

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕСТРОЙКИ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СПЕКТРОВ СИСТЕМЫ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ  $Cd_{1-x}Zn_xTe$

В. Г. Плотниченко, Д. А. Алешенко, Л. К. Волощянов

УДК 539.219

В работе изучены спектры комбинационного рассеяния света первого порядка в кристаллах системы твердых растворов  $Cd_{1-x}Zn_xTe$ . Показано, что перестройка колебательных спектров в системе носит аномальный, а именно, резонансный характер. Результаты работы хорошо согласуются с выводами, сделанными ранее на основании исследования данной системы методом ИК спектроскопии.

Изучение колебательных спектров сложных полупроводников представляет двойной интерес. С одной стороны, фоновые процессы играют существенную роль во многих явлениях, происходящих в полупроводниках. С другой стороны, для потребностей современной электроники необходимо управлять в широких пределах физическими свойствами материалов, что достигается введением примеси разной концентрации - вплоть до таких значений, когда кристалл превращается в разупорядоченную систему, представляющую собой твердый раствор. Интересы практики требуют изучения таких сложных систем, что наиболее эффективно можно сделать, исследуя их колебательные спектры и оптические характеристики.

К простейшему виду таких систем относятся твердые растворы замещения  $A_{1-x}B_xC$ , когда атомы А и В принадлежат к одной и той же группе Периодической системы.

Принято считать /1/, что при переходе от одного крайнего соединения к другому перестройка колебательных спектров может происходить по одномодовой или двумодовой схеме. Однако в /2,3/ при измерении спектров отражения кристаллов системы твердых растворов  $Cd_{1-x}Zn_xTe$  был обнаружен новый тип перестройки колебательных спектров. В спектральной зависимости отражательной способности  $R(\omega)$  обнаруживались две полосы остаточных лучей. Тщательный

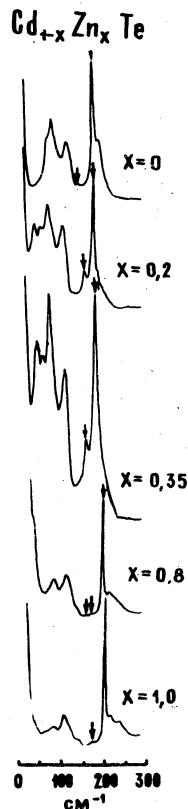
анализ частотных зависимостей диэлектрических функций  $\epsilon^*(\omega)$  и  $\text{Im}[-\epsilon^{-1}(\omega)]$ , полученных путем машинного обьчета  $R(\omega)$  по методу Крамерса-Кронига, позволил четко разделить продольные и поперечные, а также примесные и основные колебания. В результате было показано, что зависимости частот оптических фононов от состава носят явно аномальный характер.

В работе /4/ методом ИК отражения изучалась та же система смешанных кристаллов. Но результаты были отличны от полученных в /2,3/. Система классифицировалась как простая двухмодовая. Причина расхождения, по нашему мнению, состоит в том, что в /4/ измерения проводились на стандартном спектрометре с широкими световыми пучками, для чего требовались образцы больших размеров. Такие образцы набирались как мозаика из отдельных кусочков, возможно, неоднородных по составу. На основании таких измерений трудно было заметить тонкие эффекты перестройки фононов при  $x \rightarrow 0$ .

Но чтобы окончательно убедиться в справедливости выводов /3/, необходимо было исследовать систему  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$  другим независимым методом. Желательно было, чтобы этот метод давал прямую информацию о частотах фононов. Дело в том, что в методе ИК отражения эти частоты получаются косвенно, путем математической обработки спектров  $R(\omega)$ . Указанным требованиям отвечает метод комбинационного рассеяния света (КРС). Однако, изучение интересующей нас системы было затруднено тем, что относящиеся к ней кристаллы непрозрачны для основных линий существующих в настоящее время газовых лазеров. Поэтому необходимо было разработать методику измерения спектров КРС при возбуждении твердотельным ИК лазером  $\text{YAG:Nd}^{3+}$  /5/. Большие трудности пришлось преодолеть для обеспечения надежной регистрации слабого рассеянного излучения в области спектра 1,0+1,2 мкм /6/. Только после решения этих проблем возможно было приступить к изучению системы  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ .

Спектры КРС возбуждались сконструированным нами  $\text{YAG:Nd}^{3+}$  лазером непрерывного действия ( $\lambda = 1,06$  мкм) с шириной линии генерации  $0,4 \text{ см}^{-1}$  и выходной мощностью до 10 Вт /5/. Рассеянный свет наблюдался под углом  $90^\circ$  к возбуждающему. Запись спектров осуществлялась фотоэлектрическим способом. Приемником рассеянного излучения служил охлаждаемый до температуры жидкого азота фотоумножитель ФЭУ-83.

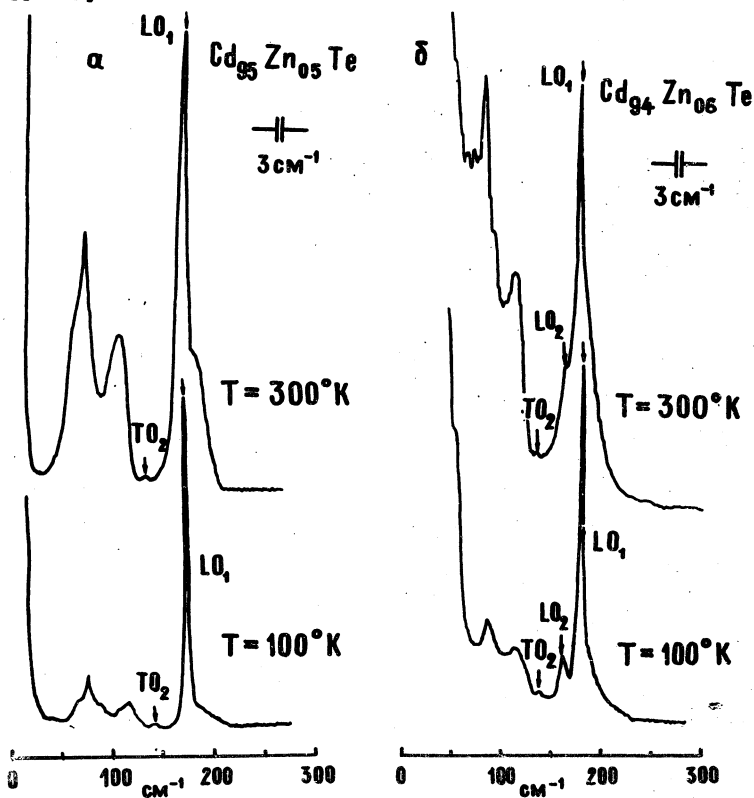
Все кристаллы системы имели структуру типа сфалерита, поэтому в спектрах КРС первого порядка в соединениях  $\text{CdTe}$  и  $\text{ZnTe}$  следовало ожидать появления двух линий, соответствующих двукратно вырожденному поперечному (Т0) колебанию и однократно вырожденному продольному (L0) колебанию. В спектрах КРС первого порядка смешанных кристаллов с  $0 < x < 1$  можно было ожидать появления либо одной, либо двух L0 и Т0 линий, в зависимости от типа поведения данной системы. На рис. 1 представлены спектры КРС некоторых кристаллов системы  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ , снятые при возбуждении линией  $1,06 \text{ мкм}$   $\text{YAG:Na}^{3+}$  лазера. Видно, что спектры обнаруживают довольно сложный характер. Для их идентификации необходимо было отделить полосы первого порядка от полос более высоких порядков. Это делалось по измерениям температурной зависимости их интенсивностей. На рис. 2а представлены спектры КРС кристалла  $\text{Cd}_{0,95}\text{Zn}_{0,05}\text{Te}$ , снятые при двух температурах. Анализ этих зависимостей позволил отнести полосы КРС, отмеченные стрелками, к первому порядку. Частоты линий КРС, полученных для всех составов, представлены на рис. 3 (треугольники - метод КРС, сплошные кривые - из ИК измерений /3/). Видно, что результаты, полученные обоими методами, хорошо согласуются.



Р и с. 1. Спектры КРС кристаллов  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ ;  $T = 300^\circ\text{K}$ ;  $\lambda_0 = 1,06 \text{ мкм}$ . Стрелками обозначены линии, соответствующие процессам рассеяния первого порядка

Зависимости частот оптических колебаний от состава, представленные на рис. 3, обнаруживают явно аномальный характер, заключающийся в том, что с одной стороны, в области промежуточных концентраций система ведет себя как двухмодовая, а с другой стороны, при малых концентрациях атомов  $\text{Zn}$  в  $\text{CdTe}$  не образуется отщепленного локального колебания с частотой, большей частоты

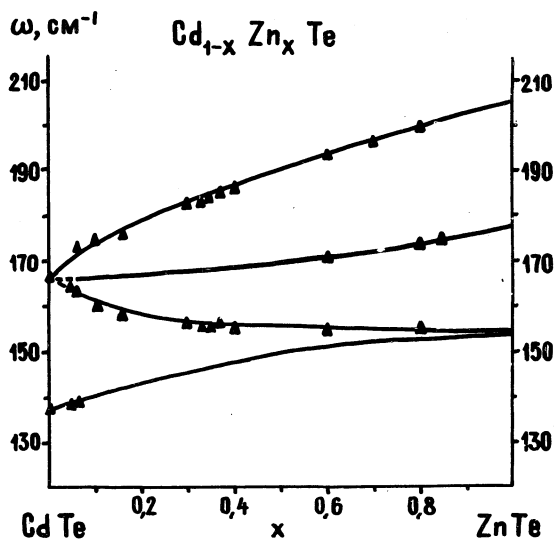
LO фонона в чистом CdTe. Последний факт подтверждает приведенные на рис. 2а,б спектры кристаллов  $Cd_{0,95}Zn_{0,05}Te$  и  $Cd_{0,94}Zn_{0,06}Te$ , снятые при комнатной и близкой к азотной темпе-



Р и с. 2. Спектры КРС кристаллов  $Cd_{1-x}Zn_xTe$ , снятые при  $T = 300^{\circ}K$  и  $T = 100^{\circ}K$ : а)  $x = 0,05$  б)  $x = 0,06$

ратурах. Спектры кристалла  $Cd_{0,95}Zn_{0,05}Te$  не обнаружили примесных колебаний. В спектрах же кристалла  $Cd_{0,94}Zn_{0,06}Te$  наблюдался пик, соответствующий примесному колебанию Zn в CdTe, причем частота его меньше, чем частота продольной моды основной

решетки. Этот факт позволяет заключить, что примесное колебание атомов Zn в CdTe носит резонансный характер. При увеличении концентрации Zn это колебание расщепляется на продольную и поперечную составляющие, причем поперечная ветвь переходит в попе-



Р и с. 3. Зависимость частот оптических фононов от концентрации  $x$  в системе твердых растворов  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ . Сплошные линии - результаты работы /3/;  $\blacktriangle$  - результаты настоящей работы

речное колебание  $\text{ZnTe}$ , а продольная - в щелевое колебание  $\text{Cd}$  в решетке  $\text{ZnTe}$ .

Следует отметить хорошую корреляцию между полученной в /3/ концентрационной зависимостью сил осцилляторов  $f$  длинноволновых колебаний решетки  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$  и интенсивностями соответствующих линий в спектрах КРС (рис. I). Основная закономерность состоит в том, что в спектрах КРС кристаллов всех составов всегда проявляются продольные компоненты колебаний, и только для некоторых составов - поперечные. Это объясняется дополнительным вкладом в случае LO колебаний электростатического взаимодействия, заметно увеличивающего интенсивность КРС. Как показано

в /3/, сила осциллятора  $f_{LO_1}$  ветви  $LO_1$  для всех составов выше, чем  $f_{LO_2}$ . Такая же закономерность наблюдается при сравнении интенсивностей линий КРС: интенсивность линий высокочастотной ветви всегда намного выше, чем низкочастотной. Что касается поперечных компонент, то КРС для ветви  $TO_2$  удалось измерить только для составов с  $x \rightarrow 0$ , для которых согласно /3/ сила осциллятора максимальная. Для ветви же  $TO_1$  полосы КРС проявились только для составов с  $x > 0,5$ , где  $f_{TO_1} > f_{TO_2}$ . Отсюда видно, что метод КРС также подтверждает аномальный характер поведения сил осцилляторов в изучаемой системе.

Таким образом, использование метода КРС позволило прямым способом доказать правомерность выводов /3/ о существовании в системе твердых растворов  $Cd_{1-x}Zn_xTe$  нового типа перестройки колебательных спектров.

Поступила в редакцию  
3 марта 1977 г.

#### Л и т е р а т у р а

1. J. Chang, S. Mitra, *Adv. Phys.*, 20, 359 (1971).
2. Л. К. Водошнянов, Е. А. Виноградов, А. М. Блинов, *ФТТ*, 14, 268 (1972).
3. Л. К. Водошнянов, Е. А. Виноградов, А. Е. Цуркан, Н. И. Витраковский, *Изв. АН МССР, сер. физ.* 3, 36 (1974).
4. H. Narada, S. Narita, *J. Phys. Soc. Japan*, 30, 1628 (1971).
5. Л. К. Водошнянов, В. Г. Михалевич, В. Г. Плотниченко, Г. П. Шипуло, Всесоюзная конф. по комб. рассеянию света, Киев, 1975 г., стр. 92-93.
6. Л. К. Водошнянов, В. Д. Копанев, Л. В. Голубев, В. Г. Плотниченко, *ЖПС*, в печати (1977).
7. Л. К. Водошнянов, Е. А. Виноградов, В. С. Виноградов, *ФТТ*, 16, 849 (1974).