

Номер образца	$h$ , мкм	$d$ , мкм	$4\pi M_0$ , Гс	$T_c$ , °C	$\theta_0$ , град
1	6.05	7.05	462	183	52.7
2	2.32	7.24	354	151	48.3
3	7.21	75.6	111	120	52.1
4	4.4	4.13	635	190	43.9
5	3.18	3.6	352	187	32.2
6	4.8	6.4	640	270	85.4

При перемангничивании ДС в наклонных полях установлено, что для всех исследованных образцов области существования ДС в плоскости  $ZOX$  (рис. 2) представляют собой эллипсы, меньшая и большая полуоси которых параллельны осям  $H_z$ ,  $H_x$  соответственно. Области существования ДС в плоскости  $ZOY$  представляют собой эллипсы, малая ось которых составляет с осью  $H_z$  угол, близкий к значению  $\theta_0$ .

Таким образом, в работе показано, что угол наклона ОЛН в (112)-пленках может варьироваться от 0 до 90°. Приведены экспериментальные способы определения ориентации ОЛН.

Авторы выражают благодарность Б. А. Иванову за помощь в работе и ценные замечания.

#### Список литературы

- [1] Боков В. А., Яценко В. А., Быстров М. В., Зайцева Н. В. // Письма в ЖТФ. 1978. Т. 4. № 17. С. 1009—1013.
- [2] Яценко В. А., Боков В. А., Быстров М. В., Шер Е. С., Трофимова Т. К. // ФТТ. 1979. Т. 21. № 9. С. 2656—2663.
- [3] Бурым Ю. А., Пронина Н. В., Шапошников А. Н. // ФТТ. 1988. Т. 30. № 7. С. 1984—1988.
- [4] Барьяхтар В. Г., Богданов А. Н., Яблонский Д. А. // УФН. 1988. Т. 156. С. 47—92.

Симферопольский государственный университет  
им. М. В. Фрунзе

Поступило в Редакцию  
18 декабря 1989 г.  
В окончательной редакции  
11 апреля 1990 г.

© Физика твердого тела, том 32, № 9, 1990  
Solid State Physics, vol. 32, N 9, 1990

## ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ И ФАЗОВОГО СОСТАВА НА СВОЙСТВА ПЛЕНОК $Bi_xSb_{2-x}Te_3$

А. И. Середюк, Я. Д. Шепетюк, З. Д. Ковалюк, В. К. Кива, С. Я. Голуб

Полупроводники  $Bi_2Te_3$  и  $Sb_2Te_3$  принадлежат к группе  $A_2^IVB_3^{VI}$  и как материалы группы  $A^3B^6$  являются слоистыми, обладающими высокой анизотропией механических и электрических свойств, соединениями. В настоящее время эти соединения, а также твердые растворы на их основе нашли широкое применение в качестве высокоэффективных термоэлектрических материалов [1]. Особый интерес представляет возможность использования этих соединений в качестве тензочувствительных элементов, полученных в пленочном виде.

Целью данной работы являются исследование структуры и фазового состава пленок  $Bi_xSb_{2-x}Te_3$ , зависимости коэффициента тензочувствительности  $K_T$ , температурного коэффициента сопротивления (ТКС) от термо-

динамических параметров получения пленок и вида подложки, а также исследование влияния легирования акцепторными примесями исходной шихты пленок  $\text{Bi}_x\text{Sb}_{2-x}\text{Te}_3$  на  $K_\alpha$  и ТКС.

Пленки на основе твердых растворов теллурида висмута и сурьмы получены методом конденсации в вакууме при давлении остаточных газов не хуже  $10^{-6}$  мм рт. ст. через соответствующие маски. В качестве исходной шихты использовался поликристаллический  $\text{Bi}_x\text{Sb}_{2-x}\text{Te}_3$ , получен-

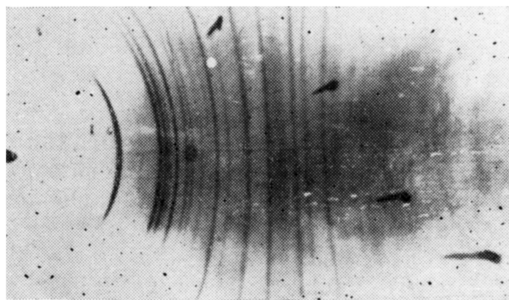


Рис. 1. Рентгенограмма качания пленки  $\text{Bi}_x\text{Sb}_{2-x}\text{Te}_3$  на подложке из оксидированного кремния.

ный методом синтеза в эвакуированных кварцевых ампулах. В качестве подложек использовались оксидированный кремний, пирексовое стекло, различные полимеры (текстолит, полиамид и др.). Толщина пленок контролировалась при помощи микроинтерферометра МИИ-4 и составляла 1.7—2 мкм. Рентгеноструктурные исследования проведены в камере типа Дебая—Шерера с диаметром кассеты 75 мм и высотой кадра 64 мм в монохроматизированном  $\text{CrK}_\alpha$ - и  $\text{FeK}_\alpha$ -излучении [2].

Наиболее полная и четкая картина дифракции зафиксирована для пленок  $\text{Bi}_x\text{Sb}_{2-x}\text{Te}_3$ , выращенных на подложках из оксидированного кремния

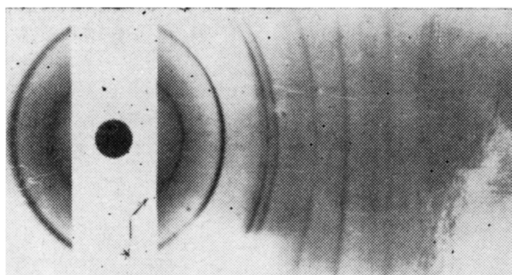


Рис. 2. Рентгенограмма качания пленки  $\text{Bi}_x\text{Sb}_{2-x}\text{Te}_3$  на подложке из полиимида. Отмеченная линия принадлежит подложке.

(рис. 1). Как видно, рентгенограммы таких образцов, кроме рефлексов монокристаллического кремния, содержат единственную фазу со структурой типа  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ . Уточнения по монокристаллическому кремнию периодов решетки привели к значениям, которые в пределах погрешности измерений не отличаются от параметров исходного соединения ( $a=4.264 \pm 0.003$ ,  $c=30.43 \pm 0.003$  Å). Следовательно, химический состав данных пленок соответствует исходному соединению. Нанесенный слой представлял собой однородный твердый раствор двух изоструктурных соединений  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  и  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$ . Об однородности твердого раствора говорят четкость дифракционной картины, хорошее разрешение интерференций под различными углами отражения, отсутствие размытия пиков.

Отметим повышение интенсивности дифракционных линий с большими значениями (0.15, 0.18, 0.141 и т. д.) на рентгенограммах пленки по срав-

нению с рентгенограммами исходного порошка  $\text{Bi}_x\text{Sb}_{2-x}\text{Te}_3$ . Этот факт наряду с неравномерным распределением интенсивности в азимутальном направлении линий типа  $00l$  свидетельствует о текстурированности пленок. Преимущественным направлением ориентации кристаллитов в поликристаллическом слое является такое, при котором базисные слои  $(00l)$  располагаются параллельно подложке, а кристаллографическая ось третьего порядка — перпендикулярно ей.

Рентгенограммы других пленок, осажденных на подложках из текстолита полиимида, пирексового стекла (рис. 2), по углам отражения наиболее интенсивных дифракционных линий следует отнести к тому же твердому раствору с высокой степенью дефектности кристаллической решетки.

По-видимому, причина возникновения дефектности кристаллической решетки состоит в существенном отличии физических характеристик теллуридов и соответствующих свойств подложек [3].

Многочисленными экспериментами определены оптимальные технологические режимы выращивания тензочувствительных пленок (температура подложки  $T_n \approx 125 \pm 0.5$  °C, без отжига). Это значение температуры подложки определено в ходе исследования температурного интервала от 40 до 300 °C с шагом в 10 °C и интервала от 90 до 150 °C с шагом 5 °C, оценены значения  $K_T$  и ТКС. При  $T_n$  ниже 125 °C наблюдаются низкое  $K_T$ , слабая адгезия, а при  $T_n$  выше 125 °C — низкое  $K_T$  (порядка 0.5—1 при относительных деформациях  $\epsilon_l = 10^{-5}$ ) и увеличение ТКС до 1—10 %/°C. Отжиг способствует увеличению ТКС и уменьшению  $K_T$ . Пленки  $\text{Bi}_x\text{Sb}_{2-x}\text{Te}_3$ , полученные на подложках из оксидированного кремния и не подвергавшиеся отжигу, стабильны во времени, обладают воспроизводимостью результатов; ТКС таких пленок  $2-4 \cdot 10^{-2}$  %/°C,  $K_T = 20-30$  при  $\epsilon_l = 10^{-5}$ .

Для улучшения характеристик тензочувствительности пленок  $\text{Bi}_x\text{Sb}_{2-x}\text{Te}_3$  проводилось легирование исходной шихты акцепторными примесями (Ge, Zn, Cd, Pb), которые способствуют еще более полному вырождению энергетического спектра. Следует отметить уменьшение ТКС до  $0.5-2 \cdot 10^{-2}$  %/°C при незначительном увеличении  $K_T$ . Эти результаты не уступают характеристикам тензочувствительных эпитаксиальных пленок кремния, а по ТКС несколько превосходят их [4].

Пленки на основе твердых растворов теллурида висмута и сурьмы могут успешно применяться в качестве тензочувствительных элементов тензометрических приборов.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Гольцман Б. М., Кудинов В. А., Смирнов И. А. Полупроводниковые термоэлектрические материалы на основе  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ . М., 1972. 320 с.
- [2] Горелик С. С., Росторгуев Л. Н., Скаков Ю. А. Рентгенографический и электронно-оптический анализ. М., 1970. 368 с.
- [3] Абдураимов В. Э., Бойков Ю. А. // ФТТ. 1984. Т. 26. № 1. С. 284—286.
- [4] Полупроводниковые тензодатчики / Под ред. М. Дина. М., 1975. 215 с.

Институт проблем материаловедения  
АН УССР  
Черновцы

Поступило в Редакцию  
28 декабря 1989 г.  
В окончательной редакции  
11 апреля 1990 г.