

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

© В.Е. Седов[†], 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°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_{Cd} в отличие от образцов $\text{Cd}_{0.95}\text{Zn}_{0.05}\text{Te}$, в которых она с ростом P_{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) 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_{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_{Zn} . При обсуждении ФЛ предполагалось, что положения уровней V_{Cd} и V_{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°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 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 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-

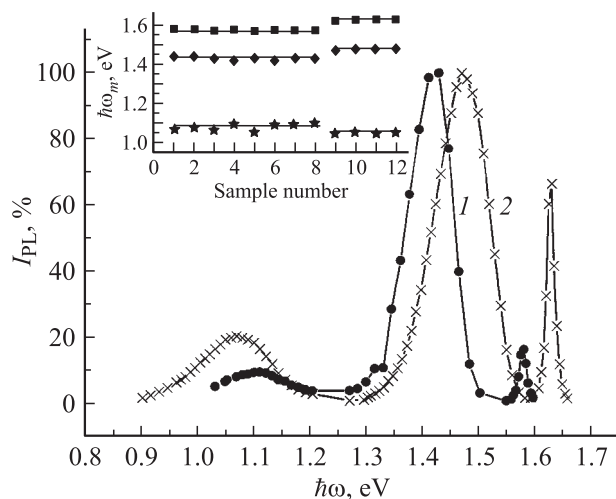


Рис. 1. Спектры фотолюминесценции при 77 К образцов CdTe (1) и $\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$ (2). На вставке — положения максимумов полос фотолюминесценции для двух партий образцов CdTe (1–8) и $\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$ (9–12).

[†] E-mail: Oleg.Matveev@mail.ioffe.ru

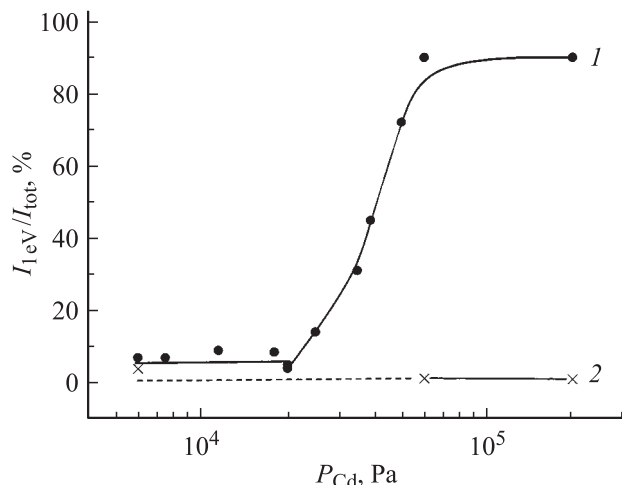


Рис. 2. Зависимость от давления паров Cd при отжиге доли полосы 1 эВ в интегральной по спектру фотолуминесценции образцов $\text{Cd}_{0.95}\text{Zn}_{0.05}\text{Te}$ (1), а также $\text{Cd}_{0.995}\text{Zn}_{0.005}\text{Te}$ и $\text{Cd}_{0.99}\text{Zn}_{0.01}\text{Te}$ (2) при 77 К.

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 ~ 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°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.