

УДК 621.315.592

# ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕРМОЭЛЕМЕНТЫ ДЛЯ ОБЛАСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ 90-300К

Т.Д.АЛИЕВА, Г.Д.АБДИНОВА, Д.Ш.АБДИНОВ

Министерства Науки и Образования, Институт Физики  
AZ 1143, Азербайджан, г. Баку, пр. Г.Джавида, 131  
[tunzalaaliyeva@mail.ru](mailto:tunzalaaliyeva@mail.ru)

---

Получена: 07.01.2024

Принята к печати: 02.03.2024

Ключевые слова: твердый раствор, монокристалл, термоэлемент, термоэлектрическая эффективность.

Удобством в эксплуатации, массоэнергетическим характеристикам, надежностью работы в различных внешних условиях, большим сроком службы, легкой управляемостью и т.д. термоэлектрические преобразователи имеют ряд преимуществ перед традиционными электрическими генераторами и холодильниками. Это обеспечивает их широкое применение в различных областях современной электронной техники. Эффективность таких преобразователей определяется, в основном, термоэлектрической добротностью  $Z_T = \alpha^2 \sigma T / \chi$  ( $\alpha$ -коэффициент термоэдс,  $\sigma, \chi$ - удельные электропроводность и теплопроводность термоэлектрика,  $T$  - температура) применяемых в них термоэлектриков и сопротивлением переходных контактов  $r_k$  металл-полупроводник ( $Z_T = Z / (1 + 2r_k \sigma / l)$ , где  $l$  - высота термоэлемента) в них [1-3]. Указанные параметры термоэлектриков и  $r_k$  переходных контактов зависят от температуры и взаимосвязаны между собой. Поэтому коэффициенты  $Z$ ,  $Z_T$ , данного термоэлектрика и термоэлемента соответственно, существенно зависят от температуры и каждый термоэлектрик в определенной температурной области

---

## РЕФЕРАТ

Выращены монокристаллы твердых растворов n- $\text{Bi}_{15}\text{Sb}_{15}$ , p- $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$ , n- $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}$ , n- $\text{Pb}_{0.75}\text{Sn}_{0.25}\text{Te}$ <math>\text{Pb}</math>, исследованы их термоэлектрические свойства в интервале ~90–300К, созданы на их основе различные одночетырехкаскадные термоэлектрические охлаждающие модули. Показано, что разработанные модули (охладители) могут понизить температуры маломощных электронных изделий до ~195К от температуры окружающей среды ~300К. Эти охладители внедрены в различных электронных преобразователях и сохраняют актуальность на внедрение.

обладает приемлемым для практики значением добротности.

Для термоэлектрического охлаждения в области температур  $\sim 77\text{--}150\text{K}$  наиболее высокую эффективность имеют твердые растворы на основе систем Bi-Sb. В температурном интервале  $\sim 150\text{--}350\text{K}$  применяются твердые растворы систем  $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Sb}_2\text{Te}_3$  и  $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Bi}_2\text{Se}_3$ . Для среднетемпературных (область 500-700К) термоэлектрических генераторов подходящими являются теллуриды IV группы элементов и твердые растворы на их основе [4-7].

В данной работе представлены некоторые результаты проведенных нами исследований по получению высокоэффективных (пригодных для практического применения) термоэлектриков на основе  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$ ,  $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}$ ,  $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$ ,  $\text{PbTe}$ ,  $\text{Pb}_{0.75}\text{Sn}_{0.25}\text{Te}$ , созданию и испытанию на их основе различных охлаждающих термоэлементов и устройств.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Синтез твердых растворов  $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3} + 0,08\text{вес.\%CdCl}_2$  и  $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3 + 3,7\text{вес.\%Te}$  (эти составы имеют наибольшую термоэлектрическую эффективность при  $\sim 300\text{K}$ ) проводился в кварцевых ампулах под вакуумом  $\sim 10^{-3}\text{Па}$  совместным сплавлением компонентов при  $\sim 875\text{K}$ . В качестве исходных материалов использовались висмут марки Ви-000, селен марки В5, теллур марки Т-сЧ, сурьма марки Су-0000. Исходные компоненты как в данном, так и в других случаях предварительно были очищены от поверхностной окисной пленки, а теллур также от возможных примесей методом зонной плавки. Монокристаллы данных твердых растворов были выращены методом Бриджмена в установленном режиме.

Монокристаллы  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$  выращивались методом вытягивания по Чохральскому, а  $\text{PbTe}$ ,  $\text{Pb}_{0.75}\text{Sn}_{0.25}\text{Te}$  были выращены методом Бриджмена из элементов свинца марки С-0000, олова марки ОСЧ-000, теллура марки Т-сЧ. Синтез составов  $\text{PbTe}$ ,  $\text{Pb}_{0.75}\text{Sn}_{0.25}\text{Te}$  проводили в вакуумированных до  $10^{-3}\text{Па}$  кварцевых ампулах с конусообразным концом совместным сплавлением исходных компонентов при  $\sim 1245\text{K}$  в течение 6 часов. Внутренняя поверхность кварцевых ампул во всех случаях предварительно графитизировалась. Монокристаллы выращивались в тех же ампулах, в которых осуществлялся синтез составов.

Монокристалличность выращенных слитков соединений и твердых растворов была подтверждена рентгеновской дифракцией, их однофазность и однородность микроструктурным анализом и измерением электрического сопротивления различных участков выращенных слитков.

Из монокристаллических слитков на электроискровой установке были вырезаны экспериментальные образцы в форме прямоугольных параллелепипедов с размерами  $3 \times 6 \times 12\text{мм}$ , а также ветви термоэлементов с различными геометрическими размерами. Удаление нарушенного слоя, образующегося на боковых и торцевых поверхностях образцов и

ветвей при резке, осуществлялось электрохимическим травлением в специальном растворе.

Термоэлектрические параметры образцов ветвей, термоэлементов и созданных на их основе охладителей определялись методами, описанными в [8].

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Термоэлектрические параметры (электропроводность  $\sigma$ , коэффициенты термоэдс  $\alpha$  и теплопроводности  $\chi$ ) выращенных кристаллов исследовали в интервале температур от  $\sim 90$  до  $300\text{K}$ . Результаты исследований приведены в Таблице 1.

Как следует из данных таблицы, в температурном интервале  $\sim 90$ - $180\text{K}$  наивысшей термоэлектрической эффективностью обладают монокристаллы  $n\text{-Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$ . С ростом температуры эффективность этого материала падает и при  $\sim 300\text{K}$  составляет  $1,4 \cdot 10^{-3}\text{K}^{-1}$ . Выше  $\sim 180\text{K}$  эффективность монокристаллов твердых растворов  $p\text{-Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$  и  $n\text{-Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}$  превосходит термоэлектрическую добротность кристаллов  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$  и при  $\sim 300\text{K}$  достигает значений  $3,18 \cdot 10^{-3}\text{K}^{-1}$  и  $3,14 \cdot 10^{-3}\text{K}^{-1}$ , соответственно. Эти значения  $Z$  при  $300\text{K}$  не уступают соответствующим значениям термоэлектрической эффективности для данных материалов, имеющихся в литературе [9-11]. Термоэлектрическая эффективность кристаллов твердого раствора  $\text{Pb}_{0.75}\text{Sn}_{0.25}\text{Te}$  с  $1,0\text{ат.\%}$  сверхстехиометрического свинца с ростом температуры растет и в области температур  $250\text{K}$  достигает значения  $1,91 \cdot 10^{-3}\text{K}^{-1}$ , а при  $300\text{K}$   $\sim 1,70 \cdot 10^{-3}\text{K}^{-1}$ . Значения эффективности для твердого раствора  $\text{Pb}_{0.75}\text{Sn}_{0.25}\text{Te}$  в порядке значений для термоэлектрической эффективности кристаллов  $\text{PbTe}$  при  $500$ - $600\text{K}$  [4,5].

Таблица 1

Термоэлектрические параметры монокристаллов  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$ ,  $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$ ,  $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}$ ,  $\text{Pb}_{0.75}\text{Sn}_{0.25}\text{Te}$ .

Параметр	T, K							
	90	130	150	180	200	250	280	300
n- $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$								
$\alpha, \text{мкВ/К}$	134	120	118	114	111	106	103	102
$\sigma, \text{Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$	10750	10000	9520	9020	8330	7300	6670	6250
$\chi, \text{Вт/м}\cdot\text{К}$	3,44	3,69	3,78	4,10	4,16	4,50	4,58	4,60
$Z \cdot 10^{-3}, \text{К}^{-1}$	5,61	3,90	3,51	2,86	2,46	1,82	1,55	1,40
p- $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$								
$\alpha, \text{мкВ/К}$	167	173	176	181	187	198	210	216
$\sigma, \text{Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$	1360	1280	1240	1190	1170	1700	1050	1030
$\chi, \text{Вт/м}\cdot\text{К}$	1,89	1,75	1,69	1,63	1,60	1,54	1,52	1,51
$Z \cdot 10^{-3}, \text{К}^{-1}$	2,01	2,19	2,27	2,39	2,56	2,80	3,05	3,18
n- $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}$								
$\alpha, \text{мкВ/К}$	107	138	153	170	175	185	203	210
$\sigma, \text{Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$	2650	2290	2000	1770	1590	1280	1130	1060
$\chi, \text{Вт/м}\cdot\text{К}$	2,32	2,01	1,91	1,79	1,71	1,62	1,54	1,49
$Z \cdot 10^{-3}, \text{К}^{-1}$	1,31	1,70	2,45	2,86	2,85	2,70	3,02	3,14
n- $\text{Pb}_{0.75}\text{Sn}_{0.25}\text{Te} < 1,0 \text{ ат. \% Pb} >$								
$\alpha, \text{мкВ/К}$	37,6	61,3	76,2	95,3	123,2	147,5	159,8	160,1
$\sigma, \text{Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$	8712	52114	198	3036	2518	1690	1145	1026
$\chi, \text{Вт/м}\cdot\text{К}$	4,37	3,41	3,00	2,60	2,35	1,93	1,71	1,57
$Z \cdot 10^{-3}, \text{К}^{-1}$	0,28	0,57	0,82	1,06	1,62	1,91	1,72	1,70

Нами разработаны, изготовлены экспериментальные образцы одно, двух, трех- и четырехкаскадных термоэлектрических охладителей на основе указанных материалов. В качестве термоэлектриков в одно-четырехкаскадных охладителях использовались кристаллы

p- $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$  и n- $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}$ . В четвертом каскаде четырехкаскадного охладителя проводились в качестве n-ветвей и кристаллы  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$ . Основные параметры некоторых таких охладителей представлены в Таблице 2.

Таблица 2

Основные параметры термоэлектрических модулей при температуре окружающей среды  $\sim 295\text{K}$ .

Количество каскадов	Оптимальный ток питания, А	Электрическая мощность, Вт	Холодопроизводительность, мВт	Минимальная температура теплопоглощающей поверхности, К	Площадь теплопоглощающей поверхности, $\text{мм}^2$	Время выхода теплопоглощающей поверхности на минимальную температуру, с
1	2,0	0,9	200	239	49	25
2	2,0	1,3	120	220	12	45
3	2,0	4,2	100	205	16	70
4	6,0	1,0	80	195	28	90

При коммутации термоэлементов были использованы составы: в случае кристаллов  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$  эвтектика мас.% 50Bi+25Pb+12,5Sn+12,5Cd; в случае кристаллов  $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$  и  $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}$  эвтектика мас.% 57Bi+43Sn; в случае кристаллов  $\text{Pb}_{0.75}\text{Sn}_{0.25}\text{Te}$  эвтектика мас.% 95In+4Ag+1Au с температурой плавления ~343К, ~412К, ~413К, соответственно. Эти сплавы создают с указанными кристаллами омические контакты с переходными сопротивлениями  $\sim 10^{-5}\text{Ом}\cdot\text{см}^2$ , работой адгезии ~800 мДж/мм<sup>2</sup>[12-15].

В процессе электроискровой резки образцов из слитков кристаллов, а также ветвей термоэлементов из образцов на поверхности реза образуется нарушенный по структуре и составу поликристаллический слой толщиной до ~20мкм, значительно ухудшающий термоэлектрические параметры этих ветвей [16,17]. При электрохимическом травлении в растворах 1л  $\text{H}_2\text{O}+83\text{г KOH}+67\text{г}$  для образцов п-типа и 1л  $\text{H}_2\text{O}+90\text{г NaOH}+55\text{г C}_4\text{H}_6\text{O}_6$  для образцов р-типа при плотности тока ~0,5 А/см<sup>2</sup> в течение ~50с с поверхности ветвей указанный поликристаллический слой с изгибом атомных плоскостей удаляется. Фрагментация же кристаллитов сохраняется и после длительного травления.

На торцы ветвей, обработанных таким способом, наносятся (залуживанием) соответствующие контактные сплавы. Из Таблицы 2 видно, что термоэлектрические охлаждающие модули позволяют понизить температуры до ~195К.

На основе этих модулей были разработаны, изготовлены, испытаны и внедрены в производство различные термоэлектрические охладители с требуемой конструкцией. В качестве теплопередатчиков между каскадами, а также термоэлектрической батареей с корпусом охладителя были использованы керамические пластинки из окиси бериллия толщиной ~1мм. На их основе созданы и внедрены охлаждающие термоэлектрическими охладителями инфракрасные фотоприемники различных назначений.

Монокристаллы  $\text{Pb}_{0.75}\text{Sn}_{0.25}\text{Te}$  с 1ат.% сверхстехиометрическим свинцом обладают

п-типом проводимости, достаточно низкой теплопроводностью ( $\sim 1,57\cdot 10^{-2}\text{Вт}/\text{см}\cdot\text{К}$ ), коэффициентом термоэдс порядка~160мкВ/К. Термоэлектрическая эффективность этого состава при ~300К достигает  $1,7\cdot 10^{-3}\text{К}^{-1}$ .

Изготовлен по конструкции, указанной в [3], термоэлемент на основе кристалла  $\text{Pb}_{0.75}\text{Sn}_{0.25}\text{Te}<1,0\text{ ат\%Pb}>$  и экспериментально определена его реальная термоэлектрическая эффективность по выражению

$$Z_p = (T - T_{\text{омин}})/T_{\text{омин}}^2.$$

В качестве р-ветви в этом термоэлементе использована ветвь, изготовленная из монокристалла  $\text{Pb}_{0.75}\text{Sn}_{0.25}\text{Te}$  с электропроводностью ~773,2 Ом<sup>-1</sup>см<sup>-1</sup>, коэффициентами термоэдс~110 мкВ/К и теплопроводностью  $2,06\cdot 10^{-2}\text{ Вт}/\text{см}\cdot\text{К}$  при ~300К. Реальная эффективность такого термоэлемента при 300К оказалась равной  $\sim 0,80\cdot 10^{-3}\text{К}^{-1}$ .

Таким образом, выращенные монокристаллы твердых растворов  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$ ,  $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$ ,  $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}$ ,  $\text{Pb}_{0.75}\text{Sn}_{0.25}\text{Te}$  имеют достаточно высокую термоэлектрическую добротность в различных областях температур от ~90 до 300К и пригодны для изготовления термоэлектрических охладителей, позволяющих понизить температуры до ~195К. Такие охладители внедрены в производство различных электронных преобразователей и продолжают сохранять возможности для внедрения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследованием термоэлектрических свойств выращенных монокристаллов  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$ ,  $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$ ,  $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}$ ,  $\text{Pb}_{0.75}\text{Sn}_{0.25}\text{Te}<1,0\text{ ат\%Pb}>$  и изготовленных на их основе термоэлементов показано, что эти материалы позволяют создать охлаждающие преобразователи, понижающие температуру до ~195К. Некоторые из этих охладителей внедрены в производство и могут быть использованы в различных областях электронной техники для охлаждения преобразователей с малыми тепловыделениями.

1. А.Ф.Иоффе. *Полупроводниковые термоэлементы*, М.-Л.: Изд. АН СССР, (1960) 188.
2. Л.С.Стильбанс. *Полупроводниковые термохолодильники*, Л.: Изд.-во АН СССР, (1957) 138.
3. А.Л.Вайнер. *Каскадные термоэлектрические источники холода*, М.: Сов.радио, (1976) 136.
4. Ю.И.Равич, Б.А.Ефимова, И.А.Смирнов. *Методы исследования полупроводников в применении к халькогенидам свинца PbTe, PbSe, PbS*, М.: Наука, (1968) 384.
5. А.С.Охотин, А.А.Ефимов, В.С.Охотин, А.С.Пушкарский. *Термоэлектрические генераторы*, М.: Атомиздат, (1966) 320.
6. А.В.Дмитриев, И.П.Звягин. *Современные тенденции развития физики термоэлектрических материалов*, УФН, **180** (2010) 821-838.
7. Д.Ш.Абдинов, Э.А.Гаджиева, Б.Ш.Бархалов, В.С.Земсков, Э.Ю.Салаев. *Магнитотермоэлектрические свойства термоэлементов на основе кристаллов твердых растворов висмут-сурьма и теллурид висмута*, ФТП, 17 (1983) 185-186.
8. А.С.Охотин, А.С.Пушкарский, Р.П.Боровикова, В.А.Симонов. *Методы измерения характеристик термоэлектрических материалов и преобразователей*, М.: Наука, (1974) 168.
9. D.Li, R.R.Sun, X.Y.Qin. *Thermoelectric properties of p-type (Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>)<sub>x</sub>(Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>)<sub>1-x</sub> prepared by spark plasma sintering*, *Intermetallics*, **19** (2011) 2002-2005.
10. S.Wang, W.Xie, H.Li, X.Tang. *Enhanced performances of melt spun Bi<sub>2</sub>(Te,Se)<sub>3</sub> for n-type thermoelectric legs*, **19** (2011) 1024-1031.
11. З.Ф.Агаев, Т.Д.Алиева, Н.М.Ахундова, Д.Ш.Абдинов. *О температурной зависимости электропроводности твердых растворов системы Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>-Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>, Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>-Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>*, Неорган. материалы, **28** (1992) 1577-1578.
12. Т.Д.Алиева, Д.Ш.Абдинов. *Физико-химические и электрические явления на границе раздела кристаллов твердых растворов систем Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>-Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> и Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>-Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> с контактными материалами*, Неорган. материалы, **33** (1997) 27-38.
13. Н.М.Ахундова, Т.Д.Алиева. *Влияние отжига на электрические свойства структур (Bi-Sn)-Pb<sub>0.75</sub>Sn<sub>0.25</sub>Te<Sn> и (In+Ag+Au)-Pb<sub>0.75</sub>Sn<sub>0.25</sub>Te<Sn>*, Неорган. материалы, **59** (2023) 23-27.
14. Г.Д.Абдинова, Т.Д.Алиева. *Термоэлектрические свойства кристаллов твердого раствора Pb<sub>0.75</sub>Sn<sub>0.25</sub>Te<Pb> и термоэлементов на их основе*, *Transactions of National Academy of Science of Azerbaijan, series of physics-mathematical and technical sciences, Physics and Astronomy*, **XLIII** №2 (2023) 100-104.
15. Т.Д.Алиева, Г.Д.Абдинова, Н.М.Ахундова, Д.Ш.Абдинов. *Термоэлектрические свойства кристаллов Pb<sub>0.75</sub>Sn<sub>0.25</sub>Te<Sn> и термоэлементов на их основе*, *Transactions of National Academy of Science of Azerbaijan, series of physics-mathematical and technical sciences, Physics and Astronomy*, **XLIII** № 5 (2023) 34-41.
16. Г.Б.Абдулаев, Т.Д.Алиева, Д.Ш.Абдинов, Э.Ю.Салаев. *Влияние обработки поверхности термоэлементов на их термоэлектрические свойства*, ДАН Азерб. CCP, **46** №4 (1980) 22-24.
17. Т.Д.Алиева, Д.Ш.Абдинов, Э.Ю.Салаев. *Влияние обработки поверхности термоэлектрических материалов на свойства термоэлементов, изготовленных из твердых растворов систем Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>-Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>, Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>-Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>*, Неорган. материалы, **17** (1981) 1773-1776.

## 90-300K TEMPERATUR İNTERVALI ÜÇÜN TERMOELEKTRİK MATERİALLARI VƏ TERMOELEMENTLƏR

T.C.ƏLİYEVA, G.C.ABDİNOVA, C.Ş.ABDİNOV

n-Bi<sub>85</sub>Sb<sub>15</sub>, p-Bi<sub>0.5</sub>Sb<sub>1.5</sub>Te<sub>3</sub>, n-Bi<sub>2</sub>Te<sub>2.7</sub>Se<sub>0.3</sub>, n-Pb<sub>0.75</sub>Sn<sub>0.25</sub>Te<1,0at.%Pb> monokristalları göyərdilərək onların 90÷300K intervalında termoelektrik xassələri tədqiq olunmuşdur. Bu materiallar əsasında bir-dördkəskadlı soyuducu termoelektrik modulları işlənmiş, hazırlanmış və sinəqdan keçirilmişdir. Göstərilmişdir ki, işlənmiş soyuducular ətraf mühitin temperaturu 300K-dən ~195K-dək soyutma vərə bilirlər. Soyuducular istehsalata tətbiq olunmuş və indi də tətbiq imkanlarının saxlayırlar.

**THERMOELECTRIC MATERIALS AND THERMOELEMENTS  
AT TEMPERATURE LEVEL 90-300K**

**T.D.ALIEVA, G.J.ABDINOVA, D.SH.ABDINOV**

Single crystals of solid solutions n-Bi<sub>85</sub>Sb<sub>15</sub>, p-Bi<sub>0.5</sub>Sb<sub>1.5</sub>Te<sub>3</sub>, n-Bi<sub>2</sub>Te<sub>2.7</sub>Se<sub>0.3</sub>, n-Pb<sub>0.75</sub>Sn<sub>0.25</sub>Te<Pb> were grown, their thermoelectric properties were studied in the range ~ 90-300K, and created on their basis various one- to four-stage thermoelectric cooling modules. It is shown that the developed modules (coolers) can reduce the temperature of low-power electronic products to ~195K from the ambient temperature ~300K. These coolers are implemented in various electronic converters and remain relevant for implementation.