

УДК 621. 315. 592

АНИЗОТРОПИЯ ТЕРМОЭДС ЭКСТРУДИРОВАННЫХ ОБРАЗЦОВ ТВЕРДОГО РАСТВОРА $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$

З.Ф.АГАЕВ, Г.Д.АБДИНОВА, М.М.ТАГИЕВ

*Институт Физики НАН Азербайджана,
370142, г. Баку, пр. Г. Джавида, 33*

Приведены результаты исследования анизотропии термоэдс ($\Delta\alpha$) экструдированных образцов твердого раствора $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}\langle\text{Pb}\rangle$ и влияние на значения $\Delta\alpha$ акцепторных примесей Pb и магнитного поля в интервале температур 80÷300К. Измерения проведены в образцах, неотожженных и прошедших отжиг при температуре 508К в течении 5 часов, вдоль и перпендикулярно оси экструзии.

Установлено, что в экструдированных образцах $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$ под действием магнитного поля и акцепторных примесей Pb анизотропия термоэдс достигает значений $\Delta\alpha=60\text{мкВ/К}$. Показано, что экструдированные образцы $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}\langle\text{Pb}\rangle$ могут применяться в анизотропных термоэлементах различной конструкции.

Термоэлектрическая эффективность Z анизотропных термоэлектрических элементов (АТЭ) и преобразователей на их основе меньше, чем обычных. Однако, АТЭ позволяют получить значительные электродвижущие силы (эдс) при малых градиентах температур, что обуславливает их широкое применение в калориметрических устройствах и тепломерах. Такие преобразователи отличаются также и высоким быстродействием [1].

Классическим материалом АТЭ по значению анизотропии термоэдс $\Delta\alpha$, который обусловлен сильно анизотропным вкладом T дырок в электропроводность [2], являются монокристаллы висмута. В [2] экспериментально установлена возможность повысить $\Delta\alpha$ в твердых растворах систем Bi – Sb в поперечном магнитном поле.

Однако слоистая структура монокристаллов Bi и систем Bi–Sb, приводящая к малой механической прочности, существенно ограничивает их практическое применение как АТЭ.

В данной работе приводятся результаты исследований анизотропии термоэдс экструдированных образцов твердого раствора $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$ и влияния на значение $\Delta\alpha$ акцепторных примесей Pb и магнитного поля в интервале температур 80÷300К.

В Таблице1 представлены зависимости абсолютного значения коэффициента термоэдс вдоль оси экструзии экструдированных образцов твердых растворов систем Bi–Sb от концентрации Sb. Видно, что с ростом концентрации Sb в твердом растворе до 15% абсолютное значение коэффициента термоэдс растет. Однако с ростом концентрации сурьмы анизотропия термоэдс уменьшается и при содержании $\text{Sb}>5\text{ат.}\%$ - исчезает [2]. Это обусловлено перестройкой энергетического спектра вблизи уровня Ферми при введении сурьмы в висмут, приводящей к уменьшению вклада в явлении переноса дырочного T^+ экстремума, ответственного за анизотропию дифференциальной термоэдс.

В Таблице2 представлены данные по анизотропии коэффициента термоэдс экструдированных образцов $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$ в зависимости от концентрации акцепторных атомов Pb, напряженности магнитного поля (H) и термообработки.

В сплавах систем Bi–Sb результирующие значения компонентов термоэдс определяются только легкими L^- -электронами и L^+ -дырками, дающими изотропный вклад в проводимость. Анизотропию термоэдс в этих сплавах можно восстановить понижением уровня Ферми акцепторной примесью или уменьшением величины и относительного

значения вклада в проводимость легких L^- и L^+ - групп по сравнению с T – экстремумами при воздействии магнитного поля.

Таблица 1.

Коэффициенты термоэдс образцов висмута и твердых растворов систем Bi–Sb.

Состав образцов	Экструдированные образцы, не прошедшие термообработку		Экструдированные образцы, прошедшие термообработку при ~508К в течение 5 часов		Монокристаллические образцы
	α , мкВ/К – вдоль оси экструзии		α , мкВ/К – вдоль оси экструзии		α_{33} , мкВ/К – вдоль тригональной оси [2]
	80 К	300 К	80 К	300 К	80 К
Bi	49	56	48	57	86
Bi ₉₇ Sb ₃	125	82	130	72	110
Bi ₉₅ Sb ₅	147	81	151	75	115
Bi ₈₈ Sb ₁₂	180	81	183	76	160
Bi ₈₅ Sb ₁₅	173	102	182	95	155

Результаты, представленные в Таблице2 показывают, что действительно, экструдированные образцы Bi₈₅Sb₁₅ с 0,005 и 0,05ат.%Pb, прошедшие термообработку обладают анизотропией коэффициента термоэдс $\Delta\alpha=56$ и $\Delta\alpha=60$ мкВ/К, соответственно, которые превышают значения $\Delta\alpha$ монокристаллов висмута. Значение анизотропии термоэдс нелегированных образцов Bi₈₅Sb₁₅ в магнитном поле с напряженностью $\sim 74 \times 10^4$ А/м достигает значения 40мкВ/К, что одного порядка с $\Delta\alpha$ для монокристаллов висмута. При этом удается получить анизотропный материал как n -, так и $-p$ типа проводимости.

Анизотропия термоэдс в исследованных образцах сохраняется до 300К, но с ростом температуры она значительно ослабляется.

В монокристаллах висмута и сплавах висмут–сурьма анизотропия электрических параметров обусловлена анизотропией поверхностей Ферми экстремумов, участвующих в проводимости и отличием в рассеянии носителей заряда в различных кристаллографических направлениях. При экструзии поликристаллического материала Bi₈₅Sb₁₅ образуется аксиальная текстура [3-5], т.е. часть зерен поликристалла ориентируется так, что их тригональная ось становится параллельной оси экструзии. Одновременно, в результате пластической деформации возникают различные структурные дефекты, в том числе деформационные. Эти дефекты преимущественно сосредотачиваются между плоскостями спайности [111] кристаллов. Указанные факторы приводят к анизотропии электрических параметров в экструдированных образцах Bi₈₅Sb₁₅.

С повышением температуры уровень химического потенциала постепенно повышается, а также начинает превалировать рассеяние на акустических фонах, что приводит к ослаблению анизотропии электрических параметров.

В отличие от электродвижущей силы (эдс) термопар, эдс развиваемая анизотропным термоэлементом, зависит от его геометрических размеров, что позволяет без коммутации, только путем выбора соотношения a/b (где a –длина, b – толщина в направлении градиента температуры анизотропного термоэлемента) получить необходимые напряжения [6]. Низкая механическая прочность монокристаллических образцов Bi и Bi-Sb существенно уменьшает возможность варьировать отношение a/b термоэлементов на их основе, а также изготовить термоэлементы различной конфигурации.

Таблица 2.

Коэффициент термоэдс образцов твердого раствора $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$ с примесью Pb.

Направление измерения	Содержание Pb, ат. %	Экструдированные образцы, не прошедшие термообработку		Экструдированные образцы, прошедшие термообработку после экструзии при 508К в течение 5 часов	
		α , мкВ/К		α , мкВ/К	
		80К	300К	80К	300К
Вдоль оси экструзии	0	- 172	- 94	-181	-95
	0,005	- 94	- 112	-22	-101
	0,05	+ 78	- 117	+24	-121
Перпендикулярно оси экструзии	0	-177	-98	-169	-87
	0,005	-88	-106	-78	-95
	0,05	+79	-135	+83	-113
$H=74 \times 10^4$ А/м					
Вдоль оси экструзии	0	-200	-120	-266	-132
	0,005	+7	-136	+187	-134
	0,05	+127	-135	+173	-143
Перпендикулярно оси экструзии	0	-190	-122	-225	-131
	0,005	+30	-130	+176	-125
	0,05	+126	-158	+157	-136

Значительная механическая прочность экструдированных образцов твердого раствора $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$ и $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$, легированного атомами Pb по сравнению с его монокристаллами и монокристаллами висмута устраняет указанные недостатки и позволяет рекомендовать эти материалы для анизотропных термоэлементов различной конструкции.

1. Л.И.Анатычук, *Термоэлементы и термоэлектрические устройства*. Киев, Наукова думка, (1979) 768.
2. А.Ф.Панарин, *Термоэлектрики и их применения*, Санкт–Петербург, ФТИ им. А. Ф. Иоффе РАН, (1999) 70.
3. С.С.Горелик, М.Я.Дашевский, *Материаловедение полупроводников и диэлектриков*, М., Металлургия, (1988) 574.
4. М.М.Тагиев, *Термоэлектрики и их применения*, Санкт–Петербург, ФТИ им. А.Ф.Иоффе РАН, (2000) 1370.
5. М.М.Тагиев, З.Ф.Агаев, Д.Ш.Абдинов, *Неорганические материалы*, **30** (1994) 375.
6. W. Thomson, *Math. Phys. Pap.*, **1** (1982) 266.

**EKSTRUZIYA OLUNMUŞ $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$ BƏRK MƏHLULU NÜMUNƏLƏRİNİN
TERMO E.H.Q. – NİN ANİZOTROPİYASI**

Z. F. AĞAYEV, G. C. ABDİNOVA, M. M. TAĞIYEV

Ekstruziya olunmuş $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}<\text{Pb}>$ nümunələrinin 80÷300K temperatur intervalında və maqnit sahəsi intensivliyinin $74 \cdot 10^4 \text{A/m}$ qiymətinə qədər termo e.h.q.–nin anizotropiyası ($\Delta\alpha$) tədqiq edilmişdir. Ölçmələr termiki işləmə keçməmiş və 508K temperaturda 5 saat termiki işləmə keçmiş nümunələrdə, ekstruziya oxuna paralel və perpendikulyar istiqamətlərdə aparılmışdır.

Göstərilmişdir ki, maqnit sahəsi və akseptor Pb aşqarlarının təsiri ilə $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$ ekstruziya nümunələrində $\Delta\alpha \approx 60 \text{mkV/K}$ qiymətini almaq mümkündür. Bu əsasda ekstruziya olunmuş $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}<\text{Pb}>$ materialından anizotrop termoelementlərin yaradılması üçün istifadə oluna bilər.

**THERMOELECTRIC POWER COEFFICIENT ANISOTROPY OF THE EXTRUDED SAMPLES OF
 $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$ SOLID SOLUTION**

Z. F. AGAEV, G. D. ABDİNOVA, M. M. TAGIEV

The thermoelectric power coefficient anisotropy ($\Delta\alpha$) of the extruded samples of $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}<\text{Pb}>$ solid solution over the temperature range 80÷300K and the magnetic field strength up to $74 \cdot 10^4 \text{A/m}$ have been investigated. The measurements were made along and perpendicular relatively to extrusion axis without and annealing at 508K during 5 hour.

It was shown that influence of the magnetic field and acceptor Pb doping of $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$ extruded samples leads to increasing of thermoelectric power anisotropy $\Delta\alpha \approx 60 \mu\text{V/K}$. Anisotropic thermoelectric converters based on $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}<\text{Pb}>$ extruded materials are efficient for practical applications.

Редактор: Ш.Нагиев