

### Список литературы

[1] Григорчак И. И., Нетяга В. В., Козьмик И. Д., Товстюк К. Д., Ковалюк З. Д., Бахматюк Б. П., Голубь С. Я. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. В. 24. С. 87—90.

Институт проблем машиноведения  
АН Украины  
Черновцы

Поступило в Редакцию  
26 июня 1992 г.

УДК 621.315.592

© Физика твердого тела, том 34, № 11, 1992  
Solid State Physics, vol. 34, № 11, 1992

## МИКРОТВЕРДОСТЬ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $Zn_xCd_yHg_{1-x-y}Te$

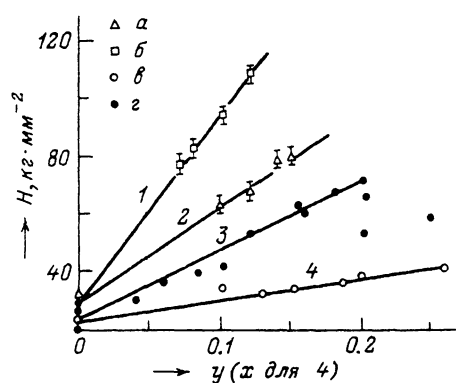
А. М. Андрухив, В. И. Иванов-Омский, П. Г. Сидорчук

Основным материалом ИК-оптоэлектроники являются твердые растворы (ТР)  $Cd_yHg_{1-y}Te$  (КРТ). Однако широкое их использование обнаружило ряд технологических недостатков этого соединения, связанных со слабой устойчивостью относительно образования структурных дефектов при внешних воздействиях. Это вынудило исследователей в последние годы искать среди узкозонных твердых растворов альтернативные материалы, обладающие лучшими механическими свойствами, а значит, являющиеся более технологичными при создании приборных структур на их основе. Как показали недавние теоретические [1] и экспериментальные [2, 3] исследования, предпочтение в этом отношении отдается твердым растворам, содержащим цинк:  $Zn_xHg_{1-x}Te$  (ЦРТ) и  $Zn_xCd_yHg_{1-x-y}Te$  (ЦКРТ). Присутствие атомов цинка позволяет существенно снизить концентрацию собственных дефектов, легко образующихся из-за слабой химической связи Hg—Te [1].

Для оценки механических свойств полупроводниковых материалов нередко служат измерения микротвердости, позволяющие непосредственно судить о механической прочности и дефектности структуры исследуемого соединения. Так, по результатам измерения микротвердости была определена максимальная величина микротвердости ЦРТ, составляющая  $160 \text{ кг/мм}^2$  ( $x=0.7$ ), что более чем вдвое превышает микротвердость КРТ —  $70 \text{ кг/мм}^2$  ( $y=0.7$ ) [4]. Этот результат находится в соответствии с существующими представлениями о прочности химической связи в этих соединениях [1, 2].

В настоящем сообщении приводятся результаты измерения микротвердости эпитаксиальных слоев  $Zn_xCd_yHg_{1-x-y}Te$ , выращенных методом жидкофазной эпитаксии. Измерения проводились с помощью микротвердометра ПМТ-3, в котором алмазная головка индентора имеет угол между противоположащими гранями при вершине  $136^\circ$ . Нагрузки на алмазную пирамиду не превышали 20 г, что обусловлено учетом небольшой толщины эпитаксиальных слоев (20—40 мкм). Каждое значение микротвердости определялось в результате усреднения не менее пяти измерений в разных точках образца. Эпитаксиальные слои  $Zn_xCd_yHg_{1-x-y}Te$  были получены выращиванием из теллурических растворов методом ступенчатого охлаждения в закрытой системе на подложках  $(III)B Cd_{1-w}Zn_wTe$  ( $0 < w < 0.12$ ) [5]. Состав выращенных слоев определялся с помощью рентгеновского микроанализатора «САМЕВАХ» и находился в пределах  $0.11 < x < 0.20$  и  $0.07 < y < 0.16$  ( $100 < E_g < 400 \text{ мэВ}$ ).

Результаты измерений микротвердости ТР  $Zn_xCd_yHg_{1-x-y}Te$  для двух составов по цинку  $x=0.07$  и  $x=0.11$ , а также литературные данные по микро-



Зависимость микротвердости ТР  $Zn_xCd_yHg_{1-x-y}Te$  (а) и  $Zn_xHg_{1-x}Te$  (з) от состава. 1 —  $x=0.17$  (ЦКРТ), 2 —  $x=0.11$  (ЦКРТ), 3 — ЦРТ, 4 — КРТ.

твердости для тройных систем КРТ и ЦРТ [4] в зависимости от состава приведены на рисунке. Вертикальные штрихи указывают величину погрешности по данным пяти измерений. Видно, что значения микротвердости ЦКРТ в исследуемом диапазоне составов превышают соответствующие значения КРТ и ЦРТ. Это подтверждает предположение о стабилизирующем влиянии цинка на кристаллическую решетку КРТ [1].

Известно [2], что рост ковалентной составляющей химической связи, а значит, и уменьшение ионности связи, приводит к упрочнению кристаллической решетки материала. Эту закономерность можно продемонстрировать на примере бинарных соединений-теллуридов Hg, Cd и Zn (см. таблицу). Теллурид цинка, как видно, имеет наименьшую длину связи Zn—Te, наименьший параметр ионности, но наибольшую энергию связи и микротвердость.

Параметры, характеризующие прочность химических связей у теллуридов Hg, Cd и Zn

Соединение	Длина связи, А	Параметр ионности	Энергия связи, эВ	Микротвердость, кг/мм <sup>2</sup>
HgTe	2.791	0.52	2.85	23—37
CdTe	2.794	0.56	4.30	45—60
ZnTe	2.646	0.49	4.70	60—90

При образовании твердых растворов КРТ и ЦРТ в результате замещения атомов ртути в катионной подрешетке атомами кадмия и цинка степень ионности уменьшается, а микротвердость увеличивается, достигая максимума при определенном составе ( $x, y=0.7$ ). При образовании четверного твердого раствора ЦКРТ появляется дополнительная степень свободы для конструирования еще более стабильной кристаллической решетки. Происходит своеобразное самосогласование в размещении катионов в решетке четверного твердого раствора, что приводит к стабильной конфигурации с крепкими связями. При этом кристаллическая решетка становится более совершенной, так как энергия образования собственных дефектов увеличивается, а твердость кристалла возрастает. О структурном совершенстве выращенных слоев свидетельствуют высокие значения добротности циклотронного резонанса, исследованного на этих образцах [6]. Представленные данные наглядно свидетельствуют о стабилизирующем действии на кристаллическую решетку совместного введения трех типов катионов. Можно полагать, что это обстоятельство существенным образом может сказаться на фотоэлектрических свойствах приборов, изготавливаемых на основе узкощелевых полупроводников.

#### Список литературы

- [1] Sher A., Chen A.-B., Spicer W. E., Shih C.-K. // J. Vac. Sci. Technol. 1985. V. 3. N 1. P. 105—111.
- [2] Triboulet R. // J. Cryst. Growth. 1988. V. 86. P. 79—86.
- [3] Kaizer D. L., Becla P. // Mat. Res. Symp. Proc. 1987. V. 90. P. 397—403.
- [4] Fang S., Farthing L. J., Tang M.-F. S., Stevenson D. A. // J. Vac. Sci. Technol. A. 1990. V. 8. № 2. P. 1120—1126.

- [5] Андрухив А. М., Иванов-Омский В. И., Миронов К. Е. // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. В. 13. С. 57—62.  
[6] Андрухив А. М., Иванов-Омский В. И., Миронов К. Е., Цыпишка Д. И. // Письма в ЖТФ. 1991. Т. 17. В. 19. С. 55—58.

Физико-технический институт  
им. А. Ф. Иоффе РАН  
Санкт-Петербург

Поступило в Редакцию  
6 июля 1992 г.

УДК 546.65—16:537.31

© Физика твердого тела, том 34, № 11, 1992  
Solid State Physics, vol. 34, № 11, 1992

## ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЕ И ТЕРМОЭДС МОНОСУЛЬФИДА ИТТЕРБИЯ ПРИ СВЕРХВЫСОКОМ ДАВЛЕНИИ ДО 20 ГПа

В. В. Щенников, Н. Н. Степанов

Моносulfид иттербия наравне с монохалькогенидами других двухвалентных редкоземельных металлов ( $MeX$ , где  $Me = Sm, Eu, Yb$  и  $Tm$  в случае  $TmTe$ ;  $X = S, Se, Te$  и  $O$  в случае  $EuO$ ) претерпевает под действием всестороннего сжатия изоструктурное фазовое превращение типа  $NaCl-NaCl$  [1]. По мнению авторов [1], изоструктурный фазовый переход в  $YbS$ , начинающийся при давлении  $P \approx 15$  ГПа, простирается на область  $P$  до 20 ГПа и обусловлен постепенным переходом ионов  $Yb$  из двух- в трехвалентное состояние. Однако, согласно данным исследований  $L_{III}$ -абсорбционных рентгеновских спектров  $YbS$ , под давлением до 34 ГПа [2] в указанном соединении уже при  $P = 9$  ГПа происходит переход катионов в состояние переменной валентности (СПВ), причем последнее сохраняет устойчивость и в области  $P$ , превышающей 34 ГПа. Сопоставительный анализ экспериментальных данных по изучению влияния давления на кристаллическую структуру и электрические свойства  $MeX$  [1–11] позволяет выдвинуть предположение, что под давлением в  $YbS$  происходят последовательно два фазовых перехода: первый — в СПВ ионов  $Yb$  и второй — изоструктурный фазовый переход с сохранением СПВ катионов. Следует, по-видимому, ожидать, что второй фазовый переход в  $YbS$  будет сопровождаться резкими изменениями его электрических свойств, подобно тому как это происходит в  $EuO$  [6, 11].

С целью проверки этого предположения в настоящей работе проводились исследования барических зависимостей электросопротивления ( $R$ ) и термоэдс ( $S$ ) монокристаллов  $YbS$  в диапазоне  $P$  до 20 ГПа.

Образцы для исследований в форме дисков диаметром 0.2 и высотой 0.1 мм выкальвались из слитков, полученных методом направленной кристаллизации из расплава [12] и аттестованных с помощью рентгеновского и химического анализов. 1

Измерения  $R$  и  $S$   $YbS$  выполнялись в камерах высокого давления с пуансонами из синтетических алмазов с диаметром рабочих площадок 0.8 мм [11, 13]. Изменение давления в камерах проводили как ступенчато, так и непрерывно. Величину генерируемого давления определяли из градуировочных графиков, построенных для каждой камеры по фазовым переходам в реперных веществах [14]. В экспериментах с непрерывным изменением давления на двухкоординатном потенциометре записывались зависимости логарифма сопротивления

<sup>1</sup> На монокристаллических образцах  $YbS$ , выколотых из этих же слитков, проводились исследования в [9].