

УДК 621.315.592

## **Гибридный охладитель на основе экструдированных образцов твердых растворов $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$**

*М. М. Тагиев, Н. Э. Гасанов, Г. Д. Абдинова*

Институт фотоэлектроники НАН Азербайджана, г. Баку, Республика Азербайджан

***Разработан, изготовлен и испытан гибридный охладитель мощностью ~24 Вт, холодопроизводительностью ~25 мВт, на уровень температуры ~150 К.***

На основе полученных авторами результатов по исследованию термо- и магнитотермоэлектрических свойств экструдированных образцов  $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$ ,  $\text{Bi}_{0,5}\text{Sb}_{1,5}\text{Te}_3$ ,  $\text{Bi}_2\text{Te}_{2,7}\text{Se}_{0,3}$  создан и

испытан электронный твердотельный гибридный охладитель на уровень температуры ~150 К.

Гибридный охладитель состоит из двух блоков. Первый блок состоит из четырехкаскадного

охлаждателя, работающего на основе эффекта Пельтье. Мощность его ~24 Вт, холодопроизводительность ~250 мВт. Второй блок представляет собой однокаскадную из двух термопар батарею, работающую на основе эффекта Пельтье в магнитном поле (~0,3 Тл). При этом в охлаждателе холодопроизводительность в холодильнике достигает ~20 мВт, при температуре теплопоглощающей поверхности ~150 К.

В первом блоке использовались экструдированные образцы *p*-типа  $\text{Bi}_{0,5}\text{Sb}_{1,5}\text{Te}_3$  и *n*-типа  $\text{Bi}_2\text{Te}_{2,7}\text{Se}_{0,3}$ ; *n*-ветви четвертого каскада первого блока изготовлены из экструдированных образцов твердого раствора  $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$  с 0,005 ат. % Pb [1]; ветви термоэлементов второго блока состояли из экструдированных образцов *p*- $\text{Bi}_{0,5}\text{Sb}_{1,5}\text{Te}_3$  и экструдированного материала *n*-типа  $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$ .

Для определения оптимизации параметров каскадов были исследованы электрические, термоэлектрические и тепловые свойства использованных материалов в интервале температур 77—300 К и напряженности магнитного поля до  $74 \cdot 10^4$  А/м.

При расчете и конструировании основных параметров гибридных охладителей использовались формулы для режима максимальной холодопроизводительности [2].

Технология изготовления гибридного охладителя включает в себя ряд операций, производимых в определенной последовательности.

Известно, что эффективность (реального полупроводникового термоэлемента существенно зависит от сопротивления контакта  $r_k$  на границе раздела полупроводника с контактным материалом [3]

$$Z = \alpha^2 / (\chi(\rho + r_k/l)),$$

где  $l$  — длина ветвей;  $\alpha$ ,  $\chi$  и  $\rho$  — коэффициенты термоЭДС, теплопроводности и удельное сопротивление ветвей, соответственно.

Это особенно сказывается при изготовлении термоэлементов с малой длиной ветвей. При прочих равных условиях сопротивление контакта на границе раздела полупроводника с контактным материалом зависит от способа обработки поверхности полупроводника перед нанесением контактов.

Учитывая это, перед нанесением контактов при комнатной температуре осуществляли электрохимическое травление торцов *p*-ветвей в растворе  $\text{KOH} + \text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6 + \text{H}_2\text{O}$  в течение 20—25 с и плотности тока 0,4—0,5 А/см<sup>2</sup> и химическое травление торцов *n*-ветвей в растворе  $\text{HCl} + \text{HNO}_3$  (1:1) в течение 80—100 с [4].

Результаты исследования термоэлектрических параметров гибридного охладителя приведены в

табл. 1. Параметры 4-каскадного электронного охладителя, работающего на основе эффекта Пельтье, представлены в табл. 2.

Таблица 1

Температура теплопоглощающей поверхности гибридных 5-каскадных охладителей при температуре теплопоглощающей поверхности (293±2) К

Показатели	Магнитотермо-электрический		Термоэлектрический	
	I	II	III	IV
Температура, К	150±2	153±2	170±2	175±2
Мощность, Вт	25		25	
Холодопроизводительность, мВт	20		40	

Примечание.

*n* — ветвь низкотемпературного каскада изготовлена на основе:

- I — монокристаллов  $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$ ;
- II — экструдированных образцов  $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$ ;
- III — экструдированных образцов  $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$ ;
- IV — экструдированных образцов  $\text{Bi}_2\text{Te}_{2,7}\text{Se}_{0,3}$ .

Таблица 2

Основные параметры модулей 4-каскадного термоэлектрического ТЭО

Показатели	Значения показателей
Максимальная температура холодного спая при температуре 305 К и в вакууме $\sim 10^{-1}$ Па, К	193±5
Холодопроизводительность, мВт	250
Охлаждаемая площадь, мм <sup>2</sup>	6×7
Напряжение питания, В	12±0,5
Сила питающего тока, А	1,9±2,0
Потребляемая мощность, Вт	21±24
Время выхода на рабочий режим, мин	3

Для сравнения в табл. 1 также приведены результаты исследования 5-каскадного термоэлектрического охладителя для случая, когда *n*-ветвь второго блока была изготовлена на основе *n*-типа  $\text{Bi}_2\text{Te}_{2,7}\text{Se}_{0,3}$  и экструдированного материала *n*- $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$ . В обоих случаях *p*-ветвь низкотемпературного второго блока (5-й каскад), как и в случае магнитотермоэлектрического охладителя, изготовлена на основе *p*- $\text{Bi}_{0,5}\text{Sb}_{1,5}\text{Te}_3$ .

Испытания холодильников проводили в вакууме  $10^{-1}$  Па. Температуру горячих спаев контролировали с помощью хромель-копелевой термопары, а температуру холодного спая гибридного охладителя — с помощью предварительно оттарированного терморезистора типа СТЗ-24 а.

Как видно из табл. 1, при использовании второго блока в качестве магнитотермоэлектрического охладителя наилучшим материалом для *n*-ветви этого блока является монокристалл

$\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$ . Несмотря на то, что по перепаду температуры  $\Delta T$  термоэлементы на основе экструдированных образцов уступают  $\Delta T$  термоэлементов на основе монокристаллически образцов на 3–4 К, высокая механическая прочность экструдированного материала делает его весьма выгодным для использования в качестве термоэлементов каскадов.

Это особенно важно, если учесть, что термоэлектрические охладители и приборы на их основе в эксплуатационных условиях подвергаются различным механическим и климатическим воздействиям. Этими воздействиями, предусмотренными для приборов соответствующего класса, являются вибрационные нагрузки в диапазоне частот 10–2500 Гц с ускорением до 10 g; многократные ударные нагрузки с ускорением до 15 g; одиночные ударные нагрузки с пиковым ускорением 100 g, с длительностью от 0,5 до 2,0 мс на теплоустойчивость при 343 К и холодоустойчивость при температуре  $\sim 213$  К в течение 1 ч; на устойчивость смены температур (термоудар) от 343 до 213 К в течение 3 мин.

Кроме того, высокая механически прочность экструдированных образцов обеспечивает и более высокий процент выхода термоэлементов при их резке из слитков, обработке, залуживании, что значительно снижает себестоимость охладителя.

Из табл. 1 следует, что при отсутствии магнитного поля, т. е. при использовании второго блока как термоэлектрического охладителя пе-

репад температуры в случае экструдированных образцах  $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$  на  $\sim 5$  К больше, чем в случае с традиционного термоэлектрического материала  $n$ -типа  $\text{Bi}_2\text{Te}_{2,7}\text{Se}_{0,3}$ . Поэтому экструдированный материал  $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$  может эффективно применяться в низкотемпературных каскадах многокаскадных термоэлектрических охладителей.

Таким образом, изготовлены и исследованы экспериментальные образцы термоэлектрического и гибридного охладителя с применением высокоэффективных и механически прочных экструдированных образцов твердых растворов  $n$ - $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$ ,  $p$ - $\text{Bi}_{0,5}\text{Sb}_{1,5}\text{Te}_3$ ,  $n$ - $\text{Bi}_2\text{Te}_{2,7}\text{Se}_{0,3}$ , на уровень температуры  $\sim 150$  К.

#### Л и т е р а т у р а

1. Tagiev M. M. High-temperature magnetothermoelectrical extruded material on the basis of  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$  solid solution// USA. SPIE. Photoelectronics and Night Vision Devices. 2000. V. 4340. P. 344–347.
2. Вайнер А. Л. Каскадные термоэлектрические источники холода: — М.: Сов. радио, 1976. — 136 с.
3. Стильбанс Л. С. О коммутации полупроводниковых термоэлементов// ЖТФ, 1957. Т. 27. № 1. С. 212–215.
4. Абдуллаев Г. Б., Алиева Т. Д., Ахундова Н. М., Абдинов Д. Ш., Салаев Э. Ю. Влияние обработки поверхностей термоэлементов на их термоэлектрические свойства: Докл. АН Азерб. ССР. 1980. Т. 36. № 4. С. 23–24.

## The hybrid cooler on the basis of extruded samples of $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$ solid solutions

M. M. Tagiev, N. E. Gasanov, G. D. Abdinova  
Institute of Photoelectronics, Baku, Republic of Azerbaijan

*The hybrid cooler has been designed, manufactured and tested. It has a power of  $\approx 24$  W, a cool productivity of  $\approx 25$  mW at the temperature level of  $\approx 150$  K.*