образцах  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$  при  $x \leq 0.01$  незначительна. Поскольку полоса 1 эВ не сдвигается в коротковолновую область с увеличением содержания цинка в образцах (рис. 1 и работа [8]), следует заключить, что она вызывается захватом свободных дырок на уровень примесного центра. Так как ширина запрещенной зоны  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$  в случае  $x \leq 0.05$  при 77 К приблизительно равна 1.6 эВ [10,11], уровень примесного центра должен быть около  $E_c - 0.6$  эВ (т.е.  $E_v + 1$  эВ). Таким примесным центром может быть как  $V_{Cd}$ , так и  $V_{Zn}$ , уровни которых трудно различить, так как они близки друг к другу [8]. Сопоставление полосы ФЛ 1 эВ с  $V_{Cd}^{-2}$  ( $V_{Zn}^{-2}$ ) соответствует установившимся воззрениям, но противоречит работе [8], в которой авторы утверждают, что расстояние уровня  $V_{Cd(Zn)}^{-2}$  от валентной зоны не может быть больше  $\sim 0.4$  эВ. Этот вопрос остается окончательно не решенным.

## Список литературы

- [1] G. Mandel. Phys. Rev. A, **134**, 1073 (1964).
- [2] G. Mandel, F.F. Morehead, P.R. Wagner. Phys. Rev. A, **136**, 826 (1964).
- [3] Н.В. Агринская, Е.Н. Аркадьева, В.П. Карпенко, О.А. Матвеев, А.И. Терентьев. ФТП, **18**, 951 (1984).
- [4] Matveev O.A., Terent'ev A.I., V.E., Karpenko V.P., Zelenina N.K., A. Fauler, M. Fiederle, K.W. Benz. Phys. Status. Solidi B, **229**, 1073 (2002).
- [5] M.R. Lorenz, B. Segall. Phys. Lett., **7**, 18 (1963).
- [6] D. de Nobel. Phil. Res. Rep., **14**, 361 (1959).
- [7] M.R. Lorenz, B. Segall, H.H. Woodbury. Phys. Rev. A, **134**, 751 (1964).
- [8] W. Stadler, D.M. Hofman, H.C. Alt, T. Muschik, B.K. Meyer, E. Weigel, G. Miller-Vogt, M. Salk, E. Rupp, K.W. Benz. Phys. Rev. B, **51**, 10619 (1995).
- [9] О.А. Матвеев, А.И. Терентьев, Н.К. Зеленина, В.Н. Гуськов, В.Е. Седов, А.А. Томасов, В.П. Карпенко. ФТП, **39**, 1034 (2005).
- [10] Е.Ф. Гросс, Г.М. Григорович, Е.В. Поздняков, В.Г. Середин, Л.Г. Суслина. ФТТ, **12**, 2913 (1970).
- [11] J.L. Reno, E.D. Jones. Phys. Rev. B, **45**, 1440 (1992).

Редактор Л.В. Беляков

## On the origin of 1 eV band in photoluminescence of $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$

V.E. Sedov, O.A. Matveev, A.I. Terentjev, N.K. Zelenina

loffe Physicotechnical Institute,  
Russian Academy of Sciences,  
194021 St. Petersburg, Russia

**Abstract** Photoluminescence of  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$  ( $x = 0.005$  and  $0.01$ ) annealed at  $900^\circ\text{C}$  under Cd pressure ( $P_{Cd} = 3 \cdot 10^4 - 2 \cdot 10^5$  Pa) was studied at 77 K. It was found that a contribution of the 1 eV band to the total photoluminescence of samples studied does not depend on Cd pressure in contrast to one for  $\text{Cd}_{0.95}\text{Zn}_{0.05}\text{Te}$  where it increase up to  $\sim 90\%$  with  $P_{Cd}$  increasing. The 1 eV band does not shift to the short-wave range with  $x$  increasing. The conclusion made earlier that Zn vacancies play a role in formation of properties of  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$  is confirmed. The 1 eV band is ascribed to capture of free holes by the acceptor levels of  $V_{Cd}^{-2}$  and  $V_{Zn}^{-2}$ , which are closely spaced and can be hardly distinguished.