

- [1] Панин В.Е., Литачев В.А., Гриняев Ю.В. Структурные уровни деформации твердых тел. Новосибирск: Наука, 1985.
- [2] Литачев В.А., Малинин В.Г. // Изв. вузов. Физика. 1990. № 2. С. 121-139.
- [3] Панин В.Е., Гриняев Ю.В., Данилов В.И. и др. Структурные уровни пластической деформации и разрушения. Новосибирск: Наука, 1990.
- [4] Клименко В.Ю., Яковенцев М.А., Дремин А.И. // Хим. физ. 1993. Т. 12. № 5. С. 677-683.
- [5] Landman U., Barnett R.N., Cleveland C.L. et al. // Few-Body System and Multiparticle Dynamics / Ed. D. A. Micha. AIP Conf. Proc. 162. New York, 1987, P. 200.
- [6] Alekseev S.V., Psakhie S.G., Panin V.E. // J. Mater. Sci. Technol. 1993. Vol. 9. P. 223-225.
- [7] Псазье С.Г., Коростелев С.Ю., Панин В.Е. Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. Вып. 18. С. 1645.
- [8] Psakhie S.G., Korostelev S.Yu., Negreskul S.I. et al. // Phys. Stat. Sol. (b). 1993. Vol. 176. P. K41.
- [9] Girifalco L.A., Weizer V.G. // Phys. Rev. 1959. Vol. 114. N 3. P. 687-690.

Журнал технической физики, т. 64, в. 8, 1994

06;07
© 1994 г.

О ПРИРОДЕ ЦЕНТРОВ СВЕЧЕНИЯ В НЕЛЕГИРОВАННОМ ТЕЛЛУРИДЕ ЦИНКА

Б.В.Лисовой, И.И.Пономаренко

Херсонский индустриальный институт,
325000
(Поступило в Редакцию 5 января 1994 г.)

Для кристаллической решетки теллурида цинка характерно присутствие довольно большого числа акцепторных центров, определяющих его дырочный тип проводимости и характер спектров люминесценции [1]. Содержание работ, посвященных исследованию люминесцентных свойств теллурида цинка, указывает на значительные расхождения между данными, приведенными различными авторами. Так, в работах [2,3] природа акцепторных центров, ответственных за излучение в области 0.560 мкм, связывается с двукратно заряженной вакансией цинка, в то время как авторы работ [4,5] связывают их с остаточной примесью меди. Весьма противоречива информация об излучении теллурида цинка в красной области спектра, где люминесценция обусловлена наличием как примесных [6], так и собственных [7] дефектов. Сведения же о природе этих центров остаются вплоть до настоящего времени весьма противоречивыми.

В настоящей работе проведено комплексное исследование фотолюминесценции (ФЛ) нелегированного теллурида цинка, определена химическая природа центров свечения и установлен механизм электронно-дырочных переходов. Спектры ФЛ исходных монокристаллов ZnTe при 77 К характеризуются рядом полос, максимумы которых расположены в области 0.564, 0.71 и 0.87 мкм (рис. 1, кривая 1). Преобладающей по интенсивности всегда была полоса с

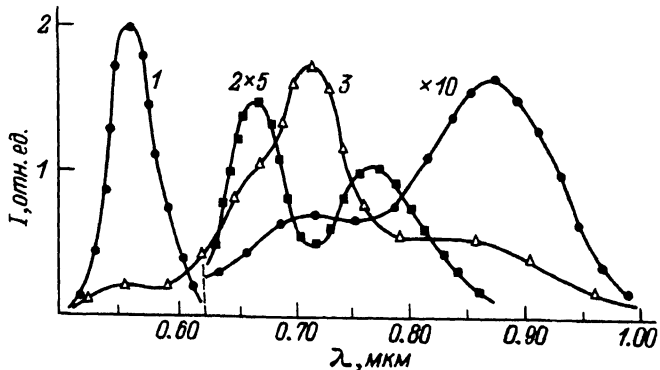


Рис. 1. Спектры люминесценции монокристаллов ZnTe при 77 К. 1, 2 — исходные; 3 — после отжига в насыщенных парах цинка.

$\lambda_{\max} = 0.564$ мкм. На некоторых образцах наблюдается люминесценция с $\lambda_{\max} = 0.66$ мкм, а также самоактивированная (СА) полоса в области 0.76 мкм (рис. 1, кривая 2).

Отжиг монокристаллов ZnTe в насыщенных парах цинка приводит к уменьшению интегральной интенсивности полос в области 0.564 и 0.87 мкм. Однако полоса с $\lambda_{\max} = 0.71$ мкм при этом увеличивает свою яркость (рис. 1, кривая 3). Если же в исходном состоянии образца эта полоса не наблюдалась, то отжиг в избытке цинка приводил к ее появлению. Характерно, что интенсивность люминесценции в области 0.66 мкм возрастает или же мало изменяется после любой термообработки. Положение этой полосы соответствует известной из литературы люминесценции, обусловленной рекомбинацией неравновесных носителей на изовалентном дефекте O_{Te} [8,9]. Увеличение интенсивности люминесценции с $\lambda_{\max} = 0.66$ мкм в процессе отжига связано с освобождением дополнительного количества кислорода из диссоциирующих при высоких температурах кислородосодержащих комплексов. Кроме того, источником атомов кислорода могут быть стенки кварцевых ампул, используемых для термообработки [8,9]. Отчетливо установлена взаимосвязь полос в области 0.66 и 0.71 мкм. Так, с ростом температуры интенсивность полосы с $\lambda_{\max} = 0.71$ мкм падает при одновременном увеличении интенсивности кислородной люминесценции. Характерным является тот факт, что присутствие полосы в области 0.71 мкм непременно вызывает по мере увеличения температуры появление кислородной люминесценции (рис. 2). В то же время кислородная полоса может появиться в широком температурном интервале при отсутствии свечения в области 0.71 мкм.

Исследование спектров возбуждения люминесценции показывает, что свечение с $\lambda_{\max} = 0.66$ мкм возбуждается в основном светом из области примесного поглощения полупроводника ($\lambda_{\max} = 0.59$ мкм). Вместе с тем полоса с $\lambda_{\max} = 0.71$ мкм эффективно возбуждается как длинноволновым светом, так и светом из области края собственного поглощения ZnTe ($\lambda_{\max} = 0.525$ мкм). Примесное возбуждение соответствует переходам электронов из валентной зоны непосредственно на изовалентные центры O_{Te} , энергия активации которых, определенная по температурному тушению люминесценции, составляет 0.45 эВ. Таким образом, характеристики полос с $\lambda_{\max} = 0.66$ мкм и 0.71 мкм во

многочисленны. Эти полосы имеют сходные спектры возбуждения, наблюдается тесная взаимосвязь полос с изменением температуры, их максимумы не смещаются при изменении интенсивности возбуждения. Совокупность полученных экспериментальных результатов позволяет заключить, что центры свечения, ответственные за эти полосы, обусловлены проявлением одного и того же дефекта в монокристаллах ZnTe, а именно кислородных центров O_{Te} . Этот факт, а также наличие в ZnTe после выращивания в нерастворенном состоянии остаточной примеси меди [10] позволяют связать природу полосы в области 0.71 мкм с рекомбинацией электронов, локализованных на изовалентных центрах O_{Te} и дырок на акцепторных центрах Cu_{Zn} . Энергия активации соответствующих акцепторных центров, определенная по температурному тушению люминесценции, составляет 0.15 эВ, что находится в соответствии с данными других авторов [10,11]. Как было показано в работе [12], легирование монокристаллов теллурида цинка медью с последующим отжигом действительно приводит к появлению полосы в области 0.71 мкм.

Результаты термообработки монокристаллов ZnTe в избытке цинка показывают, что люминесценция в области 0.564 и 0.87 мкм связана с дефектами в подрешетке цинка. Уменьшение интенсивности вышеуказанных полос в результате отжига происходит вследствие заполнения вакансий цинка соответствующими атомами, и также в результате растворения остаточной примеси меди. Проведенные исследования влияния уровня и типа возбуждения, а также температуры на люминесценцию в области 0.564 мкм показывают, что рассматриваемое излучение представляет собой наложение двух элементарных, сильно перекрывающихся полос. Для более коротковолновой полосы характерно быстрое затухание и слабая зависимость от уровня возбуждения. Эти признаки соответствуют переходам неосновных носителей (электронов) из зоны проводимости на акцепторные уровни V_{Zn}^- . Длинноволновая полоса характеризуется более продолжительным временем высвечивания и проявляет сильное смещение максимума в коротковолновую область с увеличением уровня возбуждения, что указывает на ее

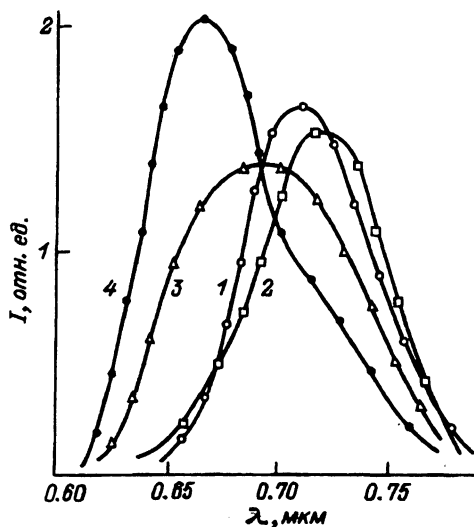


Рис. 2. Температурные изменения формы и положения максимумов полос люминесценции монокристаллов ZnTe : Zn в красном участке спектра. 1 — 77, 2 — 153, 3 — 183, 4 — 213 К

донорно-акцепторную природу. В данном случае при 77 К мелкие донорные уровни, входящие в состав донорно-акцепторных пар, ионизированы. Поэтому длинноволновая составляющая сложной полосы люминесценции в области 0.564 мкм обусловлена, вероятно, присутствием в кристаллической решетке ассоциативных центров типа $(V_{Zn}^{2-} - D_{Zn}^{+})^{-}$.

Люминесценция в области 0.76 и 0.87 мкм является самоактивированной. Энергия активации вышеуказанных полос 0.12 и 0.14 эВ соответственно. Максимумы обеих полос не смещаются с изменением интенсивности возбуждающего света, люкс-яркостные характеристики являются линейными при температуре гашения люминесценции. Результаты экспериментов свидетельствуют в пользу внутрицентровых излучательных переходов, происходящих между основным и возбужденным состоянием сложного акцептора $[V_{Zn}^{2-} - In_{Zn}(Ga)_{Zn}^{+}]^{-}$, описываются моделью конфигурационных координат.

Таким образом, комплексное исследование люминесцентных свойств преднамеренно нелегированных монокристаллов теллурида цинка позволило определить химическую природу центров свечения и установить механизмы электронно-дырочных переходов, приводящих к излучению света в широком спектральном диапазоне.

Список литературы

- [1] Гавриленко В.И., Грехов А.М., Корбутян Д.В., Литовченко В.Г. Оптические свойства полупроводников. Справочник. Киев: Наукова думка, 1987.
- [2] Лукашевич П.Г., Грибковский В.П., Цуркан А.В., Верлан В.И. // ЖПС. 1978. Т. 29. № 6. С. 1040–1043.
- [3] Woody W.R., Meese J.M. // J. Appl. Phys. 1976. Vol. 47. P. 3640–3643.
- [4] Dean P.J., Verghaus H., Pfisher I.C. et al. // J. Luminescence. 1978. Vol. 16. N 2. P. 363–394.
- [5] Bensahel D. // J. Phys. 1979. Vol. 40. N 11. P. 1063–1066.
- [6] Яблонский Г.П., Грибковский В.П., Тупеневич П.А. // ФТП. 1973. Т. 7. Вып. 2. С. 314–318.
- [7] Norris C.B. // J. Electron Mater. 1980. Vol. 9. N 6. P. 913–931.
- [8] Merz I.L. // J. Appl. Phys. 1971. Vol. 42. N 6. P. 2463–2471.
- [9] Iida S. // J. Phys. Soc. Jap. 1972. Vol. 32. N 1. P. 142–151.
- [10] Bensahel D., Magnea N., Dupuy M. // SEM-CL and PL Sol. St. Commun. 1979. Vol. 30. N 7. P. 467–472.
- [11] Seminadayar K., Magnea N., Pautrat J.L., Pojot B. // Phys. Stort. Sol. (b). 1981. Vol. 108. N 1. P. 215–225.
- [12] Лисовой Б.В. Канд. дис. Одесса, 1988. 145 с.