

МАГНИТНАЯ ВОСПРИИМЧИВОСТЬ КРИСТАЛЛОВ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $(\text{InSb})_{1-x}(\text{CdTe})_x$

© А.В.Бродовой, В.А.Бродовой, Н.Г.Вялый,
Л.М.Кнорозок, В.Г.Колесниченко

Нежинский государственный педагогический институт,
251200 Нежин, Украина

(Поступила в Редакцию 6 марта 1995 г.

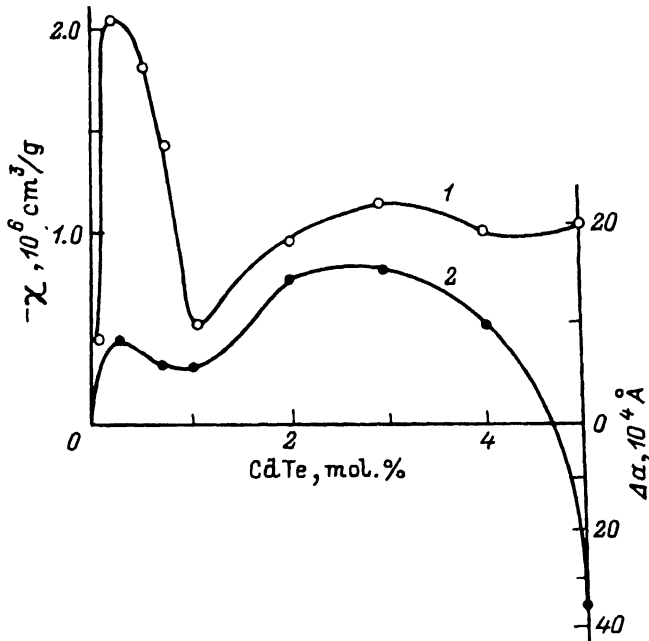
В окончательной редакции 22 января 1996 г.)

Известно, что величина параметра решетки твердых растворов (ТР) полупроводниковых кристаллов изменяется приблизительно линейно между двумя значениями постоянных решетки исходных материалов (закон Вегарда). Однако для ряда ТР закон Вегарда существенно не выполняется. К таким ТР относятся, в частности, кристаллы, выращенные при смешивании соединений с ограниченной растворимостью компонентов. По имеющимся данным в сплавах системы $\text{InSb}-\text{CdTe}$ растворимость CdTe в InSb составляет не более 5 mol. ($N_{\text{CdTe}} \leq 5 \text{ mol.}\%$) [1,2].

Для получения информации о характере взаимодействия смешиваемых соединений и влиянии этого взаимодействия на зонные параметры и кристаллическую структуру сплавов в настоящей работе выполнены исследования магнитной восприимчивости (МВ) кристаллов ТР $(\text{InSb})_{1-x}(\text{CdTe})_x$ в зависимости от состава и температуры (x — мольная доля CdTe в ТР). Отметим, что подобные исследования МВ узкощелевых ТР $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$, $\text{Cd}_{1-x}\text{Hg}_x\text{Te}$ ранее выполнены в [3,4].

Образцы для измерений были получены направленной кристаллизацией расплава InSb , содержащего Cd и Te в эквимолярном соотношении и заданных концентрациях. Гомогенность кристаллов и их химический состав тщательно контролировались. Все образцы были n -типа. Измерения МВ выполнялись относительным методом Фарадея с помощью электронных микровесов по методике, описанной в [5]. Погрешность измерений МВ составляла около 2%. Рентгенографические исследования проводились методом Дебая–Шерера. Постоянная решетки кристаллов ТР измерялась с точностью до 10^{-4} \AA .

МВ образцов всех составов носила диамагнитный характер и в интервале температур 77–300 К практически не зависела от температуры. На рисунке (кривая 1) представлена экспериментально измеренная зависимость МВ от состава ТР $(\text{InSb})_{1-x}(\text{CdTe})_x$ при 300 К. Видно, что кривая χN_{CdTe} имеет сложный немонотонный характер.



Зависимость магнитной восприимчивости (1) и постоянной решетки (2) от состава твердых растворов $(\text{InSb})_{1-x}(\text{CdTe})_x$.

Известно, что МВ кристаллов, не имеющих собственного магнитного момента, представляет собой сумму вкладов МВ кристаллической решетки χ_L и паулиевского парамагнетизма носителей заряда χ_e (в данном случае электронов). МВ электронов и ее зависимость от концентрации и состава ТР детально рассмотрены в [6] на основе теории Завадского [7]. В [7] получено выражение для диамагнитной (Ландау-Пайерлса) и парамагнитной (Паули) составляющих МВ электронов для случая произвольного закона дисперсии и сферических изоэнергетических поверхностей. Результаты расчетов МВ электронов ТР $(\text{InSb})_{1-x}(\text{CdTe})_x$ для всех составов в пределах $0 \leq N_{\text{CdTe}} \leq 5 \text{ mol.}\%$ дали значение $\chi_e \sim 10^{-8}$, что на два порядка меньше экспериментально наблюдаемого значения χ . Это дает основание предположить, что основную роль в МВ ТР $(\text{InSb})_{1-x}(\text{CdTe})_x$ играет составляющая χ_L .

В свою очередь χ_L можно представить в виде суммы вкладов диамагнетизма ионного остова и ван-Флекавского парамагнетизма. Диамагнитная компонента χ_L должна быть, примерно, одинакова для всех составов (из-за малости χ). Наблюдаемую экспериментально сложную зависимость МВ ТР от состава, по-видимому, можно связать с изменением парамагнетизма Ван-Флека [8], который в сильной степени чувствителен к искажениям кристаллической решетки. Отметим, что подобная ситуация наблюдалась авторами [9] для ТР $\text{Cd}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Te}_{1-y}\text{Se}_y$. Корреляция между $\chi_L(N_{\text{CdTe}})$ и изменением постоянной решетки $\Delta a(N_{\text{CdTe}})$ следует из сопоставления кривых 1 и 2 на рисунке ($\Delta a(N_{\text{CdTe}}) = a_x - a_{\text{InSb}}$, где a_x, a_{InSb} — постоянные решет-

ки сплавов и чистого InSb соответственно). Видно, что растяжение решетки вызывает рост $\chi(N_{\text{CdTe}})$ (области составов $N_{\text{CdTe}} = 0.25$ и 2–3 mol.%). Тогда как сжатие приводит к уменьшению МВ (области составов $N_{\text{CdTe}} = 1$ и 4 mol.%). Исключение составляет лишь область вблизи предельной растворимости CdTe в InSb ($N_{\text{CdTe}} = 5$ mol.%), где сильное уменьшение постоянной решетки не приводит к изменению χ .

Твердый раствор $(\text{InSb})_{1-x}(\text{CdTe})_x$ является примером неупорядоченной системы, в которой конфигурационный беспорядок реализуется в анионной и катионной подрешетках. Известно, что атомы Te и Cd входят в решетку антимонида индия на места Sb и In соответственно и определяют электронный (Te) или дырочный (Cd) тип проводимости кристаллов InSb. Тетраэдрические радиусы взаимодействующих атомов равны $R_{\text{Te}} = 1.32 \text{ \AA}$ и $R_{\text{Sb}} = 1.36 \text{ \AA}$, тогда как $R_{\text{Cd}} = 1.48 \text{ \AA}$, а $R_{\text{In}} = 1.44 \text{ \AA}$ [10]. Ионные радиусы $R_{\text{Te}^{2-}} = 0.5 \text{ \AA}$ [11] и $R_{\text{Cd}^{2+}} = 1.8 \text{ \AA}$ (по нашим оценкам). Далее напомним, что из четырех взаимодействующих элементов наиболее низкие температуры кипения и наиболее высокие упругости паров имеет кадмий [12]. Это может привести к потерям некоторого количества кадмия при синтезе. По этой причине, а также из-за различия тетраэдрических и ионных радиусов при одновременном и одинаковом легировании содержание в ГР положительных ионов теллура (малого радиуса) будет превышать концентрацию акцепторных примесей кадмия. Можно предположить, что наличие избыточных ионов теллура на местах сурьмы приведет к хаотическому растяжению решетки и увеличению Δa ($N_{\text{CdTe}} = 0.25$ mol.%). С ростом степени легирования по мере увеличения содержания в растворе отрицательных ионов кадмия будут происходить хаотическое сжатие решетки в местах, не занятых кадмием, и уменьшение Δa ($N_{\text{CdTe}} = 1$ mol.%).

Широкий максимум на зависимости $\Delta a(N_{\text{CdTe}})$ ($1 < N_{\text{CdTe}} < 4$ mol.%) можно связать с образованием в растворе больших концентраций нейтральных комплексов типа In_2Te_3 , состоящих из трех ионов Te^+ на местах Sb, двух атомов In и отрицательно заряженной вакансии In [13]. В этом случае замена трех атомов Sb ионами Te^+ приведет к расширению решетки, тогда как заполнение вакансий In ионами Cd^- — к ее сжатию. Суммарный эффект обусловлен превышением расширения над сжатием.

Дальнейшее сжатие решетки ($N_{\text{CdTe}} > 4$ mol.%), по-видимому, вызвано возникновением в расплаве нейтральных молекул $(\text{CdTe})^0$ с постоянной решетки, практически совпадающей с постоянной решетки InSb [2,10]. Однако значительное различие ионных составляющих химической связи двух соединений (InSb — 0.46, CdTe — 0.67) может привести к сильной деформации решетки сплавов, которая проявится как сжатие.

Список литературы

- [1] Хабаров Э.Н., Маровский П.В. ДАН СССР, 155, 3, 542 (1964).
- [2] Анищенко В.А., Бродовой В.А., Вялый Н.Г., Викулов В.А., Кнорозок Л.М. Неорган. материалы 29, 2, 197 (1993).
- [3] Фальковский Л.А., Бродовой А.В., Лашкарев Г.В. ЖЭТФ 8, 1, 333 (1981).
- [4] Лашкарев Г.В., Бродовой А.В., Радченко М.В., Мирец А.Л., Паранская Е.С., Никитин М.С., Растегин Ю.И., Колесник С.П. ФТП 26, 10, 1768 (1992).

- [5] Lashkarev G., Migley D., Shevchenko A., Tovstyuk K. Phys. Stat. Sol. (b) **63**, 663 (1974).
- [6] Бродовой А.В., Бродовой В.А., Вялый Н.Г., Кнорозок Л.М., Мирец А.Л. Науч. зап. Нежин. пединститута. Сер. физ.-мат. наук **14**, 73 (1994).
- [7] Zawadski W. Phys Stat. Sol. (b) **3**, 1421 (1963).
- [8] Дорфман Я.Г. Диамagnetизм и химическая связь. М. (1961). 243 с.
- [9] Galazka R. Proc. of the Int. Conf. on II-VI Semicond. and Semimagnet. Semicond. Linz. Austria (1994). P. 22.
- [10] Баранский П.И., Клочков В.П., Потыкевич И.В. Полупроводниковая электроника. Справочник. Киев (1975). 682 с.
- [11] Григорович В.К. Периодический закон Менделеева и электронное строение металлов. М. (1961). 279 с.
- [12] Дешман С. Научные основы вакуумной техники. М. (1964). 700 с.
- [13] Крегер Ф. Химия несовершенных кристаллов. М. (1969). 644 с.