

## Optical properties of hydrogenated amorphous films of the $a\text{-Ge}_{0.85}\text{Si}_{0.15}\text{:H}$ solid solution

B. A. Nadjafov

The Institute of Radiation Problems of National Academy of Sciences of Azerbaijan,  
Baku, Republic of Azerbaijan

G. I. Isakov, V. R. Figarov

The Institute of Physics of National Academy of Sciences of Azerbaijan, Baku,  
Republic of Azerbaijan

*The optical edge and IR spectra absorption of  $a\text{-Ge}_{0.85}\text{Si}_{0.15}\text{:H}$  hydrogenated amorphous films, obtained by the plasmochemical precipitation at different partial pressures of hydrogen ( $P_{\text{H}_2}$ ), have been investigated. The amount of hydrogen ( $P$ ) in solid solution is determined. It has been revealed that the oscillator strengths depend on the hydrogen concentration; they decrease with the hydrogen effusion and increase with the increase of the hydrogen content ( $P_{\text{H}_2}$ ) in the atmosphere of the obtained  $a\text{-Ge}_{0.85}\text{Si}_{0.15}\text{:H}$  films at partial pressures 0.6–3.0 mTorr.*

УДК 621.315.592

## Магнитотермоэлектрические и адгезионные свойства коммутационных контактов термоэлементов на основе экструдированных образцов твердого раствора $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$

М. М. Тогиев

Институт фотоэлектроники НАН Азербайджана, г. Баку, Республика Азербайджан

*Проведено исследование электрических и адгезионных свойств переходных контактов экструдированных образцов твердых растворов  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$  со сплавами: 25 Bi + 50 Pb + 12,5 Cd + 12,5 Sn с  $T_m = 343$  К (сплав Вуда) и 57 Bi + 45 Sn —  $T_m = 412$  К в интервале температур  $\sim 77\text{--}300$  К и напряженности магнитного поля ( $H$ ) до  $\sim 74 \cdot 10^4$  А/м. Показано, что сопротивление переходных контактов ( $r_k$ ) экструдированных образцов твердого раствора  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$  с указанными контактными сплавами при  $\sim 77$  К определяется в основном сопротивлением структуры твердый раствор  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$  — твердый раствор  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$ , сильнолегированный атомами Pb и Sn, диффундирующими из контактного сплава в приконтактную область твердого раствора  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$ . Установлено, что легированием экструдированных образцов твердого раствора  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$  с атомами Pb можно достичь уменьшения  $r_k$  переходного контакта  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$  — контактный сплав.*

Эффективность фото- и термоэлектрических преобразователей, кроме фундаментальных параметров, применяемых в них полупроводникового материала, определяется также физическими и механическими свойствами переходных контактов в них [1–2]. Учитывая это, в данной работе проведено исследование электрических и адгезионных свойств переходных контактов экструдированных образцов твердых растворов  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$  со сплавами: 25 Bi + 50 Pb + 12,5 Cd + 12,5 Sn с  $T_m = 343$  К (сплав Вуда) и 57 Bi + 43 Sn с  $T_m = 412$  К в интервале температур  $\sim 77\text{--}300$  К и напряженности магнитного поля ( $H$ ) до  $\sim 74 \cdot 10^4$  А/м. Данные сплавы широко ис-

пользуются в качестве контактного материала в фото- и термоэлементах на основе твердых растворов систем Bi—Sb.

Технология получения экструдированных образцов твердых растворов приведена в работе [3].

Были исследованы образцы (структуры) на основе экструдированных образцов  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$ , не прошедшие послеэкструзионный отжиг, и образцы, прошедшие отжиг при температуре  $\sim 503$  К в течение 5 ч.

Для устранения погрешностей, обусловленных эффектом Пелтье, контактное сопротивление измерялось зондовым методом на переменном токе.

Для создания структуры твердого раствора  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$ —контактный сплав использовались образцы, вырезанные с помощью электроискровой резки из плавления полупроводникового материала и закалки жидкой фазы, образования импульсного поля термических напряжений [4] и т. д., на поверхности  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$  образуется нарушенный поликристаллический слой, сильно загрязненный продуктами электрода и диэлектрической среды. Физические свойства такого слоя будут сильно отличаться от свойств исходного материала.

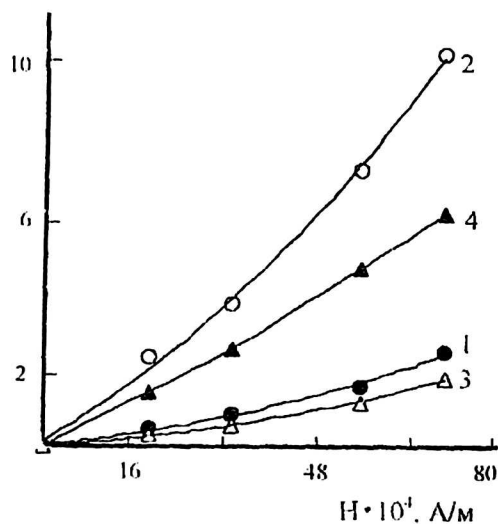
Для исключения нарушенного слоя, возникающего при электроискровой резке, образцы после резки травили в 50%-ной азотной кислоте с последующей промывкой в 50%-ной соляной кислоте. После этого образцы промывали в дистиллированной воде, спирте, просушивали для нанесения контактных сплавов. Установлено, что слой, нарушенный при резке, полностью удаляется за 2 мин травления [5].

$$\frac{r_k - r_{k0}}{r_{k0}} \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0},$$

где  $r_{k0}$  и  $\rho_0$  — сопротивление переходного контакта и удельное сопротивление, соответственно, при отсутствии магнитного поля, а  $r_k$  и  $\rho$  — то же, в магнитном поле.

Контактные сплавы на торцы наносились паяльником. В качестве флюса использовался ФСкГл:  $(\text{CH}_3\text{ON}_3 \cdot \text{HCl} + \text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3)$ .

На рисунке приведена зависимость  $(r_k - r_{k0})/r_{k0}$  и  $(\rho - \rho_0)/\rho_0$  при 77 К от  $H$ .



Зависимость переходного контактного (1, 2) и удельного магнитосопротивления (3, 4) при ~77 К от напряженности магнитного поля; 1, 3 относятся к образцам  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$ , не прошедшим термообработку, а 2 и 4 — к образцам, прошедшим термообработку после экструзии

Видно, что характер  $r_k$  твердого раствора  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$  с контактными сплавами и  $\rho$  самого твердого раствора  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$  от напряженности магнитного поля одинаков. Однако измене-

ние  $\frac{\Delta r_k}{r_0}$  с ростом  $H$  во всех случаях больше, чем изменение  $\frac{\Delta \rho}{\rho_0}$ .

Так, например, при 77 К при  $H$  больше  $\sim 23 \cdot 10^4$  А/м соотношения  $\left(\frac{\Delta r_k}{r_0}\right) / \left(\frac{\Delta \rho}{\rho_0}\right)$  для образцов на основе отожженного твердого раствора достигает 1,5.

В экструдированных образцах, не прошедших отжиг после экструзии, соотношения  $\frac{\Delta r_k}{r_0}$  и  $\frac{\Delta \rho}{\rho_0}$  при всех напряженностях магнитного поля меньше, чем для образцов, прошедших отжиг.

При нанесении контакта на торцы экструдированных образцов происходит взаимная диффузия компонентов твердого раствора и контактного сплава друг в друга. Поэтому в результате диффузии атомов Pb и Sn из контактного сплава в твердый раствор  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$  вблизи контакта возникает приконтактный слой, сильно легированный атомами Pb и Sn (или только олова, в случае контактного сплава, мас. % — 57 Bi + 43 Sn). В результате возникает структура: твердый раствор  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$  — промежуточный слой твердого раствора  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$  сильно легированный акцепторными атомами — контактный сплав. Удельное сопротивление промежуточного слоя (слоя, легированного Pb и Sn) при ~77 К в несколько раз превышает удельное сопротивление чистого образца. Кроме того, образцы, легированные атомами Pb и Sn с концентрацией более 0,01 ат. %, обладают при 77 К  $p$ -типом проводимости [4, 6]. Вследствие этого вблизи контакта возникает переход  $n$ - $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$ — $p$ - $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$ , и переходное контактное сопротивление структуры в основном будет определяться переходным сопротивлением перехода твердый раствор  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$ —промежуточный слой. В магнитном поле с ростом  $H$  до  $74 \cdot 10^4$  А/м удельное сопротивление  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$  сильно растет. Одновременно растет и удельное сопротивление промежуточного слоя. Из-за этого рост  $r_k$  структуры  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$ —промежуточной фазы под действием магнитного поля более сильный, чем рост сопротивления чистого  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$ .

С ростом температуры тип проводимости промежуточного слоя становится электронным, и действие примесей Pb и Sn на  $p$  промежуточного слоя ослабляется. Поэтому при 300 К несмотря на то, что удельное сопротивление как  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$ , так и промежуточного слоя, легированного атомами Pb и Sn, незначительно отличается от значений  $\rho$  при 77 К, контактное сопротивление  $r_k$  при 300 К приблизительно в два раза меньше, чем при 77 К.

В экструдированных образцах  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$  существуют напряженные области, создающие рас-

сеивающие центры для носителей заряда. Отжиг прутков после экструзии приводит к исчезновению этих областей, что завершается ростом подвижности носителей заряда. Вследствие этого магниторезистивный эффект и изменение  $r_k$  под действием  $H$  в отожженных образцах сильнее, чем в неотожженных.

Кроме электрических параметров, контакты характеризуются и их механическими свойствами. Связь и сцепление между экструдированным твердым раствором  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$  с контактным сплавом определяются процессом смачивания поверхности кристалла этим контактным сплавом.

Характеристикой сил сцепления жидкости и твердого тела является удельная работа адгезии, равная работе их разделения по межфазной границе, т. е.

$$A_a = \sigma(1 + \cos\theta),$$

где  $\sigma$  — коэффициент поверхностного натяжения расплава контактного материала;  $\theta$  — краевой угол смачивания — угол между поверхностью твердого тела и касательной к точке контакта с жидкостью на границе раздела с окружающей средой.

Автором для определения краевых углов смачивания  $\theta$  поверхности  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$  с контактными сплавами применялся оптический метод “лежащей капли” [7]. Коэффициент поверхностного натяжения  $\sigma$  определяли капельным методом [8].

Эксперименты показали, что при использовании в качестве контактного материала сплава Вуда краевой угол равен  $\sim 23$ – $24^\circ$ , а в случае сплава, мас. %: 57 Bi + 43 Sn составляет 21– $22^\circ$ .

При  $\sim 410$ – $415$  К поверхностное натяжение сплава Вуда и сплава, мас. %: 57 Bi + 43 Sn составляли 424 и 410 мН/м, соответственно.

Работа адгезии  $A_a$  для указанных контактных сплавов с поверхностью экструдированного образца твердого раствора  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$ , вычисленная из вышеуказанного выражения при температуре  $\sim 410$  и  $415$  К, составляет, соответственно, 780 и 850 мДж/м<sup>2</sup>.

Эти значения  $A_a$  свидетельствуют в пользу того, что хорошее смачивание вышеприведенными контактными сплавами поверхности экструдированных образцов твердого раствора  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$  обеспечивается за счет достаточно сильного физико-химического взаимодействия расплава контактного материала с экструдированными образцами твердого раствора  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$ .

#### Л и т е р а т у р а

1. Земсков В. С., Гусаков В. П., Рослов С. А. и др. Магнитотермоэлектрическая добротность твердых растворов висмут-сурьма, легированных теллуром: Докл. АН СССР. 1975. Т. 222. № 2. С. 316–318.
2. Tagiyev M. M. Magnetolectric properties of the transient contacts of  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$  solid solution with alloys, containing lead and tin atoms// International Journal of Infrared and millimeter waves USA. 1998. V. 19. № 12. P. 1759–1764.
3. Тагиев М. М., Абдинов Д. Ш. Магнитотермоэлектрические свойства экструдированных образцов твердого раствора  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$ , легированных свинцом// Неорг. материалы. 1995. Т. 31. № 11. С. 1405–1407.
4. Осинков Э. В. Твердотельная криогеника. — Киев: Наукова думка, 1977. — 235 с.
5. Белая А. Д., Заякин С. А., Земсков В. С., Копьев Л. М. Предел прочности на изгиб монокристаллов твердых растворов Bi—Sb// Металлы. 1990. № 4. С. 166–168.
6. 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. М., 1974. — 25 с.
7. Беляев А. И., Жемчужина Е. В. Поверхностные явления в металлургических процессах. — М.: Металлургияиздат, 1952. — 143 с.
8. Пугачевич П. П., Тимофеевич О. А. Экспериментальное исследование поверхностного натяжения амальгамы калия// ДАН СССР. 1951. Т. 59. № 5. С. 831–832.

## Magnetotermoelectrical and adhesive properties of commutation contacts of thermoelements on the basis of extruded samples of $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$ solid solution

M. M. Tagiyev

Institute of Photoelectronics of Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Republic of Azerbaijan

*A study of electrical and adhesive properties of transient contacts for extruded samples of  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$  solid solutions have been conducted with alloys: 25 Bi + 50 Pb + 12,5 Cd + 12,5 Sn with  $T_m = 343$  K (Wood's alloy) and 57 Bi + 45 Sn with  $T_m = 412$  K in temperature range  $\sim 77$ – $300$  K and magnetic field intensity ( $H$ ) up to  $\sim 74 \cdot 10^4$  A/m. It is shown, that resistance of transient contacts ( $r_k$ ) of the extruded of  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$  solid solution with the specified contact alloys at  $\sim 77$  K is determined by the resistance of the structure the solid solution  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$  — solid solution  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$ , heavily doped by Pb and Sn atoms, diffused from contact alloy into near-contact area of the  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$  solid solution. It is established, that by doping extruded samples of  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$  solid solution with Pb atoms it is possible to achieve reduction of a transient contact resistance  $r_k$  in  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$  solid solution — contact alloy interface.*

\* \* \*