

РАЗРАБОТКА И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ СРЕДНЕТЕМПЕРАТУРНЫХ ТЕРМОБАТАРЕЙ ТРУБЧАТОЙ КОНСТРУКЦИИ ИЗ ВЕТВЕЙ ТРАПЕЦИВИДНОЙ ФОРМЫ

Гречко Н.И., Снапян А.Х., Ковырзин А.В., Бабилян С.О., Суворцев В.Г., Судак Н.М., Квициния Р.Ч., Инглизьян П.Н., Михеев В.К., Лазба Б.А.

Сухумский физико-технический институт АНА, Сухум, Абхазия
sfti-pavel@mail.ru

При создании трубчатых среднетемпературных термобатарей (ТТБ) и модулей для канала аварийного расхолаживания РУ БРЕСТ-ОД-300 возникла необходимость обеспечить возможность реверса «холодных» и «горячих» сторон. При реверсе коммутация как наружных, так и внутренних термоэлектрических спаев ветвей, термоэлементов и термобатарей должна быть симметричной и выдерживать температуру, превышающую $\sim 500^\circ\text{C}$. Кроме того, трубчатые термобатареи с использованием термоэлектрических материалов должны работать как в прямом, так и в обратном нагреве.

При разработке и изготовлении ТТБ использованы среднетемпературные термоэлектрические материалы. Так, в качестве n-ветви применялся теллурид свинца, легированный йодистым свинцом, а p-ветвь – теллурид германия с содержанием 3 мол.% теллурида висмута и легированный медью [1,2].

Среднетемпературные термоэлектрические материалы получены синтезом исходных компонентов в вакуумированных кварцевых ампулах, откаченных до давления $\sim 10^{-3}$ мм.рт.ст. При этом теллурид свинца n-типа синтезирован при температуре $\sim 1100^\circ\text{C}$, а теллурид германия при $\sim 1050^\circ\text{C}$. Процесс плавки исходных компонентов проходил в течение 30 мин. при непрерывном покачивании печи в горизонтальной плоскости, что способствовало перемешиванию расплава и получению однородных среднетемпературных материалов. Синтезированные слитки n- и p-типа измельчали в порошок с последующим прессованием брикетов, которые проходили стадию термообработки в среде аргона при температурах для теллурида свинца $\sim 600^\circ\text{C}$ и теллурида германия при $\sim 550^\circ\text{C}$ в течение 50 часов.

Термообработанные среднетемпературные брикеты n- и p-типа измельчали в порошок с размером $\sim 0,315$ мм и использовали для

прессования термоэлектрических заготовок. Режимы прессования термоэлектрических заготовок диаметром ~ 45 мм и высотой ~ 7 мм представлены в таблице 1[3,4].

Таблица 1.

Технологические режимы горячего прессования среднетемпературных заготовок n- и p-типа.

Ветви термоэлементов	Давление кГ/см^2	Температура, $^\circ\text{C}$	Выдержка, мм
n-PbTe	360	720	30
p-GeBiTe	230	590	30

Схема среднетемпературных ветвей n- и p-типа трапецеидальных формы представлены на рисунке 1.

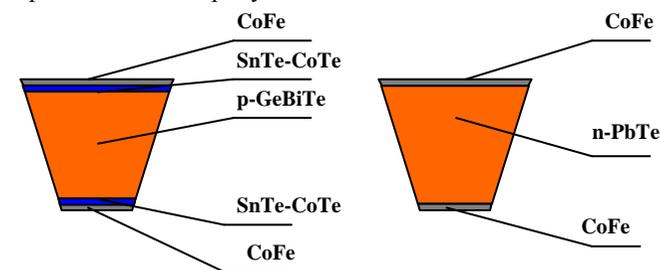


Рис.1 Схематическое изображение трапецеидальных среднетемпературных ветвей n- и p-типа

Ветви термоэлементов на основе теллурида свинца n-типа получены совместным прессованием порошков теллурида свинца и, с обеих сторон, коммутационного слоя порошков железа и кобальта. Режим прессования заготовки n-типа указан в таблице 1.

Среднетемпературные заготовки p-типа получены в две стадии. Сначала прессовалась коммутационная шайба, состоящая из слоев кобальт-железо и подкоммутационного слоя SnTe-CoTe. Режим прессования коммутационной шайбы был следующий: температура $\sim 750^\circ\text{C}$, давление $\sim 360 \text{ кГ/см}^2$ и выдержка ~ 40 мин. Прессование термоэлектрических заготовок p-типа проведено по технологическому режиму, указанному в таблице 1.

Полученные заготовки n- и p-типа диаметром 45 мм и высотой ~ 7 мм проходили стадии механической обработки на высоту $\sim 6,5$ мм и гальваническому покрытию торцевых поверхностей медью и никелем, толщиной 40-60 мкм.

В дальнейшем термоэлектрические заготовки распускались на полосы шириной 6мм. Затем в специальном технологическом приспособлении посредством алмазного диска вырезаны ветви термоэлементов п- и р-типа трапецидальной формы. Сечение п- и р-типа были одинаковы: внутреннее сечение размером $(3 \times 6) \text{мм}^2$, а наружное сечение размером $(6 \times 6) \text{мм}^2$.

Трапецидальные ветви термоэлементов из теллурида свинца п-типа и сплава на основе теллурида германия р-типа покрывались эмалью «ММ» и «ГМ» по боковым поверхностям. Технология нанесения защитных эмалей на среднетемпературные термоэлектрические материалы описаны в работах [5, 6].

При создании трубчатых термобатарей важным является изготовление электроизоляционных теплопереходов (ЭТП). В нашем случае применены керамические пластины из алюмооксидной керамики. На керамический башмак из алюмооксидной керамики ХС электродуговым способом напыляется слой меди толщиной 2-3мкм, гальваническим способом доращивается слой меди до толщины 40-50 мкм и к нему диффузионно приваривается медная пластина толщиной 0.5мм. Общий вид шин с электроизолирующими теплопереходами приведен на рисунке 2.

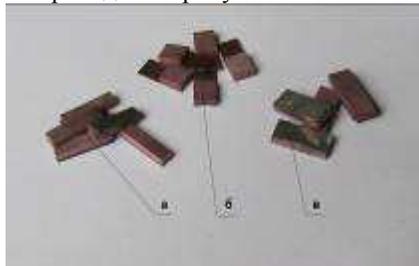


Рис.2 Общий вид шин – ЭТП, а – внутренние шины; б – выводные шины; в – наружные шины.



Рис.3 Общий вид терморективно паяных термоэлементов из трапецидальных ветвей п- и р-типа.

Среднетемпературные термоэлементы, содержащие последовательно соединенные трапецидальные ветви п- и р-типа, формируются методом терморективной пайки с помощью внутренней шины – ЭТП, рисунок 2 (а). Общий вид термоэлементов представлен на рисунке 3.

Из полученных термоэлементов, методом терморективной пайки с помощью наружной шины формируются ЭТП, рисунок 2 (в), затем формируются термоэлектрические ряды, общий вид которых представлен на рисунке 4.



Рис.4 Общий вид терморективно паяных термоэлектрических рядов.

Таблица 2. Внутреннее сопротивление термоэлементов и термоэлектрических рядов.

№ п/п	Внутреннее сопротивление $R_{вн} \cdot 10^{-3}, \text{Ом}$	
	т/э	т/э ряд
1	1.4	6.2
2	1.55	5.85
3	1.23	6.0
4	1.32	5.85
5	1.45	6.2
6	1.3	6.1
7	1.4	6.25
8	1.4	5.7
9	1.35	6.2
10	1.3	6.0

Термоэлементы и термоэлектрические ряды проходили стадию измерения общего сопротивления ($R_{вн.}$) при НКУ. Результаты измерения представлены в таблице 2.

Для сборки трубчатой термобатареи, где наружный диаметр ~50мм а внутренний диаметр ~20мм, использовано 20 термоэлектрических рядов, расположенных по образующей трубчатой конструкции. Термоэлектрические ряды закреплены высокотемпературной эмалью типа ОС-32-01.

Общий вид трубчатой термобатареи обработанной по наружному и внутреннему диаметрам представлен на рисунке 5.



Рис.5 Общий вид трубчатой термобатареи.



Рис. 6 Трубчатый модуль

При теплофизических испытаниях с обратным нагревом, трубчатая термобатарея снабжается внутренним теплопроводом холодильником. Кроме того при подведении теплового потока с внешней стороны следует ожидать неизбежного раскрытия зазоров теплоконтактных сопряжений элементов трубчатой конструкции. При этом наблюдается уменьшение полезного перепада температур и падение электрической мощности.

Исходя из этого, в трубчатых термобатареях и модулях при внешнем тепловом потоке необходим компенсатор линейных расширений, в который встроена трубчатая термобатарея. Без такого компенсатора любая замкнутая система при внешнем нагреве неизбежно приведет к расслоению и раскрытию теплоконтактных зазоров.

В качестве компенсатора линейного расширения может быть использована гибкая металлическая рубашка, которая обжимает ТТБ под давлением инертного газа через высокотеплопроводную жидкометаллическую прослойку, представляющую собой висмут-свинцовую эвтектику с температурой плавления $\sim 120^\circ\text{C}$.

Компенсационный узел состоит из гибкой рубашки, эвтектического сплава, наружной чехловой трубы и крышки. Все детали сварены аргоновой сваркой.

Общий вид трубчатого термоэлектрического модуля представлен на рисунке 6, который состоит из наружной чехловой трубы с компенсатором (1), трубчатой термобатареи (2) и холодильника (3).

Термоэлектрический трубчатый модуль испытан при внешнем тепловом потоке, результаты испытаний представлены в таблице 3.

Таблица 3

Выходные параметры трубчатого термоэлектрического модуля при внешнем тепловом потоке.

$T_{гор}, ^\circ\text{C}$	$T_{хол}, ^\circ\text{C}$	$\Delta T, ^\circ\text{C}$	$E, \text{В}$	$R_{вн}, \text{Ом}$	$W, \text{Вт}$
540	100	440	14,83	1,002	55,0

ЛИТЕРАТУРА

1. Елисеева Ю.Я., Ефимова Б.А., Колomoец Л.А., Ставицкая Т.С. Термоэлектрическая эффективность n- PbTe при высоких температурах. ИБ, « ППТЭЭ и ТЭ», 1966, 1(13), 124-132.
2. Веденеев В.П., Гвердцителли И.Г., Лалыкин С.П. и др. К вопросу увеличения термоэлектрической эффективности образованием

сложных твердых растворов на основе теллурида германия. ИБ «ППТЭЭ и ТЭ», 1970, 5(37),56-61.

3. Богус Л.М., Гречко Н.И., Лалыкин С.П. и др. Изучение влияния режимов прессования на термоэлектрические свойства теллурида свинца n- типа. Инф. бюллетень. ППТЭЭ и ТБ, 1967г., 1(69), 108-114.
4. Богус Л.М., Гречко Н.И., Лалыкин С.П. и др. Изучение возможности повышения термоэлектрической эффективности, рабочей температуры и ресурсоспособности, среднетемпературных материалов. Научно-технический отчет предприятия СФТИ, 1972г, инв.№ 2486,109лист.
5. Басария Ф.П., Кобяков В.П., Каржавин В.А. и др. Среднетемпературные покрытия для защиты от испарения полупроводниковых материалов научно-технический отчет СФТИ, 1965г, Инв.№876.
6. Губанов Ю.Д., Лвлыкин С.П. и др. Научно-технический отчет СФТИ. «Разработка унифицированного ряда ТЭБ для РИТЭГ типа «Глория», Инв.№4280, 1987г.