

06;07

О природе центров свечения в эпитаксиальных пленках теллурида цинка

© К.В. Соловьев, Б.В. Лисовой, Ю.А. Миронченко

Херсонский индустриальный институт

Поступило в Редакцию 5 мая 1997 г.

Выполнено экспериментальное исследование люминесцентных свойств пленок теллурида цинка. Установлена химическая природа центров свечения эпитаксиальных пленок ZnTe.

Анализ литературных данных по исследованию люминесцентных свойств тонких слоев теллурида цинка показывает неоднозначность результатов, приводимых различными авторами. Так, в работах [1,2] люминесценция в тонких пленках ZnTe, выращенных на сапфире, связывается с собственными дефектами, либо с наличием неконтролируемых примесей. Авторы [3] наблюдали ряд полос свечения на эпитаксиальных пленках, полученных газовой эпитаксией. Химическая природа центров свечения при этом подробно не изучалась. Практически отсутствуют сведения о свойствах эпитаксиальных пленок ZnTe, полученных методом жидкофазной эпитаксии. Неоднозначность результатов в оценке положения полос и природы центров излучения свидетельствует о сложности рекомбинационных центров, вызванной склонностью к ассоциациям дефектов и образованием, вследствие явления самокомпенсации, собственных дефектов.

Исследуемые в данной работе эпитаксиальные пленки ZnTe получены методом жидкофазной эпитаксии на монокристаллические подложки из ZnSe в атмосфере очищенного водорода. В спектре люминесценции нелегированных эпитаксиальных пленок ZnTe при 77 К присутствовала единственная полоса свечения с максимумом в области $0.76 \mu\text{m}$ и полушириной 0.3 eV (рис. 1, кривая 1). Для сравнения на рис. 2 (кривая 1) представлена типичная спектральная характеристика нелегированных монокристаллов ZnTe. Наблюдаются характерные полосы с максимумами в области 0.564 ; 0.66 и $0.76 \mu\text{m}$. Характерно, что как

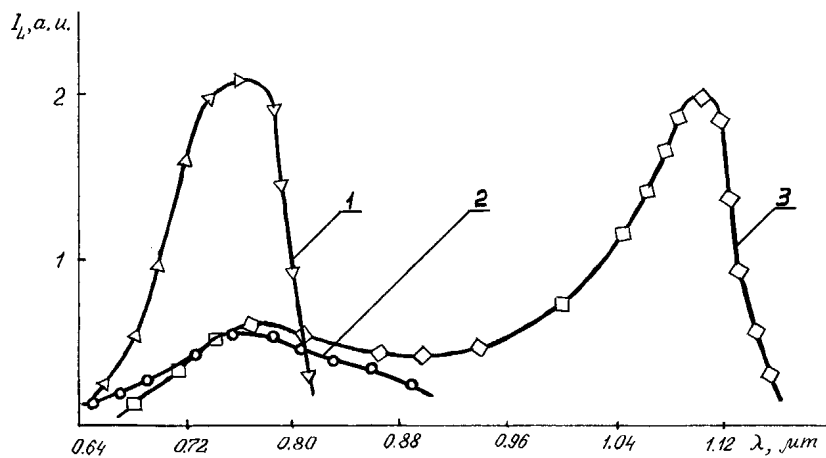


Рис. 1. Спектры фотолюминесценции нелегированных эпитаксиальных пленок теллурида цинка при 77 К: 1 — исходная эпитаксиальная пленка; 2 — эпитаксиальная пленка после термической обработки в насыщенных парах или расплаве цинка; 3 — эпитаксиальная пленка после термической обработки в насыщенных парах теллура.

на эпитаксиальных пленках, так и на монокристаллах не наблюдалось люминесценции в краевой области спектра с $\lambda_{\text{max}} = 0.525 \mu\text{m}$ при 77 К. Это свидетельствует о наличии в эпитаксиальных пленках и монокристаллах теллурида цинка большой концентрации глубоких центров излучательной рекомбинации. Присутствие таких дефектов в полупроводниках обычно не позволяет проявиться краевой люминесценции. С целью получения информации о природе центров излучательной рекомбинации в эпитаксиальных пленках ZnTe после их обработки в насыщенных парах Zn или в расплаве этого металла исчезало практически полностью (рис. 1, кривая 2). Дополнительные полосы фотолюминесценции в других участках спектра не возникали. Для сравнения на рис. 2 (кривая 2) представлен спектр излучения монокристаллов ZnTe после их отжига при аналогичных условиях. Отжиг приводит к подавлению полос свечения с $\lambda_{\text{max}} = 0.564$ и $0.76 \mu\text{m}$. При этом интенсивность свечения в области $0.66 \mu\text{m}$ существенно не изменяется.

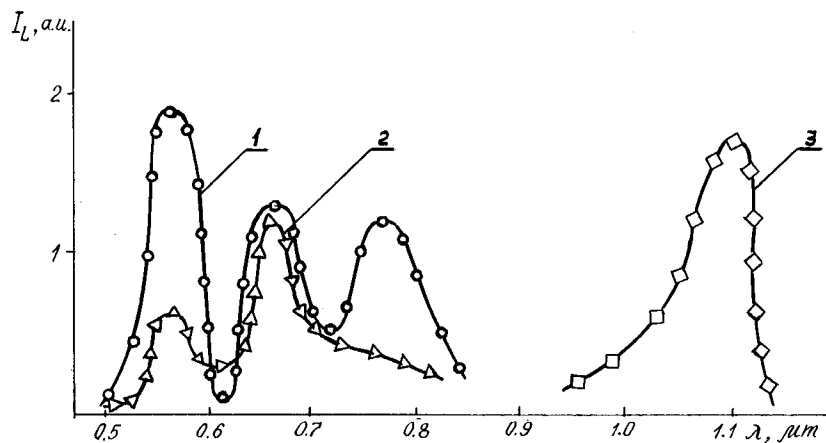


Рис. 2. Спектры фотолюминесценции нелегированных монокристаллов теллурида цинка при 77 К: 1 — исходный монокристалл; 2 — монокристалл после термической обработки в насыщенных парах или расплаве цинка; 3 — монокристалл после термической обработки в насыщенных парах теллура.

Изменение в спектральном распределении фотолюминесценции эпитаксиальных пленок ZnTe после отжига в насыщенных парах теллура иллюстрируется кривой 3 (рис. 1). Установлено, что после такой термообработки возникает новая полоса свечения с $\lambda_{\max} = 1.1 \mu\text{m}$, при этом излучение с $\lambda_{\max} = 0.76 \mu\text{m}$ подавляется. Аналогичный отжиг монокристаллических образцов ZnTe подавляет все три полосы люминесценции, наблюдающиеся в исходном состоянии и так же, как в случае эпитаксиальных пленок, вызывает появление полосы люминесценции с максимумом в инфракрасном участке спектра (рис. 2, кривая 3).

На основании вышеописанных результатов можно высказать некоторые предположения относительно природы дефектов, ответственных за наблюдаемые полосы. При термообработке образцов в жидком цинке или насыщенных парах цинка концентрация вакансий цинка уменьшается вследствие заполнения их соответствующими атомами. Значительное уменьшение интенсивности люминесценции в областях 0.56 и $0.76 \mu\text{m}$ указывает на участие вакансий в формировании дефектов, ответственных за указанные полосы.

Результаты исследований люминесценции в области $0.76 \mu\text{m}$ на эпитаксиальных пленках ZnTe показывают характерные особенности вышеуказанной полосы. Так, после отжига в насыщенных парах цинка люминесценция в области $0.76 \mu\text{m}$ исчезает, положение максимума этого свечения практически не зависит от температуры образца и интенсивности возбуждающего света, люкс-яркостные характеристики оказываются близкими к линейным, температурная зависимость интенсивности этой полосы не описывается простой экспоненциальной зависимостью с существенной энергией активации. Такое поведение для так называемых самоактивизированных полос свечения, которые наблюдаются и на других соединениях A_2B_6 [4]. Результаты экспериментов свидетельствуют в пользу внутрицентровых излучательных переходов, происходящих между основным и возбужденным состоянием сложного акцептора $[V_{zn}^{--} - D_{zn}^+]^-$ и описываемых моделью конфигурационных координат.

Положение полосы в области $0.66 \mu\text{m}$ на монокристаллах ZnTe соответствует люминесценции, обусловленной рекомбинацией неравновесных носителей на изовалентном дефекте O_{Te} [5,6]. В эпитаксиальных пленках свечение кислорода не наблюдалось. Это обусловлено технологическими условиями получения эпитаксиальных пленок ZnTe. Увеличение интенсивности фотолюминесценции эпитаксиальных пленок ZnTe в области $1.1 \mu\text{m}$ после термообработки в насыщенных парах теллура объясняется появлением собственных дефектов в кристаллической решетке ZnTe. Действительно, после такой термообработки как в слоях, так и в монокристаллах создается сверхстехиометрический теллур за счет одностороннего отклонения области гомогенности соединения в сторону избытка Te. При этом возможно образование собственных дефектов Te_i [7]. Междузельные атомы Te, так же как атомы других халькогенидов, в соединениях группы A_2B_6 образуют акцепторные уровни, дислоцированные на расстоянии $0.1-0.15 \text{ eV}$ от верхнего края валентной зоны и являются центрами излучательной рекомбинации.

Люминесценция с $\lambda_{\text{max}} = 1.1 \mu\text{m}$ испытывает температурное гашение с энергией активации 0.12 eV . При этом свечение можно наблюдать только при низких температурах (до 150 K). Это подтверждает тот факт, что центр люминесценции локализован вблизи края зоны и находится в хорошем термическом взаимодействии с ней.

Микрофотографии свежевыращенных и отожженных в парах Te эпитаксиальных пленок ZnTe показывают наличие некоторых мелких

включений, которые проявляются в виде темных точек. Аналогичные результаты были получены и на монокристаллах ZnTe. Установлено, что эти включения представляют собой места скопления избыточного теллура [8]. Фотолюминесценция практически не наблюдается вблизи этих темных микровключений, окрестности которых, очевидно, являются участками эффективной безызлучательной рекомбинации [9]. По-видимому, именно по этой причине наблюдается уменьшение интегральной интенсивности люминесценции эпитаксиальных пленок и монокристаллов ZnTe после их отжига в теллуре. В то же время наблюдается увеличение темновой электропроводности и примесной фоточувствительности после термической обработки эпитаксиальных слоев в насыщенных парах теллура.

Таким образом, комплексное исследование люминесцентных свойств эпитаксиальных пленок ZnTe, их термическая обработка в средах, изменяющих стехиометрию, а также сравнение с аналогичными свойствами монокристаллов ZnTe позволило определить химическую природу центров свечения в эпитаксиальных пленках теллурида цинка.

Список литературы

- [1] Сенокосов Э.А., Стойкова В.Г., Усатый А.Н. // Изв. АН СССР. Сер. физ.-мат. и тех. наук. 1983. № 1. С. 69–71.
- [2] Сенокосов Э.А., Стойкова В.Г., Усатый А.Н. // Физ. и техн. полупроводников. 1984. Т. 18. № 6. С. 1120–1125.
- [3] Цуркан А.В., Медвецкий С.П. // Журн. прикл. спектроскопии. 1984. Т. 41. № 5. С. 726–729.
- [4] Недеогло Д.Д., Симашкевич А.В. Электрические и люминесцентные свойства селенида цинка. Кишинев: Штиинца, 1984, С. 86.
- [5] Лисовой Б.В., Пономаренко И.И. // ЖТФ. 1994. Т. 64. В. 8. С. 190–193.
- [6] Norris C.B. // J. Appl. Phys. 1982. V. 53. N 7. P. 5172–5176.
- [7] Bensahel D., Dupuy M., Pfisher I.C. // Phys. Stort. Sol (a). 1979. V. 55. N 1. P. 211–221.
- [8] Dean P.J. // J. Luminescence. 1979. V. 21. N 1. P. 75–83.
- [9] Magnea N., Bensahel D., Pfisher I.C. // Solid State Communs. 1979. V. 29. N 1. P. 35–38.