

Список литературы

1. Dubertret L., Santus R., Bazin M., Saemelo M. T. // Photochem. Photobiol. 1982. V. 35. P. 103.
2. Черницкий Е. А., Воробей А. В. // Успехи современ. биол. 1986. Т. 101. Вып. 1. С. 100.
3. Татариннов Б. Н., Цвирко В. А., Черенкевич С. Н., Комяк А. И. // Вестн. Белорусского ун-та. Сер. 1: Физ. Мат. Мех. 1980. № 1. С. 30.
4. Chein J., Weber G. // Biochem. et Biophys. Res. Commun. 1973. V. 56. № 2. P. 538.
5. Moan J., Sommer S. // Photochem. Photobiol. 1984. V. 40. № 5. P. 631.
6. Spikes J. D., Matis W., Rodgers M. A. J. // Studia biophys. 1983. V. 94. P. 19.
7. Moan J., Mc. Chie J. B., Christensen T. // Photobiochem. Photobiophys. 1982. V. 4. P. 337.

Поступила в редакцию 17.02.87.

УДК 548.5:669.76

В. Г. ШЕПЕЛЕВИЧ, Ф. ШАКЕР ХАШЕМ

СТРУКТУРА И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФОЛЬГ ВИСМУТА И СПЛАВОВ ВИСМУТ-СУРЬМА

Литые поликристаллы и монокристаллы сплавов висмут-сурьма, используемые в качестве термоэлектрических материалов, характеризуются неравномерным распределением компонентов, которое ухудшает их свойства и технические параметры [1, 2]. В последние двадцать лет успешно развиваются методы получения фольг многих материалов скоростным охлаждением из жидкой фазы, которые приводят к более равномерному распределению компонентов. Несомненный интерес поэтому представляет исследование структуры и электрофизических свойств фольг сплавов висмут-сурьма, полученных скоростным охлаждением из жидкой фазы.

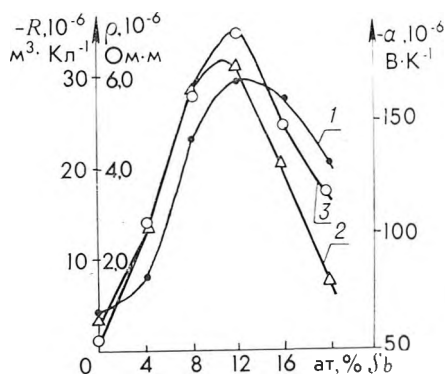
Скоростная закалка сплавов висмут-сурьма, содержащих до 20 ат. % Sb, проводилась выбрасыванием небольшой капли расплава на отполированную внутреннюю поверхность вращающегося медного цилиндра. Линейная скорость цилиндрической поверхности составляла около 70 м/с. Скорость охлаждения, как показал расчет, достигала 10^6 К/с [3].

Металлографический анализ проводился с помощью микроскопа ММУ-3. Рентгеноструктурные исследования выполнялись на установке ДРОН-3 в медном излучении. Текстура изучалась с помощью «обратных» полюсных фигур, при этом расчет полюсных плотностей дифракционных линий $\{10\bar{1}2\}$, $\{10\bar{1}4\}$, $\{10\bar{1}5\}$, $\{10\bar{1}7\}$, $\{2025\}$, $\{21\bar{3}0\}$, $\{1235\}$, $\{2022\}$ и (0009) проводился по методу Харриса [4]. Микрорентгеновские исследования выполнялись на установке РЭММА-200. Измерения удельного электросопротивления ρ , магнетосопротивления β , коэффициента Холла R и дифференциальной термо-ЭДС α проводились компенсационным методом в интервале 77—300 К.

Фольги висмута и сплавов висмут-сурьма, полученные скоростным охлаждением из жидкого состояния, поликристаллические толщиной 20—60 мкм. Размер зерен сравним с их толщиной. При этом большинство зерен ограничено внешними поверхностями фольг. Микроанализ показал, что сурьма в исследуемых материалах распределена равномерно.

Изготовление фольги висмута и сплавов висмут-сурьма характеризуется четкой текстурой $\{10\bar{1}2\}$, т. е. большинство кристаллитов ориентируется так, что их плоскость $\{10\bar{1}2\}$ параллельна внешней поверхности. Легирование висмута сурьмой усиливает текстуру. Максимальная величина полюсной плотности дифракционной линии $\{10\bar{1}2\}$ наблюдается в сплаве Bi-16 ат. % Sb и достигает 8,6. Полюсные плотности других дифракционных линий исследуемых сплавов не превышают единицы.

Формирование текстуры $\{10\bar{1}2\}$ при кристаллизации фольг висмута и сплавов висмут-сурьма связано с зарождением и ростом кристаллитов. Кристаллографические плоскости $(\bar{1}012)$, $(01\bar{1}2)$ и $(1\bar{1}02)$ характеризуются самой высокой ретикулярной плотностью атомов, равной $1,93/a^2$ ($a=0,455$ нм — постоянная решетки висмута в гексагональной установке). Зародыши твердой фазы поэтому ориентируются указанными плоскостями параллельно поверхности вращающегося цилиндра. Каждый атом висмута в кристаллической решетке связан с тремя другими атомами ковалентными связями, образующими угол $95^\circ 30'$ [5]. При этом две ковалентные связи каждого атома находятся в плоскостях $(01\bar{1}2)$, $(\bar{1}012)$ и $(1\bar{1}02)$, а третья связывает два атома, расположенные в соседних плоскостях того же типа. Такая ориентация ковалентных связей способствует быстрому росту образовавшихся зародышей твердой фазы и сохранению текстуры.



Зависимости ρ (1) и R (2), измеренных при 77 К, и α (3), измеренной при 100 К, от концентрации сурьмы

Зависимости удельного электросопротивления, коэффициента Холла, измеренные при 77 К, и дифференциальной термо-ЭДС, измеренной при 100 К, от концентрации сурьмы c в фольгах исследуемых сплавов представлены на рисунке. Экстремальные значения электрических величин наблюдаются для сплава Bi-12 ат. % Sb. При комнатной температуре зависимости $R(c)$ и $\alpha(c)$ имеют экстремум при $c = 12$ ат. % Sb, а $\rho(c)$ монотонно увеличивается с повышением концентрации сурьмы. Наблюдаемые зависимости $\rho(c)$, $R(c)$ и $\alpha(c)$ для

фольг исследуемых сплавов объясняются тем, что с увеличением концентрации сурьмы концентрация носителей тока вначале уменьшается, а затем возрастает, как показал расчет по двухзонной изотропной модели, применяемой для системы Bi-Sb [6]. Аналогичный характер изменения концентрации носителей тока от состава наблюдается и для монокристаллов [7].

Проведено сравнение кинетических коэффициентов фольг, полученных скоростным охлаждением из жидкой фазы, и монокристаллов [7, 8]. Удельное электросопротивление фольг сплавов превосходит компоненты тензора удельного электросопротивления монокристаллов при 77 К, что объясняется значительным рассеянием носителей тока на границах зерен, поскольку средняя длина свободного пробега электронов при низких температурах составляет несколько десятков микрон [9], т. е. сравнима с размерами зерен. При температурах, близких к комнатной, удельное электросопротивление фольг и монокристаллов различается незначительно, т. е. основным механизмом рассеяния носителей тока в этой области температур является рассеяние на акустических колебаниях [10].

Образование текстуры типа $\{10\bar{1}2\}$ в фольгах приводит к тому, что их коэффициент Холла R принимает промежуточное значение между компонентами R_{11} и R_{33} тензора коэффициента Холла монокристаллов при всех температурах [7, 8]. По этой же причине дифференциальная термо-ЭДС фольг висмута α принимает промежуточное значение между компонентами α_{11} и α_{33} тензора дифференциальной термо-ЭДС, для которых справедливо соотношение $\alpha_{33} \approx 2\alpha_{11}$ [11]. В сплавах висмут-сурьма коэффициент анизотропии термо-ЭДС α_{33}/α_{11} близок к единице [12], поэтому текстура не оказывает существенного влияния на дифференциальную термо-ЭДС фольг сплавов висмут-сурьма. Вместе с тем сравнение показывает, что абсолютная величина дифференциальной термо-ЭДС фольг выше, чем монокристаллов. Можно предположить, что такое различие

обусловлено неравномерным распределением сурьмы в монокристаллах, при выращивании которых могут образовываться дендриты, понижающие абсолютную величину дифференциальной термо-ЭДС [1, 13].

Список литературы

1. Налетов В. Л., Иванов Г. А., Яковлев Г. А., Николаев В. И. // Изв. АН СССР. Неорган. материалы. 1971. Т. 7. С. 1321.
2. Прокошин В. И., Шепелевич В. Г., Бари А. // Докл. АН БССР. 1986. Т. 30. С. 61.
3. Мирошниченко И. С. Закалка из жидкого состояния. М., 1982.
4. Вассерман Г., Гревен И. Текстуры металлических материалов. М., 1969.
5. Кребе Г. Основы кристаллохимии неорганических соединений. М., 1971.
6. Тапита S. J. // Phys. Soc. Jap. 1961. V. 16. P. 2349.
7. Иванов Г. А., Попов А. М. // ФТТ. 1963. Т. 5. С. 2409.
8. Левицкий Ю. Т., Иванов Г. А. // ФММ. 1969. Т. 28. С. 804.
9. Абросимов В. М., Крыкин М. А. // Радиотехника и электроника. 1975. № 6. С. 1238.
10. Прокошин В. И., Шепелевич В. Г. // Докл. АН БССР. 1981. Т. 25. С. 609.
11. Gallo G. F., Chandrasekhar B. S., Sutter P. H. // Journ. of Appl. Phys. 1963. V. 34. P. 144.
12. Грабов В. М., Иванов Г. А., Понарядов В. С. // ФТТ. Т. 12. С. 267.
13. Шепелевич В. Г. // Изв. АН СССР. Неорган. материалы. 1986. Т. 22. С. 378.

Поступила в редакцию 10.02.87.

УДК 539.3

И. А. ПРУСОВ, Ю. В. ВАСИЛЕВИЧ, Г. В. КУДИНОВА

О ЗАВИСИМОСТИ ПОСТОЯННЫХ УПРУГОСТИ ТРЕХМЕРНОГО ОРТОТРОПНОГО ТЕЛА

Пусть a_{ij} ($a_{ij}=a_{ji}$) — коэффициенты упругости ортотропного тела [1], главные направления упругости которого параллельны осям декартовых координат x, y, z ; компоненты деформаций — малые величины; зависимость между компонентами тензора напряжений и деформаций линейная. Всякая попытка построения общих формул для компонентов напряжений и перемещений, удовлетворяющих уравнениям равновесия и закону Гука, неизбежно приводит к тому, чтобы коэффициенты a_{ij} удовлетворяли по меньшей мере трем сложным алгебраическим уравнениям. Для общего напряженного состояния тела и кручения при различных положениях тела относительно выбранной системы координат коэффициенты a_{ij} должны удовлетворять двенадцати уравнениям. Все их можно рассматривать как ограничения, налагаемые на a_{ij} .

В классической теории упругости считается, что все девять коэффициентов a_{ij} ортотропного тела являются независимыми величинами и что все они, в том числе и модули сдвига

$$G_{12}=1/a_{66}, \quad G_{13}=1/a_{55}, \quad G_{23}=1/a_{44}, \quad (1)$$

подлежат определению только экспериментальным путем [1, 2].

В данной статье в качестве постулата принимается, что модули сдвига G_{ij} зависят от остальных коэффициентов a_{ij} и на основании анализа результатов работы [3] доказывается, что G_{ij} определяются выражениями (1), (4), (5). При этом все указанные выше уравнения, которым должны удовлетворять коэффициенты a_{ij} , обращаются в тождества и, следовательно, никаких ограничений на коэффициенты a_{ij} не представляют.

Как показано в статье [3], для существования полученных в ней общих формул необходимо, чтобы коэффициенты упругости удовлетворяли шести соотношениям:

$$n_1 - n_8 = \beta_{45}, \quad n_2 - 1 = n_8 \beta_{54}, \quad m_1 - m_8 = \beta_{56}, \quad m_2 - 1 = m_8 \beta_{65}, \quad l_1 - l_6 = \beta_{64}, \\ l_2 - 1 = l_8 \beta_{46}, \quad (2)$$

где $n_k, m_k, l_k, \beta_{kt}$ — параметры, зависящие от a_{ij} .