

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОНИЦАЕМОГО ПЛОСКОСТНОГО ТЕРМОЭЛЕМЕНТА

*Анатычук Л.И., Черкез Р.Г., Демьянюк Д.Д., Бухараева Н.Р.*

*(Институт термоэлектричества, ул. Науки, 1, Черновцы, 58029, Украина)*

---

- Представлены результаты исследований конструкции пронцаемого плоскостного термоэлемента, который используется для охлаждения и нагрева потоков газов и жидкостей. Описана методика экспериментального определения параметров термоэлемента в режиме охлаждения и нагрева воздуха. Приведены значения энергетических характеристик термоэлемента с полупроводниковых материалов на основе *Bi-Te-Se-Sb*. Получены данные указывают на возможность обеспечения температурного режима охлаждения и нагрева воздуха на уровне 5–25°C с энергетической эффективностью, которая превышает на 6–16% возможности традиционных термоэлементов.

#### **Введение**

Направлением повышения эффективности преобразования энергии является использования более общих физических моделей термоэлементов, в которых теплообмен с источником и стоком тепла происходит не только на спаях как в традиционных термоэлементах, а и в объеме материала ветвей [1]. Вариантами реализации таких моделей являются пронцаемые термоэлементы, в материалах ветвей которых вдоль направления протекания электрического тока есть каналы (поры) для прокачки теплоносителя [2–4]. Управляя условиями теплообмена (скорость теплоносителя, интенсивность теплообмена и т.д.) совместно с распределением физических эффектов в материале ветвей, можно влиять на энергетическую эффективность преобразования энергии с целью ее улучшения.

Первые теоретические исследования таких термоэлементов охлаждения потоков газов и жидкостей показали [5–7] на перспективность использования этого направления, поскольку реализуется возможность повысить холодильный коэффициент на 30–40%. Это значительно расширяет возможности практического использования прямого безмашинного термоэлектрического способа охлаждения, который, как известно [1, 8] характеризуется простотой конструкции, высокой точностью регулирования температурного режима, экологической чистотой, надежностью в работе, и т.п.

Однако, создание и практическая реализация пронцаемых термоэлементов связана с материаловедческими и технологическими трудностями которые обусловлены организацией теплообмена теплоносителя в объеме ветвей. Это побуждает к поиску более простых вариантов физических моделей преобразователей с внутренним теплообменом. Вариантом реализации внутреннего теплообмена являются пронцаемые плоскостные термоэлементы [7], в которых каждая ветвь состоит из определенного количества пластин, размещенных на некотором расстоянии одна от другой. Промежутки между пластинами образуют каналы, по которым прокачивается теплоноситель (жидкость или газ).

Целью работы является исследование пронцаемого плоскостного термоэлемента из полупроводниковых материалов на основе *Bi-Te-Se-Sb* и определение энергетических характеристик в режиме охлаждения и нагрева воздуха.

#### **Конструкция пронцаемого термоэлемента**

На рис. 1 показана физическая модель пронцаемого плоскостного термоэлемента охлаждения (рис. 1 а) и конструкция термоэлемента (рис. 1 б). Термоэлемент состоит из ветвей

*n*- и *p*-типов проводимости на основе материалов *Bi-Te-Se-Sb*, которые образованы из пластин 1 покрытых антидиффузными слоями из никеля; медных электрокоммутиационных полосок 2, которые соединяют пластины ветви 1 по холодной поверхности; теплообменника из меди 3, который покрыт антидиффузным слоем никеля и коммутирует пластины ветви по горячей стороне термоэлемента. Теплообменник 3 содержит систему каналов 4 для прокачки по ним теплоносителя, который отводит тепло от горячей стороны термоэлемента и систему каналов 5 теплоносителя который необходимо охладить. Последние каналы вместе с каналами 6 образованными плоскостями ветвей термоэлемента 1 и электрокоммутиационными полосками 2 создают систему сквозных каналов проницаемого термоэлемента для прокачки по ним теплоносителя который необходимо охладить.

Протекание электрического тока соответствующей полярности с помощью электровыводов 7 через ветви 1 вследствие совместного действия эффектов Пельтье и Джоуля вызывает подогрев верхнего теплообменника 3 и охлаждение электрокоммутиационных полосок 2. Пропуск жидкого теплоносителя, который необходимо охладить, например, или воздух, через систему сквозных каналов 5, 6 приводит к его охлаждению благодаря теплообмену с боковой более холодной поверхностью ветвей 1.

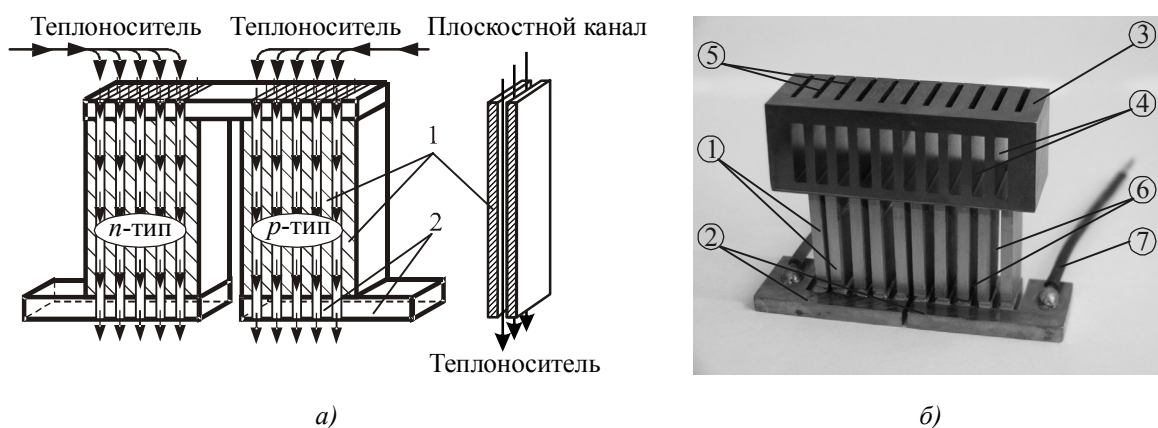


Рис.1. Физическая модель и конструкция проницаемого термоэлемента.

## Методика и результаты экспериментальных исследований

Исследование проницаемого термоэлемента проводилось на стенде, схема которого изображена на рис. 2. Для создания потока воздуха через термоэлемент 1 использована аэродинамическая труба 2 с вентилятором 3. Тепловая изоляция от окружающей среды обеспечивается кожухом 4 из ПВХ и пенопластом 5. Амперметром 6 и вольтметром 7 измеряются параметры питания термоэлемента. Термостатирование горячих спаев термоэлемента обеспечивает жидкостный термостат 8. Управление потоком воздуха осуществляется изменением скорости вращения вентилятора 3 блоком питания 9. Температуру воздуха на входе в термоэлемент, а также температуры горячего и холодного спаев термоэлемента определяют дифференциальными термопарами 10–12 соответственно. Сигналы термопар через переключатель 13 выводятся на вольтметр 14. Свободные спаи 15 измерительных термопар 10–12 помещены в нуль-термостат 16, – термос заполненный смесью воды и льда. Температура и скорость воздуха на выходе из термоэлемента определяется датчиком 17 анемометра 18.

Водяным термостатом 8 обеспечивается поддержка горячих спаев термоэлементов на

уровне температуры окружающей среды  $T_{н.с.}^{\circ}\text{C}$ . С помощью блока питания регулируется значение силы тока  $I$  через термоэлементы измеряемое амперметром 6. Скорость движения воздуха через термоэлемент устанавливаем путем регулирования блоком питания вентилятора и контроля ее показаниями анемометра 18.

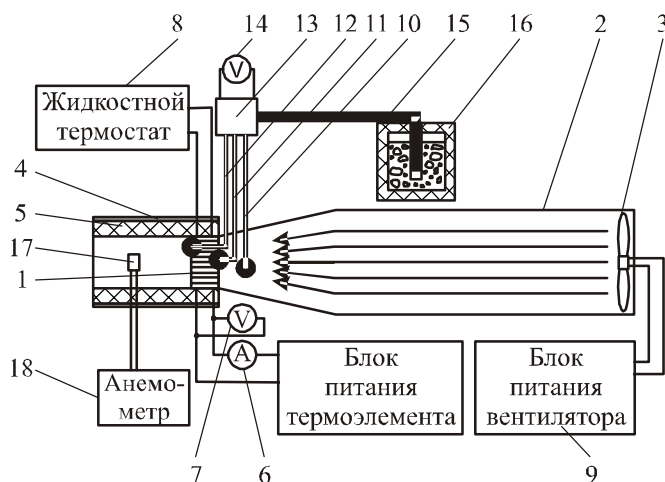


Рис. 2. Схема стенда для исследования проницаемых термоэлементов.

Термоэлемент, представленный на рис. 1 б изготовлен из термоэлектрических экструдированных материалов на основе материалов  $Bi-Te-Se-Sb$  со средними значениями параметров: термоЭДС  $\alpha \approx 192$  мкВ/К, электропроводность  $\sigma \approx 985$  Ом $^{-1}$ см $^{-1}$ . Термоэлементы, образованные из плоскостей размерами  $2.4 \times 10 \times 10$  мм ветвей  $n$ - и  $p$ -типов проводимости и 5 таких термоэлементов соединены последовательно в батарею. Площадь поперечного сечения такой термоэлектрической батареи составляла 6 см $^2$ , из нее площадь материала ветвей 2.4 см $^2$  и площадь проходного сечения между плоскостями ветвей 3.6 см $^2$ , то есть проницаемость составляла величину 0.6.

В результате проведенных измерений были получены характеристики проницаемой термоэлектрической батареи для разных скоростей потока воздуха в режиме охлаждения рис. 3 и в режиме нагрева рис. 4.

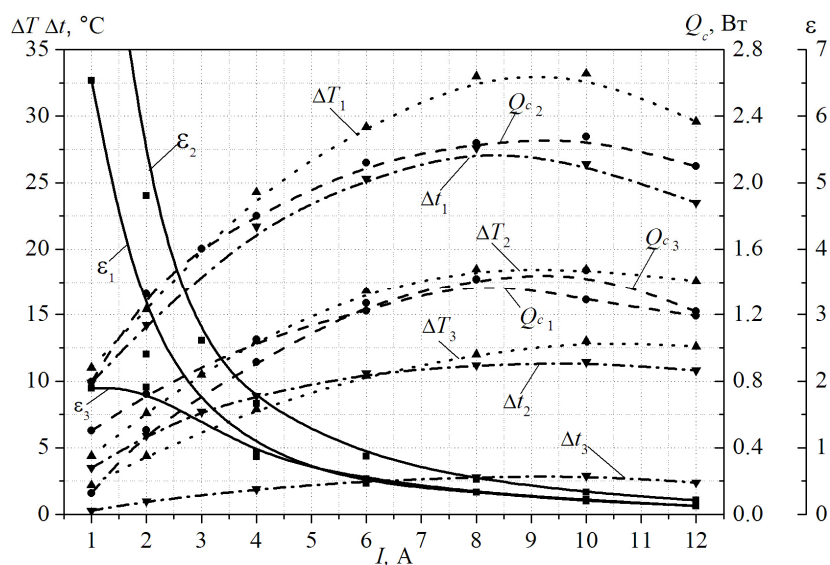


Рис. 3. Характеристики термоэлемента в режиме охлаждения.

На рис. 3 представлены зависимости разности температур между "горячими" и "холодными" спаями термоэлемента  $\Delta T$ , глубина охлаждения воздуха  $\Delta t$ , холодопроизводительность  $Q_c$  и значение холодильного коэффициента  $\varepsilon$  в зависимости от величины электрического тока  $I$ . Данные приведены для разных скоростей воздуха (индекс 1 – соответствует скорости воздуха 0.1 м/с; 2 – 0.4 м/с; 3 – 1 м/с) в условиях, когда температура воздуха на входе в каналы составляла 30°C.

Как видно из данных, области максимальной глубины охлаждения воздуха соответствуют значениям максимальной холодопроизводительности для всех значений скоростей воздуха.

Холодильный коэффициент  $\varepsilon$  возрастает с уменьшением тока питания и приобретает максимальные значения при таком минимальном токе питания  $I$ , что обеспечивает необходимую температуру охлаждения воздуха. Поэтому, работа проникаемого термоэлемента в режиме максимальной энергетической эффективности проводится на минимальном токе питания, что было предусмотрено теоретически в работах [2, 7].

Максимальная холодопроизводительность  $Q_c$  термоэлемента получена при скорости воздуха 0.4 м/с, а максимальная глубина охлаждения воздуха реализуется при скорости воздуха 0.1 м/с. С полученных данных видно, что существует оптимальная скорость воздуха, при которой холодопроизводительность  $Q_c$  и холодильный коэффициент  $\varepsilon$  будут наибольшими. Так, при скорости 0.4 м/с и токе 4 А достигается охлаждения воздуха на 9°C с термодинамической эффективностью  $\varepsilon = 1.8$ , что превышает значение холодильного коэффициента для традиционных классических термоэлементов на 6 – 12%.

На рис. 4 представлены данные работы проникаемого термоэлемента в режиме нагрева. Зависимости отопительного коэффициента  $\mu$ , теплопроизводительности  $Q_h$ , разности температур на спаях термобатареи  $\Delta T$ , перепад температур на воздухе  $\Delta t$  от тока питания батареи  $I$  для разных расходов воздуха (индекс 1 – соответствует скорости воздуха 0.1 м/с; 2 – 0.4 м/с; 3 – 1 м/с). При скорости воздуха 0.4 м/с и токе 3 А получены следующие значения:  $Q_h = 7.5$  Вт,  $\mu = 11$ ,  $\Delta T = 29^\circ\text{C}$ ,  $\Delta t = 24^\circ\text{C}$ . Полученные значения  $\mu$  превышают соответствующие величины для традиционных термоэлементов на 8 – 16%.

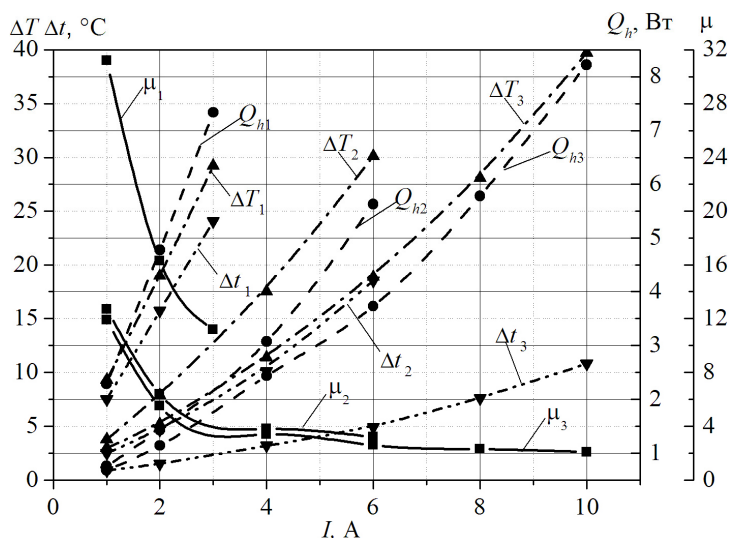


Рис. 4. Характеристики термоэлемента в режиме нагрева.

Экспериментальные данные хорошо согласуются с теоретическими расчетами, проведенными по методике, описанной в работе [7] с учетом коммутационных сопротивлений, теплопереходов и теплообменной системы на горячих спаях термоэлемента. Оптимальные условия работы проникаемого термоэлемента можно определить на основе разработанных в

Институте термоэлектричества компьютерных программ проектирования.

Полученные значения холодо- и тепло-производительности можно улучшить используя жидкостный теплоноситель в каналах проницаемого плоскостного термоэлемента. В таком случае значительно улучшается интенсивность теплообмена между теплоносителем и материалом ветви, благодаря чему повышаются и энергетические показатели.

Увеличить глубину охлаждения теплоносителя можно, используя каскадные схемы [9], которые для проницаемых термоэлементов предложены в работе [10]. Известно, что использование каскадных систем расширяет глубину охлаждения и повышает холодильный коэффициент, особенно при граничных перепадах температур [11].

## Выводы

Предложенная конструкция проницаемого термоэлемента из материалов на основе *Bi-Te-Se-Sb* для термостатирования воздуха позволяет обеспечить температурный режим охлаждения и нагрева воздуха на уровне 5 – 25°C с энергетической эффективностью, которая превышает на 6 – 16% возможности традиционных термоэлементов.

Данная конструкция может быть усовершенствована с целью достижения больших значений холодопроизводительности, используя жидкостные теплоносители и каскадирование. Применение каскадирования в проницаемых термоэлектрических системах расширяет глубину охлаждения и повышает холодильный коэффициент, особенно, при граничных перепадах температур.

## Литература

1. Анатычук Л.И. Термоэлектричество, Т. 1. Физика термоэлектричества / Л.И. Анатычук. – Черновцы, 2008. – 388 с.
2. Котырло Г.К. Тепловые схемы термоэлектрических устройств / Г.К. Котырло, Г.М. Щеголев – К.: Наук. думка, 1973. – 215 с.
3. Зорин И.В. Термоэлектрические холодильники и генераторы / И.В. Зорин, З.Я. Зорина – Л.: Энергия, 1973. – 136 с.
4. Лобунец Ю.Н. Методы расчета и проектирования термоэлектрических преобразователей энергии / Ю.Н. Лобунец – К.: Наукова думка, 1989. – 176 с.
5. Черкез Р.Г. Система термоэлектрического кондиционирования воздуха на основе проницаемых термоэлементов / Р.Г. Черкез // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2009. – № 2. – С. 34 – 36.
6. Дудаль В.О. Компьютерное моделирование проницаемых термоэлементов в режиме нагрева / В.О. Дудаль, Р.Г. Черкез // Термоэлектричество. – 2009. – № 4. – С. 57 – 64.
7. Anatyshuk L.I., Cherkez R.G. Permeable planar cooling thermoelement // Journal of Thermoelectricity – 2008. – N. 3. – p. 5 – 12.
8. Вайнер А.Л. Термоэлектрические охладители / А.Л. Вайнер – М.: Радио и связь, 1983. – 176 с.
9. Анатычук Л.И. Термоэлементы и термоэлектрические устройства / Л.И. Анатычук – К.: Наукова думка, 1979. – 768 с.
10. Заявка U2011 15035 від 19.12.2011 на видачу патенту України на корисну модель. Термоелектрична батарея / Черкез Р.Г.
11. Вайнер А.Л. Каскадные термоэлектрические источники холода / А.Л. Вайнер – М.: Советское радио, 1976. – 136 с.

Поступила в редакцию 30.03.2012.