

ИССЛЕДОВАНИЕ, РАЗРАБОТКА И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ВАРИАНТОВ  
РАДИАЛЬНО-КОЛЬЦЕВЫХ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РЯДОВ И  
СОЗДАНИЕ НА ИХ ОСНОВЕ ТРУБЧАТЫХ  
СРЕДНТЕМПЕРАТУРНЫХ ТЕРМОБАТАРЕЙ С ВЫХОДНОЙ  
МОЩНОСТЬЮ ~ 100 Вт

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

Сухумский физико-технический институт АНА, Сухум, Абхазия  
[sfti-pavel@mail.ru](mailto:sfti-pavel@mail.ru)

При создании термогенераторов наиболее часто используют плоскую геометрию термобатарей, т.к. такая конструкция удобна в изготовлении. Однако, при использовании плоских термобатарей, совместно с теплопроводами в виде труб, возникают определенные трудности, связанные с компенсацией линейных расширений, обеспечением теплоконтактов батарей с теплопроводами, надежной электроизоляцией и др. Кроме того, в плоских термогенераторах из-за низких выходных напряжений трудно реализовать удельную мощность более 10 Вт/кг. При этом, опыт разработки, создания и эксплуатации термогенераторов трубчатой конструкции показывает, что они легко компонуются с трубчатыми теплообменниками и значительно превосходят плоские конструкции по удельной мощности.

Среди созданных и нашедших применение наиболее удачными следует считать низкотемпературные трубчатые термобатарей на основе радиально-кольцевых термоэлементов. Такие термобатарей и термоэлектрические модули на их основе созданы в СФТИ и реализованы в составе глубоководного преобразователя «Гамма», наземного реактора преобразователя «Елена», термогенератора на органическом топливе «АИТ-500» для системы катодной защиты, бытового термогенератора «Костер» и многих других. В процессе эксплуатации эти изделия зарекомендовали себя с положительной стороны и на некоторых из них ресурс составлял более 20 лет. Недостатком низкотемпературных термобатарей является относительно низкий к.п.д. преобразования (~ 5 %).

В настоящем докладе рассматривается разработка и создание трубчатой среднетемпературной батареи с выходной мощностью ~ 100 Вт. При разработке и изготовлении трубчатой термобатарей использован среднетемпературный термоэлектрический материал на основе теллуридов

свинца и германия, свойства которых достаточно хорошо известны [1-5]. В качестве n-ветви использовался теллурид свинца, легированный йодистым свинцом, а для p-ветви – теллурид германия с содержанием 3 мол. % теллурида висмута, легированного медью. Термоэлектрические материалы получены синтезом исходных компонентов в отвакуумированных кварцевых ампулах. Заготовки ветвей в виде шайб диаметром 45 мм изготовлены совместным горячим прессованием термоэлектрических и коммутационных материалов [6, 7].

Термоэлектрические заготовки резались на ветви алмазным инструментом с сечением ветвей n- и p-типа (4×5) мм. Боковые поверхности ветвей покрывались антисублимационными эмалями типа «ММ» и «ГМ», что существенно увеличивает ресурс термогенератора. Коммутационные шины горячей и холодной стороны представляют собой пакет из медной фольги толщиной 0,5 мм и диффузионно приваренных к ней медных башмаков толщиной 1 мм, рисунок 1.

Среднетемпературные термоэлементы получены методом терморезактивной пайки медных шин и среднетемпературных ветвей (по две n- и p-типа) через тонкий слой олова. Режим терморезактивной пайки: температура ~ 540 °С, давление ~ 0,5 кг/мм<sup>2</sup>, выдержка ~ 30 мин. Полученные плоские термоэлементы, рисунок 1, механически выгибаются на цилиндрической оправке и формируются в кольцо в специальном приспособлении с фиксацией по внутреннему радиусу, рисунок 2.

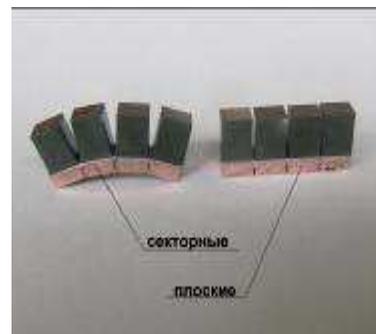


Рис.1 Общий вид плоских и радиально изогнутых секторных термоэлементов.



Рис.2 Общий вид приспособления для формирования кольцевых рядов.

Радиально-кольцевые термоэлектрические ряды формируются пайкой коммутационных шин по наружному диаметру с помощью

свинцово-германиего припоя, рисунок 3. Собранные ряды монолитизируются посредством заливки высокотемпературной эмалью ОС-81-11 и, после термообработки, механически обрабатывается по внутреннему и наружному диаметрам. Радиально-кольцевые ряды прошли испытания в перепаде температур. Результаты испытаний приведены в таблице 1.



Рис.3 Общий вид радиально-кольцевого ряда

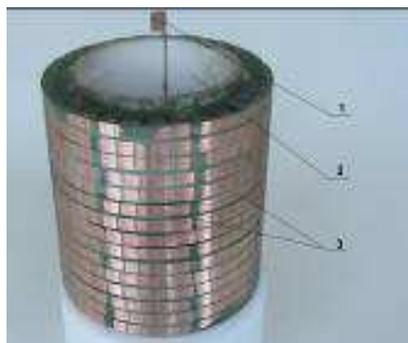


Рис.4.Общий вид среднетемпературной трубчатой термобатареи.

Табл.1 Выходные параметры радиально-кольцевых рядов.

$T_r$ , °C	$\Delta T$ , °C	E, В	W, Вт	$R_{вн}$ , $10^{-3}$ Ом
450	350	0,99	7,1	34,4
450	350	0,98	7,5	32,4
450	350	1,02	6,6	38,2

Разработанные и изготовленные радиально-кольцевые термоэлектрические ряды использованы при сборке трубчатых среднетемпературных термобатарей. Среднетемпературная трубчатая термобатарея (ТТБ) состоит из 15 радиально-кольцевых термоэлектрических рядов, набранных на цилиндрическую втулку из окиси бериллия. Общий вид представлен на рисунке 4.

Радиально-кольцевые термоэлектрические ряды (3) представляют собой последовательно электрическую цепь из восьми термоэлементов.

Кольцевые ряды проточены по внутреннему диаметру до размера ~54мм. В качестве электроизоляционного теплопровода по горячей стороне используется керамическая втулка (2) длиной ~80мм, наружным диаметром ~54мм и внутренним диаметром ~49мм. Для уменьшения механических напряжений в процессе эксплуатации электроизоляционная трубка разрезана по образующей. Полученный паз шириной ~0,5мм является ориентиром при сборке ТТБ. Кроме того выводные шины (1) располагаются строго над разрезом керамической втулки, что повышает термостойкость трубчатой конструкции.

Среднетемпературные радиально-кольцевые ряды в процессе сборки ТТБ изолируются прокладками из слюды толщиной ~3мм. Для повышения монолитности трубчатой конструкции прокладки из слюды и радиально-кольцевые ряды обильно покрываются высокотемпературной эмалью ОС-82-01. После сборки и просушки при нормальных климатических условиях в течении 24 часов трубчатая конструкция, собранная на керамическую втулку, проходит окончательную стадию термообработки при температуре ~250°C в течении 2-3часов. В этом режиме происходит окончательная стабилизация и отверждение высокотемпературной эмали.

Коммутация ТТБ в последовательную электрическую цепь осуществляется посредством медных шин сечением (1,5×1,0)мм при помощи пайки свинцово-германиевым припоем. После этого ТТБ проходит механическую обработку по наружному диаметру (холодная сторона) в размер ~74мм.



Рис.5 Общий вид трубчатой термобатареи (2)



Рис.6 Сборка холодильника(1) и теплопровода (1).

В качестве наружного электроизоляционного теплопровода по холодной стороне используется трубчатый металлокерамический узел, состоящий из металлической трубы  $\varnothing_{нар.} \sim 80$ мм и  $\varnothing_{вн.} \sim 75$ мм, на

внутреннюю сторону которой плазменным методом наносится изоляционный слой  $Al_2O_3$  толщиной ~1мм.

Холодный теплопровод проходит механическую обработку по изоляционному слою до размера  $\varnothing_{вн.} \sim 74$ мм. Общий вид ТТБ и наружного теплопровода представлен на рисунке 5.

Для теплофизических испытаний изготовлен холодильник. Общий вид холодильника и ТТБ представлены на рисунке 6. Результаты испытания ТТБ представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Выходные параметры ТТБ.

№ п/п	$T_{г.}$ °C	$T_{х.}$ °C	$\Delta T,$ °C	E, В	$R_{вн.}$ Ом	W, Вт	Q, Вт	$\eta,$ %
1	472	126	346	14,09	0,536	92,2	1705,0	5,4
2	480	121	359	14,87	0,547	100,6	1787,0	5,63
3	453,1	116,8	336,3	14,9	0,562	98,8	1800,0	5,5
4	478,5	120,8	357,7	15,75	0,567	109,4	1862,5	5,87
5	465	120	345	15,42	0,564	105,4	1812,5	5,66
6	468	121,6	346,4	15,74	0,584	106,0	1825,0	5,8
7	456	124	332	15,25	0,575	101,1	1775,0	5,7
8	481	125,3	355	16,18	0,59	110,9	1875,0	5,9
9	451	120,8	330,2	14,97	0,558	100,4	1750,0	5,7
10	484	124,1	360	16,35	0,595	112,3	1875,0	6,0
11	481	126,6	354,4	16,3	0,589	112,8	1875,0	6,0
12	480	126	354	16,38	0,6	111,8	1850,0	6,0
13	482	128	354	16,44	0,6	112,6	1850,0	6,1
14	481,6	116,6	365	16,67	0,603	115,2	1887,0	6,1

На ТТБ проведены 14 термоциклов, заключающихся в нагреве до рабочей температуры, выдержки ~30мин. и охлаждении до комнатной температуры. После проведения термоциклирования наблюдается увеличение мощности ТТБ до 115 Вт, что связано со стабилизацией характеристик в процессе циклической термообработки.

Разработанная, изготовленная и испытанная в перепаде температур среднетемпературная трубчатая термобатарея на основе радиально-кольцевых термоэлектрических рядов может быть применена в

автономных источниках тока, использующих тепло ядерных, органических и других тепловых источников.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Равич Ю.И., Ефимова Б.А., Смирнов И.Я. Методы исследования полупроводников в применении к хольгенидам свинца. М., Изд., «Наука», 1968г.
2. Сабо Е.П. Кандидатская диссертация предприятия СФТИ, Сухум, 1972г.
3. Баранова Р.Х., Малевский Ю.Н., Саплиженко Н.Ф. Теллурид германия как термоэлектрический материал. В сб. «Преобразование солнечной энергии на полупроводниках». М., Изд. «Наука», 1968г.
4. Гречко Н.И., Гогишвили О.М., Залдастанишвили М.И., и др. Положительная ветвь из сплавов на основе теллурида германия. Доклад на 2-ой научно-технической конференции по радиоизотопной энергетике, 20-23 ноября 1974г. М., ВНИИТ, 1974г.
5. Фриттс Р.В. Спаи и сплавы теллурида свинца. Из книги «Термоэлектрические материалы и преобразователи» пер.с англ., М., «Мир» 1964г.
6. Воронин Л.Н., Гринберг Р.З., Парпаров Е.З. Коммутация термоэлементов на основе теллурида свинца n- и р-типа. Инфор. Бюллетень «ППТЭЭ и ТЭ», 1(21), 1968г.
7. Зайцев А.П., Квин П.Ф., Силин Л.Л., Шубин Ю.Б. Пути развития методов коммутации полупроводников для термоэлектрических преобразователей. Физика и химия обработка металлов, 1968г,5.
8. Гречко Н.И., Криворучко С.П., Судак Н.М. и др. Научно-технический отчет по контракту: н-159у/96 от 03.01.1996г.