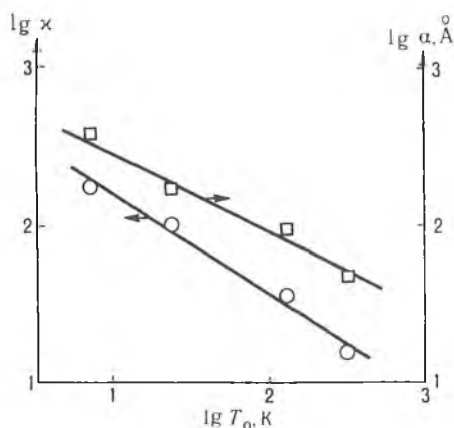


Из зависимостей (5) следует, что отношение критических индексов $\zeta/\kappa \approx 1,8$. Это достаточно близко к значению, предсказываемому теорией [2,3].

Для раздельного определения индексов κ и ζ необходимо знать критический индекс параметра T_0 , т.е. γ ,

$$T_0 \sim \left[1 - (N/N_c)\right]^\gamma. \quad (6)$$

В работе [9] одним из авторов была определена величина критического индекса $\gamma \approx 4,5$. С учетом этого из выражений (4)–(6) получается, что $\nu \approx 1,8$ и $\zeta \approx 3,15$.



Зависимость радиуса локализации (α) и диэлектрической проницаемости (κ) от коэффициента T_0

Определенные нами экспериментальные значения критических индексов ПДМ в германии, "легированном" радиационными дефектами с мелкими уровнями, в 2–2,5 раза превышают теоретические значения. Необходимо также отметить и отсутствие удовлетворительного согласия (в значениях критических индексов) с экспериментальными данными, полученными для некоторых типов неупорядоченных систем [1]. В то же время в работах [5,9] показано удовлетворительное согласие экспериментальных данных для такой неупорядоченной системы, как германий, "легированный" радиационными дефектами, с теоретической моделью ПДМ, предложенной Моттом [10].

Таким образом, установлено значительное расхождение между скейлинговой теорией ПДМ и экспериментальными данными для такого типа неупорядоченной системы, как германий, "легированный" радиационными дефектами с мелкими уровнями, что, по-видимому, может свидетельствовать о неприменимости этой теоретической модели к рассмотренной системе.

Настоящая работа была поддержана Международной соросовской программой образования в области точных наук.

1. Electron – Electron Interactions In Disordered Systems / Edited by A.Efros, M.Pollak. New York, 1985.
2. Abrahams E., Anderson P.W., Licciardello D.C., Ramakrishnan T.V. // Phys. Rev. Lett. 1979. V.42. №10. P.673.
3. Звягин И. П. Кинетические явления в неупорядоченных полупроводниках. М., 1984.
4. Dobrego V.P., Ermolaev O.P., Tkachev V.D. // Physica Status. Solidi.(a). 1977. V.44. №2. P.435.
5. Ермолаев О. П. // Весці АН Беларусі. Сер.фіз.-мат.наук. 1995. №1. С.70.
6. Ермолаев О. П. и др. // Сб. тезисов 6-ой Республиканской конф. молодых ученых по физике. Мн., 1980. С.128.
7. Кожух М. Л., Липкина Н. С., Шлимак И. С. // ФТП. 1985. Т.19. №2. С.331.
8. Шкловский Б. И., Эфрос А. Л. Электронные свойства легированных полупроводников. М., 1979.
9. Ермолаев О. П. // Вестн. БГУ. Сер.1. 1996. №1. С.19.
10. Мотт Н., Дэвис Э. Электронные процессы в некристаллических веществах: В 2 т. М., 1982.

УДК 548.5.669.76

В.Г.ШЕПЕЛЕВИЧ

СТРУКТУРА И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФОЛЬГИ ТРОЙНЫХ СПЛАВОВ Bi-10 ат.% Sb-Sn, ПОЛУЧЕННОЙ СВЕРХБЫСТРОЙ ЗАКАЛКОЙ ИЗ РАСПЛАВА

The rapidly quenched foils of Bi-10 at. per cent Sb-Sn alloys are characterized by the $(10\bar{1}2)$ texture. The electrical properties of rapidly quenched foils are determined by holes in the low-temperature range, while an additional contribution to the transport processes is made by electrons.

Сплавы висмут-сурьма, содержащие 8–12 ат.% Sb, в которых процессы переноса определяются преимущественно высокоподвижными электронами, используются в качестве n -ветви низкотемпературных термоэлектрических устройств [1]. Исследования, представленные в работе [2], свидетельствуют о том, что дифференциальная термо-

ЭДС по абсолютной величине фольги указанных составов, полученной сверхбыстрой закалкой из расплава, превосходит дифференциальную термо-ЭДС монокристаллических образцов [3]. Успешным оказалось использование метода сверхбыстрой закалки из расплава при получении термоэлектрических материалов на основе халькогенидов полуметаллов [4]. В связи с этим представляет интерес исследовать закономерности формирования структуры и электрические свойства быстрозатвердевшей фольги тройных сплавов Bi-10 ат. % Sb-Sn, в которой олово действует как акцептор, а дифференциальная термо-ЭДС имеет положительный знак, благодаря чему указанные материалы могут быть использованы в качестве *p*-ветви термоэлектрических устройств.

Фольга сплавов Bi-10 ат. % Sb – *x* ат. % Sn (*x* = 0,2–4 ат. %) получена сверхбыстрой закалкой из жидкой фазы. Капля расплава, находящаяся в специальной ампуле, выплескивалась на внутреннюю полированную поверхность вращающегося медного цилиндра. При кристаллизации образовывалась фольга длиной до 15 см и шириной до 1 см. Толщина фольги, используемой для исследования, составляла 20–60 мкм. Скорость охлаждения расплава при получении фольги достигала 10^6 К/с [5].

Рентгеноструктурные исследования быстрозатвердевшей фольги сплавов Bi-10 ат. % Sb-Sn выполнены на дифрактометрах ДРОН-2 и ДРОН-3. Параметр элементарной ячейки *c* определялся по положению дифракционной линии 000 12 в кобальтовом излучении. При исследовании текстуры использован метод "обратных" полюсных фигур. Полюсные плотности дифракционных линий $10\bar{1}2$, $10\bar{1}4$, $11\bar{2}0$, $10\bar{1}5$, $20\bar{2}2$, $10\bar{1}7$, $20\bar{2}5$, $21\bar{3}0$, $12\bar{3}5$ и 0009 рассчитывались по методу Харрисса [6]. Измерения удельного электросопротивления ρ , коэффициента Холла *R* и дифференциальной термо-ЭДС α проведены в интервале 77–293 К.

На рис. 1 представлен график зависимости относительного изменения параметра элементарной ячейки $\Delta c/c$ от концентрации олова. Наличие излома на графике указывает на ограниченную растворимость олова в твердом растворе Bi-10 ат. % Sb, величина которой составляет ~1,5 ат. %. Следует отметить для сравнения, что максимальная растворимость олова в висмуте составляет 0,4 ат. %, а в сурьме – 3 ат. % [7].

Из таблицы, в которой представлены полюсные плотности дифракционных линий, в быстрозатвердевшей фольге сплавов Bi-10 ат. % Sb-Sn наблюдается четко выраженная текстура ($10\bar{1}2$). Более 80% объема фольги ориентировано плоскостями $\{10\bar{1}2\}$ параллельно ее поверхности. Формирование наблюдаемой текстуры в быстрозатвердевших сплавах обусловлено кристаллической структурой и ориентацией ковалентных связей. Каждый атом в кристалле связан с тремя другими атомами ковалентными связями, образующими между собой угол 95,5° [8]. При этом две ковалентные связи каждого атома находятся в плоскостях ($01\bar{1}2$), ($10\bar{1}2$) и ($11\bar{0}2$), а третья связывает два атома, расположенные в соседних плоскостях такого же типа. По этой причине на межфазной границе кристалл–жидкость, совпадающей с плоскостями ($01\bar{1}2$), ($10\bar{1}2$) и ($11\bar{0}2$), образуется высокая плотность активных центров в виде ненасыщенных ковалентных связей. К ним легко присоединяются атомы из жидкой фазы, образуя ступеньки атомного размера. Атом, находящийся на краю ступеньки, имеет ненасыщенную ковалентную связь, ориентированную вдоль указанных кристаллографических плоскостей, что также способствует присоединению атома из жидкости. При переохлаждении расплава происходит быстрое боковое перемещение ступеньки, вызывающее активный рост кристаллитов с данной ориентировкой, что и обуславливает формирование текстуры ($10\bar{1}2$) [9].

Полюсные плотности дифракционных линий фольги сплавов Bi-10 ат. % Sb-Sn

Дифракционная линия	Содержание олова, ат. %				
	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0
$10\bar{1}2$	8,4	8,6	8,5	8,9	8,3
$10\bar{1}4$	0,6	0,0	0,1	0,0	0,2
$11\bar{2}0$	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
$10\bar{1}5$	0,1	0,1	0,2	0,0	0,3
$20\bar{2}2$	0,0	0,2	0,4	0,2	0,1
$10\bar{1}7$	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
$20\bar{2}5$	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2
$21\bar{3}0$	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1
$12\bar{3}5$	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1
0009	0,5	0,8	0,4	0,3	0,5

Графики концентрационных зависимостей удельного электросопротивления $\rho(x)$ и дифференциальной термо-ЭДС $\alpha(x)$ при $T=293\text{K}$ представлены на рис.1, а температурные зависимости $\rho(T)$, $\alpha(T)$ и $R(T)$ сплава Bi-10 ат.% Sb-1,5 ат.% Sn – на рис.2. Положительный знак α и R в низкотемпературной области свидетельствует о том, что процессы переноса определяются дырками. Для данного сплава при 77K концентрация дырок $p = 2,3 \cdot 10^{26} \text{ м}^{-3}$, а их подвижность $\mu = 0,017 \text{ м}^2/\text{В}\cdot\text{с}$. Повышение температуры приводит к появлению электронов в зоне проводимости за счет их теплового возбуждения из валентной зоны. Подвижность электронов в сплавах Bi-Sb, содержащих 8–12 ат.% Sb, выше подвижности дырок. По этим причинам с повышением температуры происходит изменение знака коэффициента Холла, появление максимума в зависимости $\alpha(T)$ при 230K и незначительное отклонение температурной зависимости $\rho(T)$ от линейного закона для быстрозатвердевшей фольги сплава Bi-10 ат.% Sb-1,5 ат.% Sn. В исследуемых тройных сплавах при всех температурах удельное электросопротивление монотонно уменьшается с ростом содержания олова, что обусловлено увеличением концентрации дырок. Концентрационная зависимость $\alpha(x)$ при комнатной температуре характеризуется экстремумом. Максимальная величина $|\alpha|$ при 293K наблюдается в сплаве Bi-10 ат.% Sb-2 ат.% Sn.

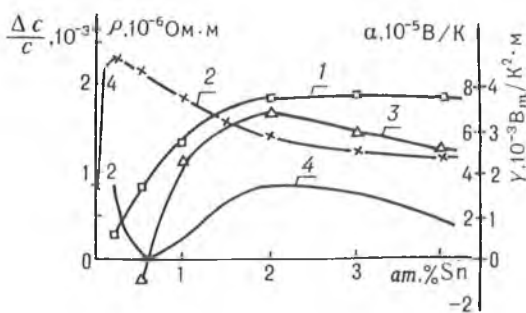


Рис.1. Концентрационные зависимости $\Delta c/c$ (1), ρ (2), α (3) и Y (4) быстрозатвердевшей фольги сплавов Bi-10 ат.% Sb-Sn при комнатной температуре

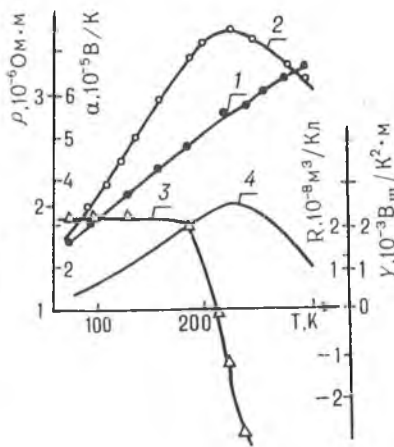


Рис.2. Температурные зависимости ρ (1), α (2), R (3) и Y (4) для быстрозатвердевшей фольги сплава Bi-10 ат.% Sb-1,5 ат.% Sn

Важным параметром, характеризующим термоэлектрические материалы, является термоэлектрический коэффициент мощности $Y = \alpha^2/\rho$. Его значения рассчитаны, а графики концентрационной зависимости $Y(T)$ при 293K и температурной зависимости $Y(T)$ для сплава Bi-10 ат.% Sb-1,5 ат.% Sn представлены на рис.1 и 2. Максимальное значение термоэлектрического коэффициента мощности для тройного сплава, содержащего 1,5 ат.% Sn, наблюдается при $T=230\text{K}$. При комнатной температуре наибольшим значением Y характеризуется сплав Bi-10 ат.% Sb-2 ат.% Sn. В связи с этим в качестве p -ветви низкотемпературных термоэлектрических устройств может быть использована быстрозатвердевшая фольга сплавов Bi-10 ат.% Sb, содержащая 1,5–3 ат.% олова.

1. Иорданишвили Е. К. Термоэлектрические источники питания. М., 1968.
2. Шепелевич В. Г. // Изв. АН СССР. Неорганические материалы. 1988. Т.24. №4. С.542.
3. Гицу Д. В., Голбан Т. М., Канцер В. Г., Мунтяну Ф. М. Явление переноса в висмуте и его сплавах. Кишинев, 1983.
4. Глазов В. М., Ятманов Ю. В. // Изв. АН СССР. Неорганические материалы. 1986. Т.23. №2. С.36.
5. Мирошниченко И. С. Закалка из жидкого состояния. М., 1982.
6. Русаков А. А. Рентгенография металлов. М., 1977.
7. Хансен М., Андерко К. Структура двойных сплавов. М., 1962.
8. Кребе Г. Основы кристаллохимии неорганических соединений. М., 1971.
9. Шепелевич В. Г. // Кристаллография. 1991. Т.36. №1. С.238.