

vić Z., Todorović J.//Phys. Stat. Sol. (a). 1972. 9. P. 97. [6] Таммаев С. Т., Валиев Х. Х., Иркаев С. М., Кузьмин Р. Н.//ФММ. 1974. 37. С. 285. [7] De Groot R. A., van der Kraan A. M., Buschow K. H. J.//J. Magn. and Magn. Mat. 1986. 61. P. 330. [8] Otto M. J., Feil H., van Woerden R. A. M. et al.//Ibid. 1987. 70. P. 33.

Поступила в редакцию
29.07.88

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1989. Т. 30, № 5

УДК 621.315.592

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ В ТВЕРДОМ РАСТВОРЕ $Pb_{1-x}Sn_xTe_{1-y}Se_y$

Е. Н. Королева, А. И. Лебедев, И. А. Случинская

(кафедра физики полупроводников)

В электрических исследованиях кристаллов $Pb_{1-x}Sn_xTe_{1-y}Se_y$ с $x \leq 0,2$ обнаружено появление фазового перехода при замещении теллура на селен. Оно объясняется кооперативным движением нецентральных атомов Sn в условиях, когда их туннельное движение подавлено в результате анионного замещения.

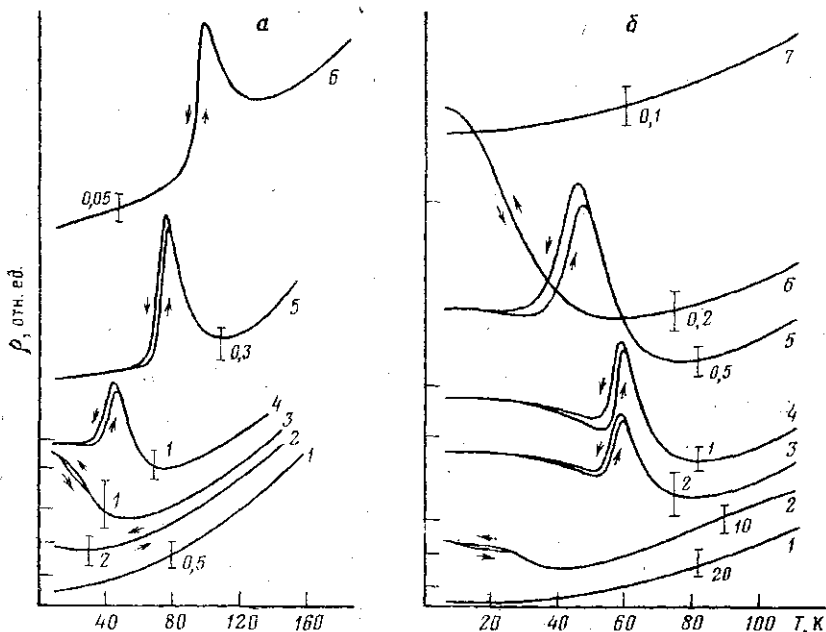
В настоящее время все большее внимание уделяется исследованию многокомпонентных твердых растворов полупроводников группы A^4B^6 . Малоизученными свойствами этих кристаллов являются низкотемпературные фазовые переходы (ФП), существенно изменяющие их электронную структуру и физические свойства. В работах [1—3] нами были изучены особенности протекания сегнетоэлектрических ФП в четверных твердых растворах, содержащих атомы нецентральных примесей (Ge и S в PbTe, Ge в PbSe). Было показано, что введение четвертого компонента в большинство тройных твердых растворов с нецентральными примесями (НП) приводит к понижению температуры ФП $T_{ср}$, а в некоторых случаях совсем подавляет ФП. Такое поведение этих кристаллов объяснялось в [1, 2] влиянием замороженных случайных полей, возникающих из-за нарушения симметрии окружения НП атомами, входящими в состав твердого раствора. В настоящем сообщении мы покажем, что в твердом растворе $Pb_{1-x}Sn_xTe_{1-y}Se_y$ наблюдается качественно иной тип поведения температуры ФП при изменении состава твердого раствора, хотя свойства образцов с невысоким содержанием олова очень напоминают свойства других четверных твердых растворов, содержащих атомы НП.

Приступая к изучению твердых растворов $Pb_{1-x}Sn_xTe_{1-y}Se_y$ с невысокой концентрацией олова ($x \leq 0,2$), мы полагали (исходя из отсутствия надежно установленных низкотемпературных ФП в тройных твердых растворах $Pb_{1-x}Sn_xTe$ и $Pb_{1-x}Sn_xSe$ с $x \leq 0,2$), что эта система может служить примером системы, в которой нет низкотемпературного ФП. Косвенные данные [4, 5], которые могли указывать на возможность появления ФП в этих кристаллах, относились к образцам с высоким содержанием олова ($x \geq 0,5$). К нашему удивлению, уже первые эксперименты на образцах с $x < 0,2$ обнаружили ряд особенностей, которые могли указывать на происходящие в образцах ФП. Эти результаты стимулировали постановку систематических исследований кристаллов $Pb_{1-x}Sn_xTe_{1-y}Se_y$.

Исследования электрических свойств кристаллов $Pb_{1-x}Sn_xTe_{1-y}Se_y$ проводились на литых поликристаллических образцах, подвергнутых гомогенизирующему отжигу при 610—640°С в течение 60—160 ч. Возможность изучения ФП на поликристаллических образцах твердых растворов полупроводников группы A^4B^6 была показана в работе [6]; контрольные опыты, выполненные на выращенных из пара монокристаллах $Pb_{1-x}Sn_xTe_{1-y}Se_y$, подтвердили это. В настоящей работе мы обобщим результаты, полученные на образцах, составленных по двум разрезам: 1) с постоянным значением $y = 0,5$ и значением x , изменявшимся в пределах от 0 до 0,5, и 2) с постоянным значением $x = 0,2$ и значением y , изменявшимся в пределах от 0 до 1.

Температурные зависимости удельного сопротивления $\rho(T)$ для образцов, составленных по двум разрезам, показаны на рисунке. Введение небольших количеств олова в образцы с фиксированным y (рисунок, а) приводит к появлению дополнительного низкотемпературного рассеяния, которое мы объясняем возникновением в кристаллах неупорядоченной дипольной структуры [2, 3]. При возрастании x интенсивность этого рассеяния сначала увеличивается, а затем, когда появляется пик ано-

мального рассеяния (связанный с рассеянием электронов на флуктуациях поляризации вблизи T_c), быстро уменьшается и исчезает. Пик аномального рассеяния наблюдается в образцах обоих типов проводимости. В области этого пика на кривых $\rho(T)$, записанных при нагревании и охлаждении, наблюдается небольшой гистерезис, величина которого уменьшается с ростом x .



Зависимости $\rho(T)$ для образцов $Pb_{1-x}Sn_xTe_{1-y}Se_y$. а — Образцы с постоянным значением $y=0,5$ и $x=0$ (1); 0,05 (2); 0,125 (3); 0,2 (4); 0,35 (5) и 0,5 (6). Образцы n -типа (1—4) и p -типа (5, 6). Холловская концентрация носителей при 77 К (в 10^{16} см^{-3}): 1,9 (1); 1,5 (2); 0,39 (3); 0,48 (4); 1,6 (5) и 8,4 (6). б — Образцы с постоянным значением $x=0,2$ и $y=0$ (1); 0,05 (2); 0,25 (3); 0,33 (4); 0,5 (5); 0,67 (6) и 0,83 (7). Все образцы n -типа; холловская концентрация электронов при 77 К (в 10^{17} см^{-3}): 0,13 (1); 0,66 (2); 1,6 (3); 1,7 (4); 4,8 (5); 9,0 (6) и 15 (7). Кривые произвольно смещены по вертикальной оси; для каждой из них указаны начало отсчета и масштаб по вертикальной оси (в $\text{мОм}\cdot\text{см}$). Стрелками указано направление изменения температуры при записи кривых

Исследование разреза с фиксированным содержанием олова (рисунок, б) убедительно доказывает, что низкотемпературный ФП в кристаллах с малым x характерен именно для четверных твердых растворов $Pb_{1-x}Sn_xTe_{1-y}Se_y$; в предельных случаях $y \rightarrow 0$ и $y \rightarrow 1$ (в тройных твердых растворах) он не наблюдается. Таким образом, вместо подавления ФП при добавлении в твердый раствор четвертого компонента, которое мы наблюдали в [1, 2, 7], в случае кристаллов $Pb_{1-x}Sn_xTe_{1-y}Se_y$ мы сталкиваемся с обратным эффектом.

Обсудим обнаруженную в кристаллах $Pb_{1-x}Sn_xTe_{1-y}Se_y$ необычную зависимость температуры ФП от состава кристалла. Наблюдаемые нами закономерности изменения рассеяния при введении олова были полностью идентичны тем, которые наблюдались ранее при введении нецентральные атомов Ge в PbSe и $PbSe_{1-x}Te_x$ [3, 8]. В пользу того, чтобы отнести ФП в исследуемых кристаллах к переходам типа порядок—беспорядок, свидетельствуют также обнаруженный в них эффект «закалки» [9] (появление и динамику которого трудно объяснить в модели перехода типа смещения) и нелинейная зависимость $T_c(x)$, неплохо описываемая формулой $T_c = 178(x-x_c)^{2/3}$ с $x_c=0,06$. Таким образом, эти свойства кристаллов свидетельствуют в пользу существования в них НП, в роли которых, по-видимому, выступают атомы Sn. Появление нецентральности Sn не кажется удивительным, поскольку уже

давно [10] обнаружено квадрупольное расщепление мёссбауэровской линии ^{119}Sn в $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$; интерпретация этих данных, однако, оставалась неоднозначной, так как такое же расщепление могло быть вызвано и нарушением симметрии локального окружения атомов олова.

Проявление нецентральности атомов Sn в условиях замещения Te на Se мы объясняем следующим образом. Мы считаем, что в $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$ атомы олова занимают нецентральные положения в комплексах (SnTe_6) , однако из-за высокого темпа туннельных перескоков между эквивалентными положениями их упорядочение при низкой температуре и малых x невозможно. Замещение части атомов Te на Se приводит одновременно к увеличению геометрических размеров потенциальной ямы и нарушению симметрии комплекса (различные смещения атома становятся неэквивалентными), что быстро уменьшает вероятность туннельных переходов. В этих условиях диполь-дипольное взаимодействие атомов Sn уже не подавляется туннельным движением и в системе происходит ФП.

Вывод о происходящих в кристаллах $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}_{1-y}\text{Se}_y$ ФП был подтвержден прямыми рентгеновскими измерениями, свидетельствующими об искажении решетки ниже T_c . К сожалению, сегнетоэлектрический характер этого ФП доказать не удалось из-за малой ширины запрещенной зоны в кристаллах, не позволившей создать в них качественный p - n -переход.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Лебедев А. И., Случинская И. А. // Изв. АН СССР, сер. физ. 1987. 51, № 10. С. 1683. [2] Лебедев А. И., Случинская И. А. // Письма в ЖЭТФ. 1987. 46, № 11. С. 425. [3] Лебедев А. И., Случинская И. А. // Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 1988. 29, № 6. С. 100. [4] Балтрунас Д. И., Мотеюнас С. В., Старик П. М., Микитюк В. И. // Письма в ЖЭТФ. 1982. 36, № 1. С. 5. [5] Микитюк В. И. // Тез. докл. 2-й Всесоюз. конф. по материаловедению халькогенидных и кислородсодержащих полупроводников. Черновцы, 1986. Т. 2. С. 106. [6] Лебедев А. И., Случинская И. А. // Там же. С. 74. [7] Козловский В. Ф., Лебедев А. И. // ФТТ. 1988. 30, № 2. С. 531. [8] Козловский В. Ф., Лебедев А. И., Петров Ю. Е. // ФТТ. 1986. 28, № 12. С. 3610. [9] Абдуллин Х. А., Демин В. Н., Лебедев А. И. // ФТТ. 1986. 28, № 4. С. 1020. [10] Николаев И. Н., Потапов В. П., Шотов А. П., Юркевич Е. Е. // Письма в ЖЭТФ. 1977. 25, № 4. С. 185.

Поступила в редакцию
27.12.88

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3, ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1989. Т. 30, № 5

УДК 539.213.001

ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ ЖИДКОГО АЛЮМИНИЯ ПРИ БЫСТРОМ ОХЛАЖДЕНИИ

О. С. Трушин, В. С. Степанюк, А. А. Кацнельсон

(кафедра физики твердого тела)

Методом молекулярной динамики исследовано изменение структуры алюминия при быстром охлаждении расплава. Показано, что расщепление второго пика парной корреляционной функции наступает уже на стадии переохлажденной жидкости.

Зависимость структуры расплава от температуры уже изучалась в ряде работ [1—3]. Особый интерес вызывают структурные изменения при быстром охлаждении, которые возникают при получении аморфных металлов. Экспериментальные скорости охлаждения не превышают 10^{10} град·с $^{-1}$, что ограничивает круг металлов, которые могут быть получены в аморфной фазе.

Значительно дополняет эксперимент компьютерное моделирование [3]. При этом наиболее полно процессы структурных превращений прослеживаются методом молекулярной динамики [4].