

УДК 621.315.592

## МАГНИТОТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОММУТАЦИОННЫХ КОНТАКТОВ ТЕРМОЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ ТВЕРДОГО РАСТВОРА $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$

*М. М. Тагиев*

Институт фотоэлектроники АН Азербайджана, Баку, Азербайджанская Республика

*Проведено исследование зависимости сопротивления переходного контакта  $r_k$  экструдированных образцов твердого раствора  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$  со сплавом, мас. %,  $57\text{Bi} + 43\text{Sn}$  с  $T_{\text{пл}} \approx 412 \text{ K}$  от напряженности магнитного поля и температуры. Данный контактный сплав широко используется при коммутации термоэлементов на основе твердых растворов систем  $\text{Bi}-\text{Sb}$ . При нанесении контакта на торцы экструдированных образцов  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$  происходит взаимная диффузия компонентов твердого раствора и контактного сплава друг в друга. Поэтому в результате диффузии атомов  $\text{Sn}$  из контактного сплава в твердый раствор  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$  вблизи контакта возникает приконтактный слой данного твердого раствора, легированный атомами олова. Показано, что легированием приконтактного слоя ветвей термоэлементов из твердого раствора  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$  донорными примесями, компенсирующими действиями акцепторных атомов, диффундирующих из контактного сплава в этот слой, можно значительно понизить  $r_k$  и повысить эффективность термоэлементов.*

Кристаллы твердых растворов систем  $\text{Bi}-\text{Sb}$  фоточувствительны ИК-области спектра, а также являются эффективными термо- и магнито термоэлектрическими материалами для ИК-фотоприемников. Эффективность фото- и термоэлектрических преобразователей, кроме фундаментальных параметров полупроводникового материала, определяется также и физическими свойствами переходных контактов указанных преобразователей. Поэтому исследование зависимости переходного сопротивления термоэлементов на основе твердых растворов систем  $\text{Bi}-\text{Sb}$  от температуры и напряженности магнитного поля представляет интерес как для физики электронных процессов, происходящей на переходных контактах полупроводник — контактный сплав, так и для прикладных задач низкотемпературного фото- и магнито термопреобразования энергии.

В данной работе проведено исследование зависимости сопротивления переходного контакта  $r_k$  экструдированных образцов твердого раствора  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$  со сплавом, мас. %,  $57\text{Bi} + 43\text{Sn}$  с  $T_{\text{пл}} \approx 412 \text{ K}$  от напряженности магнитного поля и температуры. Данный контактный сплав широко используется при коммутации термоэлементов на основе твердых растворов систем  $\text{Bi}-\text{Sb}$ .

Экструдированные бруски твердого раствора  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$  диаметром  $\sim 6 \text{ мм}$  были получены по технологии, описанной в работе [1]. Образцы для исследований вырезали из экструдированных брусков. Контактное сопротивление измеряли зондовым методом на переменном токе. На тех же образцах  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$ , в которых исследовалось сопротивление переходного контакта, измерены и удельные сопротивления.

Опыты проводились в интервале температур от  $\sim 77$  до  $300 \text{ K}$  и напряженности магнитного поля до  $H = 74 \cdot 10^4 \text{ А/м}$ .

Электрические измерения проводили вдоль оси экструзии. Были исследованы образцы, не прошедшие после экструзии термообработку, и эти же образцы, прошедшие после экструзии термообработку при  $\sim 503 \text{ K}$  в течение  $5 \text{ ч}$  [2].

Полученные данные представлены в таблице.

Электрические параметры образцов и переходных контактов при температуре 77 К

Bi <sub>85</sub> Sb <sub>15</sub>	Образцы, не прошедшие термообработку				Образцы, прошедшие термообработку после экструзии при 503 К в течение 5 ч			
	H = 0		H = 74·10 <sup>4</sup> А/м		H = 0		H = 74·10 <sup>4</sup> А/м	
	r <sub>к</sub> ·10 <sup>-5</sup> , Ом·см <sup>2</sup>	ρ·10 <sup>-7</sup> , Ом·см	Δr <sub>к</sub> /r <sub>к0</sub>	Δρ/ρ <sub>0</sub>	r <sub>к</sub> ·10 <sup>-5</sup> , Ом·см <sup>2</sup>	ρ·10 <sup>-7</sup> , Ом·см	Δr <sub>к</sub> /r <sub>к0</sub>	Δρ/ρ <sub>0</sub>
	8,0	5668	2,25	1,83	3,1	1889	11,2	7,3

Из таблицы видно, что характер изменения сопротивления переходного контакта  $r_k$  твердого раствора Bi<sub>85</sub>Sb<sub>15</sub> эвтектическим сплавом и удельного сопротивления  $\rho$  самого твердого раствора экструдированного образца Bi<sub>85</sub>Sb<sub>15</sub> от напряженности магнитного поля одинаковый.

Достаточно сильные по сравнению с удельным сопротивлением  $\rho$  зависимости  $r_k$  переходного контакта Bi<sub>85</sub>Sb<sub>15</sub> с контактным сплавом от напряженности магнитного поля можно объяснить следующим.

При нанесении контакта на торцы экструдированных образцов Bi<sub>85</sub>Sb<sub>15</sub> происходит взаимная диффузия компонентов твердого раствора и контактного сплава друг в друга. Поэтому в результате диффузии атомов Sn из контактного сплава в твердый раствор Bi<sub>85</sub>Sb<sub>15</sub> вблизи контакта возникает приконтактный слой данного твердого раствора, легированный атомами олова. В результате возникает структура твердый раствор Bi<sub>85</sub>Sb<sub>15</sub> — промежуточный слой твердого раствора Bi<sub>85</sub>Sb<sub>15</sub>, сильнолегированный акцепторными атомами олова — контактный сплав. Удельное сопротивление промежуточного слоя при ~77 К (твердого раствора Bi<sub>85</sub>Sb<sub>15</sub>, легированного Sn) несколько раз превышает удельное сопротивление чистого Bi<sub>85</sub>Sb<sub>15</sub>. Кроме того, образцы, легированные атомами Sn с концентрацией более 0,01 ат. %, обладают при 77 К  $p$ -типом проводимости [1, 3]. Поэтому переходное контактное сопротивление структуры в основном будет определяться переходным сопротивлением перехода твердый раствор Bi<sub>85</sub>Sb<sub>15</sub> — промежуточный слой. В магнитном поле с ростом напряженности магнитного поля до 74·10<sup>4</sup> А/м удельное сопротивление Bi<sub>85</sub>Sb<sub>15</sub> сильно растет. Одновременно растет и удельное сопротивление промежуточного слоя (например, наши эксперименты показали, что экструдированные образцы с 0,1 ат. % Sn имеют при ~77 К  $\rho \approx 5 \cdot 10^{-4}$  Ом·см и с ростом напряженности магнитного поля до 74·10<sup>4</sup> А/м  $\rho$  почти линейно растет и достигает до  $\sim 6 \cdot 10^{-4}$  Ом·см). Из-за этого рост  $r_k$  структуры Bi<sub>85</sub>Sb<sub>15</sub> — промежуточная фаза под действием магнитного поля более сильный, чем рост удельного сопротивления чистого Bi<sub>85</sub>Sb<sub>15</sub>.

Это предположение нами подтверждено экспериментально легированием образцов Bi<sub>85</sub>Sb<sub>15</sub> донорными примесями теллура. Введением в Bi<sub>85</sub>Sb<sub>15</sub> атомов теллура в определенной концентрации можно скомпенсировать действие акцепторных атомов Sn в приконтактной области. Эксперименты показали, что действительно в случае экструдированных образцов Bi<sub>85</sub>Sb<sub>15</sub> с 0,005—0,1 ат. % Te сопротивление переходного контакта Bi<sub>85</sub>Sb<sub>15</sub> — контактный сплав при 77 К примерно на порядок меньше, чем в случае чистого твердого раствора Bi<sub>85</sub>Sb<sub>15</sub>, и зависи-

мость  $(r_k - r_{k0})/r_{k0}$  от напряженности магнитного поля ( $H$ ) достаточно хорошо соответствует зависимости  $(\rho - \rho_0)/\rho_0$  от  $H$ . Эти данные также показывают, что легированием приконтактного слоя ветвей термоэлементов из твердого раствора  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$  донорными примесями, компенсирующими действия акцепторных атомов диффундирующих из контактного сплава в этот слой, можно значительно понизить  $r_k$  и повысить эффективность термоэлементов.

При температурах выше  $\sim 120$  К тип проводимости твердого раствора  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$ , легированного Sn, становится электронным [1, 3]. Кроме того, при высоких температурах действие примесей Sn на  $\rho$  твердого раствора  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$ , в том числе и на  $\rho$  промежуточного слоя, ослабляется. Поэтому при 300 К, несмотря на то, что значения удельного сопротивления как твердого раствора  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$ , так и промежуточного слоя (слоя  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$ , легированного Sn) незначительно отличаются от значений  $\rho$  при 77 К, контактное сопротивление  $r_k$  при 300 К в  $\sim 2$  раза меньше, чем при 77 К. Изменение  $r_k$  структуры под действием магнитного поля при  $\sim 300$  К также хорошо коррелирует изменением  $\rho$  чистого  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$  и промежуточного слоя.

При экструзии за счет пластической деформации в образцах параллельно образованию текстуры образуются структурные дефекты [4]. Эти дефекты являются центрами рассеяния для носителей заряда и уменьшают их подвижность. Одновременно увеличивается концентрация носителей заряда, что вызвано образованием электрически активных центров на дефектах. Отжиг прутков после экструзии приводит к исчезновению этих областей, что заканчивается ростом подвижности носителей заряда. Вследствие этого магниторезистивный эффект и изменение  $r_k$  под действием магнитного поля в отожженных образцах сильнее, чем в неотожженных.

Благодаря применению результатов данной работы можно улучшить параметры фото- и магнитотермоэлектрических преобразователей на основе твердых растворов систем Bi—Sb.

## Литература

1. Тагиев М. М., Абдинов Д. Ш. Магнитотермоэлектрические свойства экструдированных образцов твердого раствора  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$ , легированного свинцом // Неорганические материалы, 1995. Т. 31. №11. С. 1405—1407.
2. Тагиев М. М., Агаев З. Ф., Абдинов Д. Ш. Термоэлектрические свойства экструдированных образцов  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$  // Там же. 1994. Т. 30. № 3. С. 375—378.
3. Земсков В. С., Белая А. Д., Гусаков В. П., Рослов С. А. Гальвано- и термомагнитные свойства сплавов висмут—сурьма, легированных оловом: Деп. ВИНТИ. № 2888-74. 1994. — 25 с.
4. Горелик С. С., Дашевский М. Я. Материаловедение полупроводников и диэлектриков. — М.: Металлургия. 1988. С. 499.

## MAGNETOTHERMOELECTRICAL PROPERTIES OF CHARACTERISTIC COMMUTATIONAL CONTACTS OF THERMOELEMENTS ON THE BASE OF $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$

*M. M. Tagiyev*

Institute of Photoelectronics of the Azerbaijan Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan

*In present work study of dependencies of transional contact  $r_{\kappa}$  of extruded samples  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$  solid solution with the alloy mas. %, 57Bi + 43Sn with melting temperature  $T_m \approx 412$  K on the intensity of magnetic field and temperature. This contact alloy is broadly use at commutation of thermoelements on the base Bi-Sb system solid solution. At the fixing of contact on torahs of extruded samples  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$  occurs a mutual diffusion of components of solid solution and contact alloy each to other. So as result of diffusions of atoms Sn from the contact alloy in  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$  solid solution near the contact appears near-contact layer of given solid solution, doped by atoms of tin. By doping near contact layer of branches of thermoelements on the base of  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$  solid solution with donor impurities, compensating action of acceptor atoms, diffusing from the contact alloy in this layer, possible vastly lower  $r_{\kappa}$  and raise efficiency of thermoelements.*