

УДК 621.36:004.94

К. ф.-м. н. Р. Г. ЧЕРКЕЗ¹, Д. Д. ДЕМЬЯНЮК²

Украина, г. Черновцы, ¹ЧНУ имени Юрия Федьковича, ²Институт термоэлектричества radionch@mail.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОНИЦАЕМОГО ТЕРМОЭЛЕМЕНТА

Предложена конструкция проницаемого термоэлемента для охлаждения и нагрева газа или жидкости. Представлены значения энергетических характеристик термоэлемента из полупроводниковых материалов на основе Bi—Te—Se—Sb. Результаты исследований показали возможность обеспечения температурного перепада 5—15°С при охлаждении или нагреве воздуха с энергетической эффективностью, превышающей на 5—9% возможности традиционных термоэлектрических элементов.

Ключевые слова: термоэлектричество, термоэлементы, проницаемые материалы, холодильный коэффициент, отопительный коэффициент.

Известны термоэлементы, в которых теплообмен между источником и стоком тепла происходит не только на спаях, но и в объеме материала ветвей [1]. Вариантами реализации таких моделей являются проницаемые термоэлементы, в ветвях которых вдоль направления протекающего электрического тока имеются каналы (поры) для пропускания теплоносителя. Управляя условиями теплообмена (скоростью теплоносителя, интенсивностью теплообмена и т. п.) в сочетании с возникающими при этом в материале ветвей термоэлектрическими эффектами, можно влиять на энергетическую эффективность преобразования энергии.

Теоретические исследования проницаемых термоэлементов (ТЭ) для охлаждения потоков газов и жидкостей [2, 3] показали, что их применение позволяет повысить холодильный коэффициент на 30—40% по сравнению с возможностями традиционных ТЭ. Это указывает на перспективность использования прямого безмашинного термоэлектрического способа охлаждения, который, как известно [4], характеризуется простотой конструкции, высокой надежностью в работе, экологической чистотой, высокой точностью регулирования температурного режима и т. д.

Однако практическая реализация проницаемых ТЭ связана с определенными материалovedческим и технологическими трудностями, которые побуждают к поиску более простых вариантов физических моделей преобразователей с внутренним теплообменом. Одним из таких вариантов являются проницаемые плоскостные термоэлементы, в которых каждая ветвь состоит из определенного количества пластин, расположенных на расстоянии друг от друга. Промежутки между пластинами являются каналами, по ко-

торым прокачивается теплоноситель (жидкость или газ). Компьютерное моделирование таких ТЭ [5] показало на возможность повышения холодильного коэффициента на 20—30% по сравнению с возможностями традиционных ТЭ. Однако информации об экспериментальных исследованиях таких термоэлементов авторам не встречалось.

В настоящей работе экспериментально исследованы проницаемые плоскостные термоэлементы и определены их энергетические характеристики в режиме охлаждения и нагрева воздуха.

Конструкция проницаемого термоэлемента

На рис. 1 представлена физическая модель исследуемого ТЭ и его конструкция. Термоэлемент состоит из веток *n*- и *p*-типов проводимости на основе материалов Bi—Te—Se—Sb, образованных из пластин 1, покрытых антидиффузионными слоями никеля, медных электрокоммутационных шин 2, соединяющих пластины ветки 1 по холодной поверхности; теплообменника из меди 3, покрытого антидиффузионным слоем никеля и коммутирующего пластины ветки по теплой стороне термоэлемента. Теплообменник 3 содержит систему каналов 4 для прокачки по ним теплоносителя, отводящего тепло от ТЭ и систему каналов 5 для теплоносителя, который необходимо охладить. Каналы 6, созданные плоскостями веток ТЭ 1, электрокоммутационными шинами 2 вместе с каналами теплообменника 5 образуют систему сквозных каналов для прокачки по ним охлаждаемого теплоносителя.

Прохождение электрического тока соответствующей полярности через ветки ТЭ вызывает подогрев верхнего теплообменника 3 и охлаждение электрокоммутационных шин 2. Пропуска-

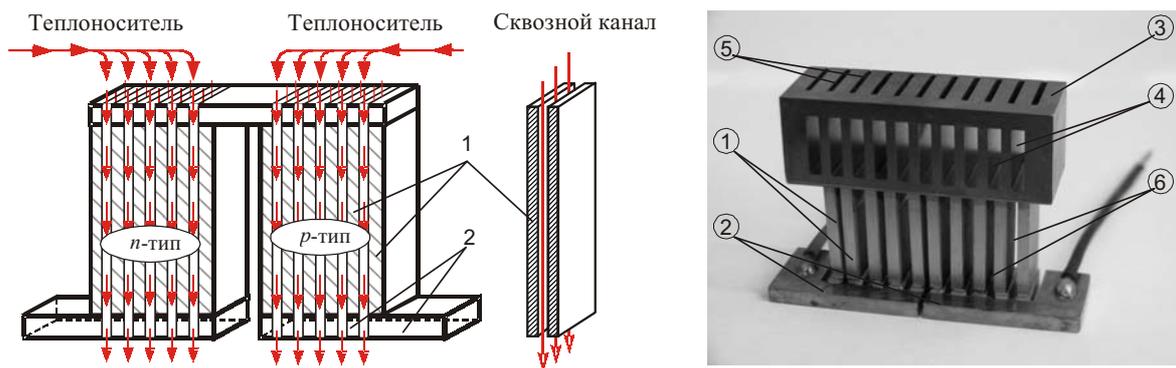


Рис. 1. Физическая модель и конструкция пронцаемого термоэлемента

ние жидкого или газообразного теплоносителя, например воды или воздуха, через систему сквозных каналов 5, 6 приводит к его охлаждению благодаря теплообмену с боковой, более холодной поверхностью веток 1.

Методика и результаты экспериментальных исследований

Исследование пронцаемого термоэлемента проводилось на стенде, схема которого представлена на рис. 2. Для создания потока воздуха через ТЭ 1 использованы аэродинамическую труба 13 с вентилятором 14. Тепловая изоляция от окружающей среды обеспечивается кожухом 4 из ПВХ, теплоизолированного пенопластом 3. Амперметром 16 и вольтметром 17 измеряются параметры питания ТЭ. Термостатирование теплых спаев термоэлемента обеспечивает жидкостный термостат 5. Управление потоком воздуха осуществляется изменением скорости вращения вентилятора 14 через блок питания 15. Температура воздуха на входе в ТЭ, а также значения температуры горячего и холодного спаев определяются дифференциальными хромель-ко-

пелевыми термопарами 8, 9, 10 соответственно. Сигналы термопар переключателем 7 выводятся на вольтметр 6. Свободные спаи 11 термопар помещены в нуль-термостат 12. Температура и скорость воздуха на выходе из термоэлемента определяется датчиком 2 анемометра 18.

Водяным термостатом 12 обеспечивается поддержание температуры теплых спаев термоэлементов на уровне температуры окружающей среды. С помощью блока питания регулируется ток через ТЭ, который измеряется амперметром 16. Необходимая скорость движения воздуха через ТЭ устанавливается путем регулирования блока питания вентилятора с контролем ее значения по показаниям анемометра 18.

ТЭ изготовлен из термоэлектрических экструдированных материалов на основе Bi_2Te_3 со средними значениями термоэдс $\alpha \approx 192$ В/К и электропроводности $\sigma \approx 985$ Ом⁻¹·см⁻¹. Исходный материал разрезали на пластины размерами 2,4×10×20 мм, из которых образованы пронцаемые ветви с шагом 2 мм по пять пластин в каждой ветви. Площадь поперечного сечения термоэлемента вместе с каналами с учетом боковых зазоров 2 мм по периметру составила 6,44 см², в которой площадь материала веток составляет 2,4 см², а площадь проходного сечения 4,04 см². Таким образом, значение параметра пронцаемости, равного отношению последней к общей площади, составило 0,63.

В результате проведенных измерений были получены характеристики пронцаемого ТЭ элемента для различных скоростей потока воздуха в режимах охлаждения и нагрева. Эти экспериментальные данные хорошо согласуются с теоретическими расчетами, проведенными по методике, описанной в [5], с учетом коммутационных пластин, тепло-

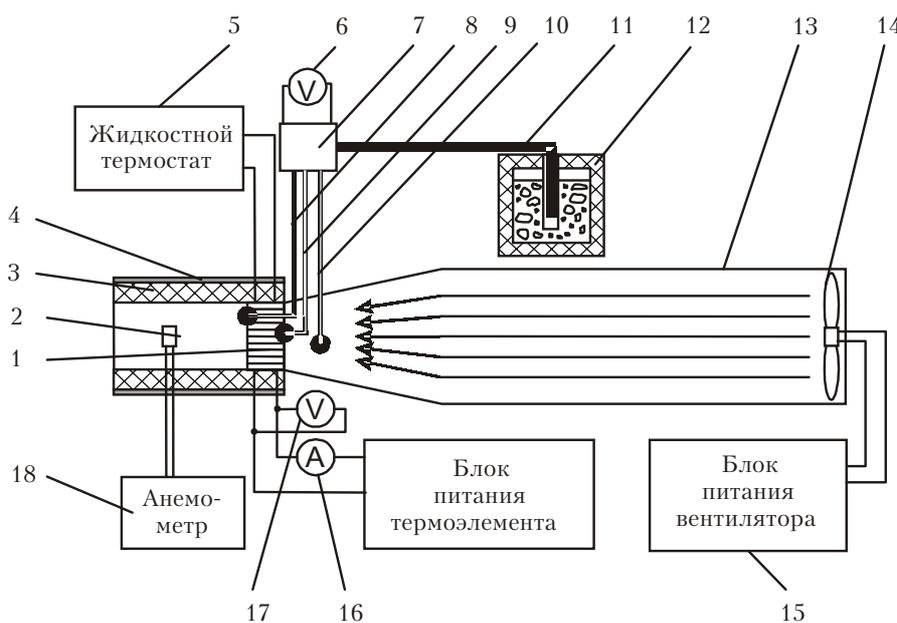


Рис.2. Схема стенда для исследования пронцаемых термоэлементов

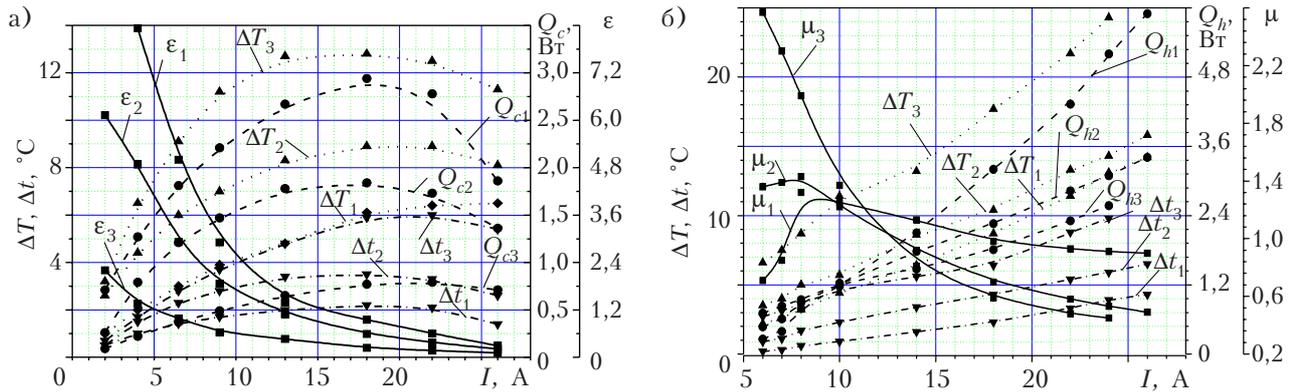


Рис. 3. Характеристики термоэлемента в режиме охлаждения (а) и нагрева (б) для различной скорости воздуха (нижний индекс 1 в обозначениях соответствует скорости воздуха 1 м/с; индекс 2 — 0,4 м/с; индекс 3 — 0,1 м/с для режима охлаждения и 0,2 м/с для нагрева)

переходов и теплообменной системы на теплых спаях ТЭ.

На рис. 3, а представлены зависимости разности температур между теплыми и холодными спаями ТЭ ΔT , глубины охлаждения воздуха (разности температур воздуха на входе и выходе) Δt , холодопроизводительности Q_c и холодильного коэффициента ϵ от величины электрического тока I , полученные в режиме охлаждения. Отсюда видно, что области максимальной глубины охлаждения воздуха соответствуют значениям максимальной холодопроизводительности для всех значений скорости воздуха. Холодильный коэффициент возрастает с уменьшением тока питания и достигает максимальных значений при таком минимальном токе питания, который еще обеспечивает охлаждение воздуха. Для скорости воздуха 1 м/с $Q_{c\max} = 2,94$ Вт, $\Delta T = 6,5^{\circ}\text{C}$, $\epsilon_{\max} = 8,3$, что превышает значения холодильного коэффициента для традиционных ТЭ на 5–8%.

На рис. 3, б представлены зависимости отопительного коэффициента μ термоэлемента, теплопроизводительности Q_h , перепада температур воздуха Δt и значений ΔT от тока питания в режиме нагрева. При скорости воздуха 0,4 м/с получены значения $Q_h = 8,52$ Вт, $\mu_{\max} = 3,5$, $\Delta T = 15,8^{\circ}\text{C}$, $\Delta t = 6,5^{\circ}\text{C}$. Отсюда видно, что отопительный коэффициент в этом режиме имеет максимум (при токе 8 А), в котором энергетическая эффективность максимальна. Полученные значения μ на 6–9% выше, чем у традиционных ТЭ.

Выводы

Таким образом, исследования показали, что предложенная конструкция пронизаемого термоэлемента позволяет обеспечить охлаждение или нагрев воздуха на 5–15 $^{\circ}\text{C}$ с энергетической эффективностью, превышающей на 5–9% возможности традиционных термоэлементов. Данная конструкция может быть усовершенствована с целью достижения больших значений холодо-

теплопроизводительностей путем использования последовательного электрического соединения плоскостей ветви, использования жидкостных теплоносителей и каскадирования. Применение каскадирования [6] в пронизаемых термоэлектрических системах значительно увеличивает глубину охлаждения и повышает холодильный коэффициент, особенно при граничных перепадах температуры.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Лобунец Ю. Н. Методы расчета и проектирования термоэлектрических преобразователей энергии. – Киев: Наукова думка, 1989. [Lobunets Yu. N. Metody rascheta i proektirovaniya termoelektricheskikh preobrazovatelei energii. Kiev: Naukova dumka, 1989]
2. Черкез Р. Г. Система термоэлектрического кондиционирования воздуха на основе пронизаемых термоэлементов // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2009. – №2. – С. 34–36. [Cherkez R. G. Sistema termoelektricheskogo konditsionirovaniya vozdukh na osnove pronitsaemykh termoelementov // Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoy Apparature. 2009. N 2. P. 34]
3. Дудаль В. О., Черкез Р. Г. Компьютерное моделирование пронизаемых термоэлементов в режиме нагрева // Термоэлектричество. – 2009. – №4. – С. 57–64. [Dudal' V. O., Cherkez R. G. Komp'yuternoe modelirovaniye pronitsaemykh termoelementov v rezhime nagreva // Termoelektrichestvo. 2009. N 4. P. 57]
4. Вайнер А.Л. Термоэлектрические охладители. – Москва: Радио и связь, 1983. [Vainer A.L. Termoelektricheskie okhladiteli. Moskva: Radio i svyaz', 1983]
5. Anatyshuk L. I., Cherkez R. G. Permeable planar cooling thermoelement // Journal of Thermoelectricity – 2008. – №3. – С. 5–12.
6. Вайнер А. Л. Каскадные термоэлектрические источники холода. – Москва: Советское радио, 1976. [Vainer A. L. Kaskadnye termoelektricheskie istochniki kholoda. Moskva: Sovetskoe radio, 1976]

Дата поступления рукописи
в редакцию 25.07 2011 г.

Cherkez R.G, Demianiuk D.D. **Experimental research of the energy characteristics of a permeable thermoelement.**

Keywords: thermoelectricity, thermoelements, permeable thermoelement, coefficient of performance.

The construction of permeable thermoelement used for cooling and heating of gas or liquid flux has been designed. Energy characteristics of the semiconductor thermal element based on Bi–Te–Se–Sb materials have been presented. The results showed the possibility of ensuring the temperature difference of 5–15°C during cooling or heating of air, with the energy efficiency exceeding by 5–9% that of the traditional thermoelectric elements.

Ukraine, Chernovtsy, Yuriy Fedkovych Chernovtsy National University, Institute of thermoelectricity.

Черкез Р. Г., Дем'янюк Д. Д. **Експериментальне дослідження енергетичних характеристик проникного термоелемента.**

Ключові слова: термоелектрика, термоелементи, проникні матеріали, холодильний коефіцієнт, опалювальний коефіцієнт.

Запропоновано конструкцію проникного термоелемента для охолодження та нагрівання потоків газу або рідини. Надано значення енергетичних характеристик термоелемента з напівпровідникових матеріалів на основі Bi–Te–Se–Sb. Результати досліджень показали можливість забезпечення охолодження або нагрівання повітря на 5–15°C з енергетичною ефективністю, що на 5–9% перевищує можливості традиційних термоелектричних елементів.

Україна, м. Чернівці, ЧНУ імені Юрія Федьковича, Інститут термоелектрики.

РЕЦЕНЗЕНТЫ НОМЕРА

Ащеулов Анатолий Анатольевич, докт. техн. наук, главный научный сотрудник Черновицкого национального университета им. Ю. Федьковича

Басюк Олег Петрович, научный консультант ЧП «Политехперіодика»

Когут Игорь Тимофеевич, докт. техн. наук, профессор кафедры радиофизики и электроники Прикарпатского национального университета им. В. Стефаника, г. Ивано-Франковск

Кудрик Ярослав Ярославович, канд. техн. наук, старший научный сотрудник Института физики полупроводников им. В. Е. Лашкарева НАНУ, г. Киев

Кутний Владимир Евдокимович, канд. техн. наук, ННЦ «Харьковский физико-технический институт»

Митягин Александр Юрьевич, докт. физ.-мат. наук, профессор, главный научный сотрудник Фрязинского филиала Института радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН

Николаенко Юрий Егорович, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник НТУУ «Киевский политехнический институт»

Панов Леонид Иванович, канд. тех. наук, профессор Одесского национального политехнического университета

Пекарь Григорий Соломонович, докт. физ.-мат. наук, профессор Института физики полупроводников им. В. Е. Лашкарева НАНУ, г. Киев

Томашик Василий Николаевич, докт. хим. наук, ученый секретарь Института физики полупроводников им. В. Е. Лашкарева НАНУ, г. Киев

Чечельницкий Виктор Яковлевич, канд. техн. наук, доцент Одесского национального политехнического университета