

УДК 621.315.592

ФИЗИКА

В. С. ЗЕМСКОВ, В. П. ГУСАКОВ, С. А. РОСЛОВ, А. Д. БЕЛАЯ,
В. В. РОЖДЕСТВЕНСКАЯ

МАГНИТОТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ДОБРОТНОСТЬ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ ВИСМУТ — СУРЬМА, ЛЕГИРОВАННЫХ ТЕЛЛУРОМ

(Представлено академиком Н. В. Агеевым 26 XII 1974)

Актуальной задачей техники низких температур является создание твердотельного охладителя на азотный уровень, т. е. способного производить охлаждение от комнатной температуры до 80° К ⁽¹⁾. Исследования твердых растворов висмут — сурьма показывают, что эти сплавы являются перспективными материалами для использования в качестве криоэлектронных холодильников, особенно в магнитных полях ^(2, 3). Анализ литературных данных ⁽²⁻⁴⁾, а также результаты проведенных экспериментов показали, что твердый раствор с максимальным значением термоэлектрической добротности в области температур около 200° К должен содержать 6,5—8 ат. % сурьмы.

В данной работе на основе раздельного измерения теплопроводности κ_{ii} , термо-э.д.с. α_{ii} и удельного сопротивления ρ_{ii} ⁽⁵⁾ исследована магнитотермоэлектрическая (м.т.э.) добротность твердых растворов $(\text{Bi}_{92,4}\text{Sb}_{7,6})_{1-x}\text{Te}_x$ при $0 \leq x \leq 0,1$ ат. % в интервале температур 80—300° К и магнитных полей 0—1,2 тл в зависимости от температуры и величины магнитного поля.

Эффективность материалов оценивалась безразмерным критерием добротности ⁽⁶⁾

$$Z_{ii}T = \frac{\alpha_{ii}^2}{\rho_{ii}\kappa_{ii}} T.$$

Относительная ошибка измерения добротности составляла менее 11 %.

Для получения монокристаллов был использован метод вытягивания из жидкой фазы по Чохральскому с одновременной подпиткой расплава стержнем сурьмы ⁽⁷⁾. Исходными материалами служили висмут марки ОСЧ-11-4, сурьма ОСЧ-18-4, теллур ОСЧ-000. Теллур перед введением в шихту подвергался капельной очистке. С помощью радиоактивных изотопов ¹²⁴Sb и ¹²⁵Te было проведено исследование коэффициентов распределения сурьмы в висмуте, теллуре и сурьме в тройных системах Bi—Sb—Te. Содержание радиоактивной примеси в твердой и жидкой фазах определяли методом относительного счета импульсов на γ -спектрометре СЭГ-П2 с германий-литиевым детектором и анализаторе импульсов с 800 каналами. Полученные данные использовали при получении монокристаллов твердых растворов необходимого состава. Измерения проводили на образцах в форме прямоугольных параллелепипедов размерами $4 \times 5 \times (18-20)$ мм³, причем большая грань образца была параллельна тригональной (c_3) оси монокристалла. Вектор индукции магнитного поля при всех измерениях был направлен вдоль биссекторной (c_2) оси кристалла, а электрический ток и поток тепла направлялись по большей грани образца.

Исследования удельного сопротивления показали, что в сплаве висмута с 7,6 ат. % сурьмы в области низких температур наблюдается узкий зазор между валентной зоной и зоной проводимости, сравнимый с тепловой энергией K_0T .

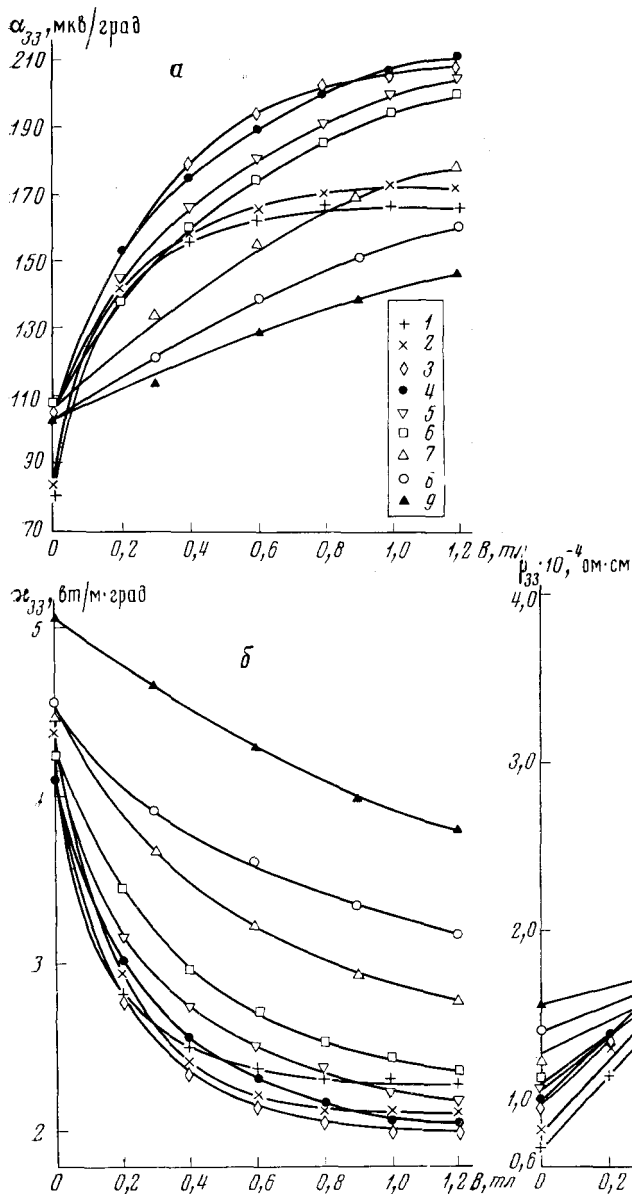


Рис. 1. Изменение термо-э.д.с. (а), теплопроводности (б) и удельного сопротивления (в) от индукции магнитного поля для сплава $(\text{Bi}_{92.4}\text{Sb}_{7.6})\text{Te}_{0.001}$ при различной температуре ($^{\circ}\text{K}$). 1 – 93; 2 – 100; 3 – 136; 4 – 162; 5 – 182; 6 – 195; 7 – 232; 8 – 264; 9 – 298

На рис. 1 представлены зависимости термо-э.д.с., теплопроводности и удельного сопротивления от величины индукции магнитного поля для сплава $(\text{Bi}_{92.4}\text{Sb}_{7.6})\text{Te}_{0.001}$ при различных температурах.

При температурах ниже 120°K в этом сплаве наблюдается вырождение носителей тока, и термо-э.д.с. достигает насыщения в полях около 0,9 тл. (рис. 1а). С повышением температуры выше 120°K в явлениях переноса

Таблица 1

Концентрация Те, ат. %	$(Z_{33}T)_{\text{max}}$	B , тл	T , $^{\circ}\text{K}$	Концентрация Те, ат. %	$(Z_{33}T)_{\text{max}}$	B , тл	T , $^{\circ}\text{K}$
0	1,0	0,9	180—210	0,005	0,95	1,2	232
0,0001	1,28	0,8	182	0,01	0,80	1,2	200
0,001	1,20	0,6	162	0,1	0,02	1,2	240

участвуют одновременно электроны и дырки, что приводит к увеличению как термо-, так магнитотермо-э.д.с.

Электронная компонента теплопроводности в сильном магнитном поле ($\mu B \gg 1$, где μ — подвижность носителей) убывает пропорционально $1/B^2$ ⁽⁸⁾ (рис. 1б). Поэтому теплопроводность, измеренную в сильном магнитном

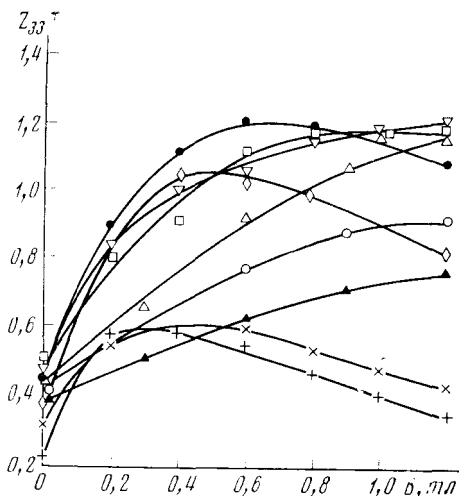


Рис. 2. Магнитотермоэлектрическая добротность сплава $(\text{Bi}_{92.4}\text{Sb}_{7.6})\text{Te}_{0.001}$. Обозначения те же, что и на рис. 1

магнитном поле (рис. 1а) оказывает благотворное влияние на добротность в широком интервале температур. При температурах 93–160° К в легко достижимых на практике полях 0,2–0,6 тл м.т.э. добротность почти втрое превосходит значение добротности в отсутствие магнитного поля.

В табл. 1 приводятся максимальные значения м.т.э. добротности, зарегистрированные на сплавах с иным содержанием теллура.

Следует отметить, что в сплаве с 0,0001 ат. % Те высокое значение м.т.э. добротности ($Z_{33}T=1,25$) сохраняется при изменении температуры от 160 до 200° К в полях 0,3–0,9 тл. Уменьшение м.т.э. добротности при концентрациях теллура в твердом растворе более 0,001 ат. % связано в основном с резким уменьшением термо-э.д.с. при столь сильном легировании и значительным увеличением электронного вклада в теплопроводность, так как магнитосопротивление при увеличении легирующей добавки падает.

Высокое значение м.т.э. добротности твердых растворов $(\text{Bi}_{92.4}\text{Sb}_{7.6})_{1-x}\text{Te}_x$ при $0,0001 \leq x \leq 0,001$ ат. % позволяет рекомендовать эти материалы в качестве электронной ветви для м.т.э. каскада низкотемпературного холодильника, что даст возможность создать холодильник с большим перепадом температур между горячим и холодным концами и получить более низкую температуру результирующего охлаждения.

Институт металлургии им. А. А. Байкова
Академии наук СССР
Москва

Поступило
17 XII 1974

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Э. В. Осипов, Зарубежная электронная техника, № 7, 40 (1970).
- ² R. Wolje, G. E. Smith, Appl. Phys. Letters, v. 1, № 1, 5 (1962).
- ³ W. M. Yim, A. Amith, Solid-State Electronics, v. 15, № 10, 1141 (1972).
- ⁴ Г. А. Иванов, В. А. Куликов и др., Физика и техника полупроводников, т. 6, № 7, 1296 (1972).
- ⁵ В. С. Земсков, А. Д. Белая и др., Твердые растворы висмут — сурьма и их гальвано- и термомангнитные свойства, Деп. ВИНТИ, № 1041–74, 1974.
- ⁶ И. В. Зорин, З. Я. Зорина, Термоэлектрические холодильники и генераторы, Л., «Энергия», 1973.
- ⁷ В. С. Земсков, В. В. Рождественская, Неорганические материалы, т. 5, № 2, 219 (1969).
- ⁸ Б. М. Могилевский, А. Ф. Чудновский, Теплопроводность полупроводников, М., «Наука», 1972.