

- [3] Изюмов Ю. А., Летфулов Б. М., Шипицын Е. В. // ФТТ. 1990. Т. 32. № 5. С. 1561—1563.  
 [4] Vedyayev A. V., Kondorskii E. A., Mizia E. // Phys. Stat. Sol. (b). 1975. V. 72. N 1. P. 205—209.  
 [5] Повзнер А. А., Абельский Ш. Ш. // ФТТ. 1981. Т. 23. № 12. С. 3697—3698.  
 [6] Повзнер А. А., Волков А. Г. // ФТТ. 1990. Т. 32. № 3. С. 657—661.

Уральский политехнический институт  
 им. С. М. Кирова  
 Екатеринбург

Поступило в Редакцию  
 19 февраля 1992 г.

УДК 621.315.592

© Физика твердого тела, том 34, № 7, 1992  
 Solid State Physics, vol. 34, N 7, 1992

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ В СИСТЕМЕ CdTe—MnTe—MgTe

Г. К. Аверкиева, М. Е. Бойко, Н. Н. Константинова,  
 Т. Б. Нопова, В. Д. Прочухан, Ю. В. Рудь

Разбавленные магнитные полупроводники, образующиеся по разрезам  $A^2V^6$ — $MnV^6$  (где  $A = Cd, Zn$ ;  $V = S, Se, Te$ ), представляют практический интерес и в настоящее время интенсивно изучаются [1]. В частности, изучается разрез CdTe—MnTe, по которому образуются твердые растворы  $Cd_{1-x}Mn_xTe$  со структурой цинковой обманки [2, 3]. В таких твердых растворах с небольшими концентрациями анионов было установлено существование при низких температурах связанных магнитных поляронов. Однако при увеличении концентрации Mn увеличивается вероятность ближайшего соседства ионов  $Mn^{2+}$ , приводящего к их антиферромагнитному взаимодействию и подавлению поляронного эффекта [2, 3]. Расчеты авторов [2] показали, что устранение антиферромагнитного взаимодействия ионов  $Mn^{2+}$  при образовании слоистой структуры с упорядоченным расположением упомянутых ионов могло бы привести к сохранению поляронов вплоть до 200 К, что весьма важно для практических применений. Цитированные авторы высказали также предположение о перспективности синтеза сплавов со структурой станнита, где расстояние между ионами  $Mn^{2+}$  могло бы быть в  $\sqrt{2}$  раз больше, чем в неупорядоченных твердых растворах  $Cd_{1-x}Mn_xTe$  со структурой цинковой обманки.

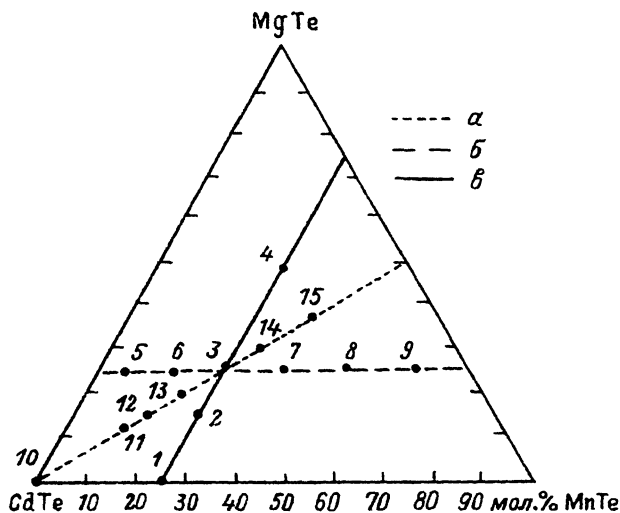
Исходя из того что структура станнита формируется из четырех компонентов разной химической природы, мы исследовали разбавленные магнитные полупроводники, образующиеся в системе CdTe—MnTe—MgTe по разрезам  $Cd_{0.75-x}Mn_{0.25}Mg_xTe$ ,  $Cd_{0.75-x}Mn_xMg_{0.25}Te$  и  $Cd_{1-2x}Mn_xMg_xTe$  (см. рисунок).

Перед синтезом твердых растворов нами проводилась дополнительная очистка марганца по предложенной автором [4] методике кристаллизации MnTe из избытка Te в графитовой контейнере.

Используя очищенный MnTe, мы синтезировали ряд твердых растворов системы CdTe—MnTe—MgTe по указанным выше разрезам. Синтез проводился в тиглях из стеклоглуглера, находящихся в эвакуированных кварцевых ампулах.

Для выращивания монокристаллов твердых растворов, плавящихся ниже 1100 °С, мы использовали метод Бриджмена при скорости протягивания 1.75 мм/ч, а для более тугоплавких — метод зонной плавки в градиенте температуры с использованием теллура в качестве растворителя.

Из средней части полученных слитков выкалывались подлежащие исследованию монокристаллические блоки, химический состав которых контролировался



Разрезы  $Cd_{0.75-x}Mn_{0.25}Mg_xTe$  (а),  $Cd_{0.75-x}Mn_xMg_{0.25}Te$  (б),  $Cd_{1-2x}Mn_xMg_xTe$  (в).

с помощью микрорентгеновского анализа. Было установлено, что в средней части слитков состав несколько обогащается теллуридом магния относительно теллуридов кадмия и марганца в исходной шихте, однако эти отклонения не превышали 5 мол. %.

На образцах с установленным химическим составом были выполнены рентгеноструктурные и оптические исследования, результаты которых приведены в таблице. Как видно из этой таблицы, сплавы, богатые теллуридом кадмия, кристаллизуются в кубической структуре, а при уменьшении концентрации CdTe примерно до 25 мол. % происходит концентрационный фазовый переход с образованием гексагональной структуры. Причем соединения, закристаллизованные в кубической структуре, представляли собой монокристаллы с углом мозаичности  $0.05-0.2^\circ$ , хорошо

Свойства твердых растворов в системе CdTe—MnTe—MgTe

| Разрез                       | №  | x     | Структура      | Параметр решетки<br>$\pm 0.005 \text{ \AA}$ | $\Delta E_{\text{опт.}}$ эВ<br>$\pm 0.05 \text{ эВ}$ |
|------------------------------|----|-------|----------------|---|--|
| $Cd_{0.75-x}Mn_{0.25}Mg_xTe$ | 1  | 0     | Кубическая     | 6.441                                       | 1.92   |
|                              | 2  | 0.15  | »              | 6.439                                       | 2.06   |
|                              | 3  | 0.25  | »              | 6.421                                       | 2.15   |
|                              | 4  | 0.5   | Гексагональная | $a = 4.511$<br>$c = 7.281$                  | 2.15   |
| $Cd_{0.75-x}Mn_xMg_{0.25}Te$ | 5  | 0.05  | Кубическая     | 6.455                                       | 1.86   |
|                              | 6  | 0.15  | »              | 6.421                                       | 2.08   |
|                              | 3  | 0.25  | »              | 6.421                                       | 2.15   |
|                              | 7  | 0.375 | »              | 6.416                                       | 2.22   |
|                              | 8  | 0.5   | »              | 6.410                                       | 2.13   |
|                              | 9  | 0.65  | Гексагональная | $a = 4.510$<br>$c = 7.265$                  | 2.09   |
| $Cd_{1-2x}Mn_xMg_xTe$        | 10 | 0     | Кубическая     | 6.478                                       | 1.50   |
|                              | 11 | 0.125 | »              | 6.454                                       | 1.75   |
|                              | 12 | 0.15  | »              | 6.454                                       | 1.88   |
|                              | 13 | 0.2   | »              | 6.436                                       | 2.12   |
|                              | 3  | 0.25  | »              | 6.421                                       | 2.15   |
|                              | 14 | 0.3   | »              | 6.421                                       | 2.25   |
|                              | 15 | 0.375 | Гексагональная | $a = 4.508$<br>$c = 7.256$                  | 2.33   |

раскалывающиеся по плоскостям спайности (110), как и у большинства соединений  $A^2B^6$ .

Как известно, на разрезе  $Cd_{1-x}Mg_xTe$  структура сфалерита также сохраняется по крайней мере до  $x \approx 0.6$  [5], а на разрезе  $Cd_{1-x}Mn_xTe$  — до  $x \approx 0.77$  [1].

Таким образом, в системе твердых растворов  $CdTe-MnTe-MgTe$  упорядочение катионов по типу станнита не было обнаружено и было установлено, что исследуемой сложной системе присущи те же закономерности изменения параметров решетки сфалерита, что и подсистемам  $Cd-Mn-Te$  и  $Cd-Mg-Te$ : с уменьшением концентрации  $CdTe$  параметр решетки уменьшается.

Ширину запрещенной зоны полученных материалов оценивали из спектральных зависимостей коэффициента оптического поглощения по началу его резкого увеличения. Было установлено, что ширина запрещенной зоны  $\Delta E_{\text{опт}}^{300\text{K}}$  твердых растворов в системе  $CdTe-MnTe-MgTe$  при уменьшении концентрации  $CdTe$ , как правило, возрастает, во всяком случае в области существования кубической структуры. Используя данные авторов [6, 7], можно путем экстраполяции вычислить ширину запрещенной зоны  $MgTe$  и  $MnTe$  в кубической структуре  $CdTe$ , что приводит к величинам  $\Delta E_{MgTe}^{ky6} \approx 2.75$  и  $\Delta E_{MnTe}^{ky6} \approx 3.0$  эВ. Следует заметить, что  $MnTe$ , экспериментально полученный авторами [8] в структуре сфалерита, имел ширину запрещенной зоны  $\Delta E \approx 3.2$  эВ.

Таким образом, закономерности изменения ширины запрещенной зоны твердых растворов в подсистемах  $Cd-Mn-Te$  и  $Cd-Mg-Te$  характерны и для системы  $CdTe-MnTe-MgTe$ .

Авторы благодарят О. В. Корнякову за помощь в определении химического состава исследуемых твердых растворов.

#### Список литературы

- [1] Giriat W., Furdyna J. K. // *Semicond. and Semimet.* 1988. V. 25. P. 1—33.
- [2] Ram-Mohan L. R., Wolff P. A. // *Phys. Rev. B.* 1988. V. 38. N 2. P. 1330—1339.
- [3] Bobonas G., Galazka R. R., Pukinskas G. // *Phys. Stat. Sol. B.* 1989. V. 154. P. 389—395.
- [4] Triboulet R., Dider G. // *J. Cryst. Growth.* 1981. V. 52. Pt 2. P. 614—618.
- [5] Ахонян А. П., Витриховский Н. И., Горягдыев Г., Городецкий И. Я., Корсунская Н. Е., Нуриягдыев О. // *УФЖ.* 1985. Т. 30. № 9. С. 1412—1416.
- [6] Yamamoto R., Itoh K. // *Jap. J. Appl. Phys.* 1969. V. 8. N 3. P. 341—347.
- [7] Furdyna J. K. // *J. Vac. Sci. Technol.* 1986. V. A4. N 4. P. 2002—2009.
- [8] Durbin S. M., Han J., Sungki O., Kabayashi M., Menke D. R., Gunshor R. L., Pelekanos M., Nurmikko A. V., Li D., Gonsalves J., Otsuka N. // *Appl. Phys. Lett.* 2. 1989. V. 55. N 20. P. 2087—2089.

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

Поступило в Редакцию  
3 марта 1992 г.