

## КОМБИНАЦИОННОЕ РАССЕЯНИЕ СВЕТА В $\text{Cd}_{0,2}\text{Hg}_{0,8}\text{Te}$ ВБЛИЗИ РЕЗОНАНСА НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЩЕЛИ $E_1$

Ю.А. Алещенко, Л.К. Водопьянов

*Методом спектроскопии комбинационного рассеяния света исследовались колебательные возбуждения в  $\text{Cd}_{0,2}\text{Hg}_{0,8}\text{Te}$  вблизи резонанса на щели  $E_1$ . Подтверждена природа полосы  $S_-$ , связанной с комбинированной модой LO-фонон-междуподзонное электронное возбуждение.*

Полупроводниковые твердые растворы  $\text{Cd}_{1-x}\text{Hg}_x\text{Te}$  нашли широкое применение в качестве материала для изготовления детекторов излучения инфракрасного диапазона благодаря возможности плавной перестройки ширины запрещенной зоны при выращивании кристаллов от 0 ( $x = 0,84$ ) до 1,6 эВ ( $x = 0$ ). Исследования таких соединений методом спектроскопии комбинационного рассеяния (КР) света проводились в работах /1-5/.

В настоящей работе представлены результаты КР света в твердых растворах  $\text{Cd}_{0,2}\text{Hg}_{0,8}\text{Te}$  вблизи резонанса на энергетической щели  $E_1$ . Изучались образцы с проводимостями p- и r-типов, имеющие концентрации носителей заряда  $10^{14} - 10^{16} \text{ см}^{-3}$ . После механической обработки образцы подвергались травлению в растворе брома в метаноле.

Спектры КР при температуре 80-100 К возбуждались излучением  $\text{Ar}^+$  лазера с длиной волны 5145 Å в геометрии обратного рассеяния от плоскости (111). Для увеличения отношения сигнал/шум использовалась также геометрия "на отражение" под углом Брюстера. Вследствие сильного поглощения света в резонансных условиях возбуждения плотность мощности излучения на поверхности образца не превышала  $10 \text{ Вт/см}^2$ . Рассеянный свет анализировался двойным монохроматором ДФС-24 и регистрировался ФЭУ-79 в режиме счета фотонов. Спектральная ширина щелей монохроматора не превышала  $2 \text{ см}^{-1}$ .

На рис. 1 приведены спектры КР p- $\text{Cd}_{0,2}\text{Hg}_{0,8}\text{Te}$  с концентрацией дырок  $\sim 10^{16} \text{ см}^{-3}$  в поляризационных конфигурациях  $Z(Y,Y)\bar{Z}$  и  $Z(X,X)\bar{Z}$  (оси X, Y, Z определены следующим образом: X(110), Y(112), Z(111)). В первой конфигурации правилами отбора разрешены LO- и TO-моды, во втором случае — только TO-моды. Проявление моды  $\text{LO}_{\text{HgTe}}$  во второй конфигурации вызвано, вероятно, несовершенством кристалла или неточной установкой поляризатора и анализатора. Полоса при  $156,5 \text{ см}^{-1}$  связана с LO- и TO-модами CdTe-подобного колебания, которые не удалось разрешить в спектре.

Спектры на рис. 1 можно интерпретировать с позиций двухмодового характера системы  $\text{Cd}_{1-x}\text{Hg}_x\text{Te}$ . Действительно, в области промежуточных концентраций x в спектрах проявляются два набора продольных и поперечных оптических мод, один из которых характеризует CdTe-подобные, а другой HgTe-подобные колебания. Температурная зависимость интенсивности полосы при  $106 \text{ см}^{-1}$  позволяет отнести ее к линии КР первого порядка. Она близка по частоте к обнаруженной ранее в спектрах КР  $\text{Cd}_{0,2}\text{Hg}_{0,8}\text{Te}$  дефектной моде при  $108 \text{ см}^{-1}$ , связанной с замещением Te на Hg в узлах кристаллической решетки (антиструктурный дефект) /3/. Помеченная звездочкой полоса при  $135 \text{ см}^{-1}$  обусловлена кластерным эффектом, то есть тенденцией к группированию в твердом растворе  $\text{Cd}_{1-x}\text{Hg}_x\text{Te}$  катионов одного вида (Cd или Hg) вокруг анионов (Te) /1,2/.

Слабое плечо при  $132 \text{ см}^{-1}$ , которое ранее приписывалось также кластерной моде /1/, было интерпретировано как комбинированная мода LO-фонон — междуподзонное электронное возбуждение ( $S_-$  мода). Подобная мода наблюдалась ранее в спектрах КР InAs /6/. Правомерность такой интерпретации подтверждается следующими соображениями. Поверхностный изгиб зон, связанный с наличием поверхностных состояний, в случае  $\text{Cd}_{1-x}\text{Hg}_x\text{Te}$  более ярко выражен в узкозонном материале, то есть в материале, обогащенном Hg. Это связано с тем, что по мере замещения ионов Cd ионами Hg силовая константа связи Cd-Te увеличивается, а связи Hg-Te уменьшается, дестабилизируя тем самым узкозонный материал /7/. Вызванная таким образом активность поверхности кристалла обуславливает ее быстрое окисление. В /8/ было показано, что уже на начальном этапе формирования окисла на поверхности HgTe и  $\text{Cd}_{0,2}\text{Hg}_{0,8}\text{Te}$  в нем воз-

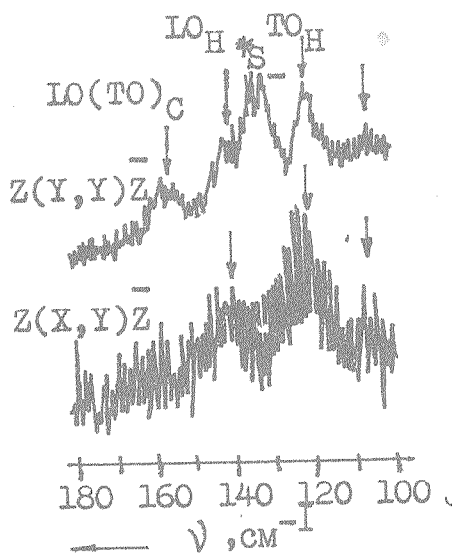


Рис. 1

Рис. 2. Неполаризованные спектры КР  $\text{Cd}_{0.2}\text{Hg}_{0.8}\text{Te}$  р- и n-типа, снятые при температуре 100 К и возбуждении излучением с длиной волны 5145 Å. Обозначения те же, что и на рис. 1.

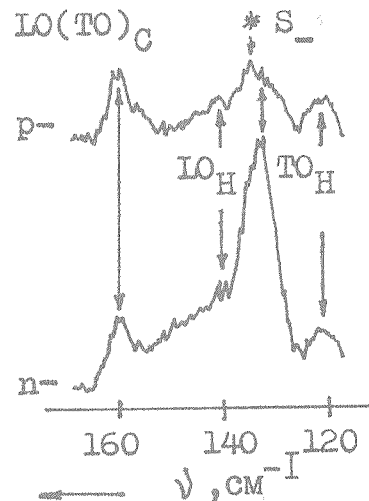


Рис. 2

никает фиксированный положительный заряд. Это означает, что в указанных материалах независимо от типа проводимости объема приповерхностный слой толщиной порядка дебаевского радиуса экранирования ( $\sim 100 \text{ \AA}$ ) всегда обогащен электронами, а в случае материала р-типа является инверсионным. Именно наличие такого слоя электронной проводимости вблизи поверхности узкозонного материала служит причиной аномалий в температурных зависимостях коэффициента Холла и других параметров переноса /9/. Сильные электрические поля, связанные с аккумулярующими и инверсионными слоями вблизи поверхности  $\text{Cd}_{0.2}\text{Hg}_{0.8}\text{Te}$ , могут приводить к поверхностно-квантовым эффектам, вызывающим расщепление зон на отдельные подзоны. В полярных полупроводниках коллективные возбуждения электронов в этих слоях взаимодействуют с электрическим полем LO-фононов. Эти возбуждения могут проявляться в спектрах резонансного КР через механизмы рассеяния на LO-фононах /10/.

Отметим, что особенность, приписанная  $S_{-}$  моде, наблюдалась также в спектрах КР р- $\text{Cd}_{0.2}\text{Hg}_{0.8}\text{Te}$  /3,4/, где было показано, что возможность регистрации  $S_{-}$  моды зависит от условий обработки поверхности образца. Однако такая интерпретация полосы КР при  $132 \text{ см}^{-1}$  не была должным образом обоснована.

Для изучения природы полосы КР при  $132 \text{ см}^{-1}$  нами были проведены измерения образцов  $\text{Cd}_{0.2}\text{Hg}_{0.8}\text{Te}$  n- и р-типа проводимости. Результаты неполаризованных измерений для образцов с концентрациями электронов и дырок соответственно  $6 \cdot 10^{15}$  и  $7 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$  представлены на рис. 2. Видно, что в спектрах образца р-типа, в котором существует инверсионный поверхностный n-слой,  $S_{-}$  мода проявляется, но имеет малую интенсивность. В образце n-типа, имеющем аккумулярующий  $n^{+}$ -слой, интенсивность этой моды резко возрастает, а ее положение в спектре не изменяется. Измерения образцов n-типа с концентрациями электронов  $\sim 10^{14} \text{ см}^{-3}$  также не выявили сдвига  $S_{-}$  моды по частоте. Некоторая асимметрия контура этой линии в спектре образца n-типа (рис. 2) связана, по-видимому, с наложением на нее кластерной моды при  $135 \text{ см}^{-1}$ .

Остановимся на причинах наблюдаемых закономерностей. Взаимодействие LO-фононов с коллективными междузонными возбуждениями двумерной электронной плазмы аналогично взаимодействию LO-

фононов с коллективными возбуждениями плазмы в объеме полупроводника. Частоты комбинированных мод соответствуют нулям диэлектрической функции аккумулирующего (или инверсного) поверхностного слоя для электрических полей, перпендикулярных поверхности. Как показывает теория [6], при больших слоевых плотностях электронов  $N_s$ , для которых  $\omega_{12} > \omega_{LO}$  ( $\omega_{12}$  — частота одночастичного возбуждения между первой и второй подзонами), частота  $S_-$  моды не зависит от  $N_s$ . Именно этим обстоятельством можно объяснить отсутствие сдвига частоты  $S_-$  моды для образцов n- и p-типов проводимости с различными концентрациями носителей. Рост интенсивности  $S_-$  моды в n-Cd<sub>0,2</sub>Hg<sub>0,8</sub>Te обусловлен изменением диэлектрической функции, вызванным ростом концентрации электронов в поверхностном слое образца.

Таким образом, в настоящей работе подтверждена природа полосы  $S_-$ , связанной с комбинированной модой LO-фонон — междуподзонное электронное возбуждение, в спектрах КР Cd<sub>0,2</sub>Hg<sub>0,8</sub>Te вблизи резонанса на энергетической щели  $E_1$ . Помимо LO- и TO-мод центра зоны Бриллюэна в резонансных спектрах зарегистрирована кластерная мода, а также полоса, обусловленная антиструктурным дефектом в Cd<sub>0,2</sub>Hg<sub>0,8</sub>Te.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Алешенко Ю. А., Водопьянов Л. К., Козырев С. П. Труды Всесоюзной конференции по физике полупроводников. Элм, Баку, 1982, т. 2, с. 28.
2. Vodopyanov L. K. et al. Proc 17th Int. Conf. on the Physics of Semiconductors, San Francisco, 1984, ed. by W. Harrison, p. 947.
3. Amirtharaj P. M., Tiong K. K., Pollak F. H. J. Vac. Sci. and Technol., A1, 1744 (1983).
4. Tiong K. K. et al. Solid State Commun., 50, 891 (1984).
5. Menendez J., Cardona M., Vodopyanov L. K. Phys. Rev., B31, 3705 (1985).
6. Ching L. Y. et al. Proc. 15th Int. Conf. on the Physics of Semiconductors, Kyoto, 1980, ed by S. Trajka, Y. Toyozawa, p. 951.
7. Козырев С. П., Водопьянов Л. К., Трибуле Р. ФТТ, 25, 635 (1983).
8. Романов О. В., Божевольнов В. Б., Мясоедов Ю. Н. ФТП, 18, 1064 (1984).
9. Lou L. F., Frye W. H. J. Appl. Phys., 56, 2253 (1984).
10. Burstein E., Pinczuk A., Buchner S. Proc. Int. Conf. on the Physics of Semiconductors, Edinburg, 1979, p. 1231.

Поступила в редакцию 11 мая 1986 г.