

Міністерство освіти і науки України
ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника»
Кафедра комп'ютерної інженерії та електроніки

Човганюк Юрій Васильович
Chovhaniuk Yurii

УДК 004:681.11

Спеціальність 123 «комп'ютерна інженерія»
(шифр та назва спеціальності)

Кваліфікаційна робота
на здобуття освітнього ступеня магістр
(бакалавр, спеціаліст, магістр)

**Застосування термоелектричних модулів у системах
охолодження комп'ютерів**

**Application of thermoelectric modules in computer cooling
systems**

Науковий керівник:
професор Запухляк Р.І.

Рецензенти:
к. ф.-м. н.,
зав. каф. фізики і методики
викладання
Ліщинський І.М.

Івано-Франківськ

2021

АНОТАЦІЯ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня магістр «Застосування термоелектричних модулів у системах охолодження комп'ютерів»: 42 ст., 8 рис., 8 джерел.

Об'єкт дослідження – термоелектричні модулі.

Метою роботи – аналіз та дослідження основних видів систем охолодження на базі термоелектричних матеріалів.

Робота складається з вступу, 3 розділів, висновку, списку використаних джерел інформації.

Ключові слова: термоелектрика, термоелектричний модуль, елемент Пельтьє, добротність, система охолодження, теплопровідність

					123.УДК:004:681.11		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
Розробив		Човганюк Ю.В			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркуші</i>
Перевірив		Запухляк Р.І.				3	42
					Анотація		
Н. Контр.							
Затвердив							

ABSTRACT

Explanatory note to the qualification for the Master's Degree "Application of thermoelectric modules in computer cooling systems": 45 pages, 19 figures, 5 sources.

Object of study - thermoelectric modules.

The purpose of the work is to analysis and research of the main types of cooling systems based on thermoelectric materials

The work consists of introduction, 3 sections, conclusion, list of sources of information used.

Keywords: thermoelectricity, thermoelectric module, Peltier element, quality factor, cooling system, thermal conductivity

					123.УДК:004:681.11	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

ДВНЗ
«Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника»
Фізико-технічний факультет
Кафедра комп'ютерної інженерії та електроніки

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи

на тему:

**«Застосування термоелектричних модулів у системах охолодження
комп'ютерів»**

					123.УДК:004:681.11						
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Пояснювальна записка			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>	
Розробив		Човганюк Ю.В.								5	42
Перевірив		Запухляк Р.І.									
Н. Контр.											
Затвердив											

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ТЕМ – термоелектричний модуль

ТЕ – термоелектричний

СО – система охолодження

TDP – конструктивна вимога по тепловідводу

					123.УДК:004:681.11	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ	
АНОТАЦІЯ.....	3
Пояснювальна записка	5
ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	6
ЗМІСТ	7
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА ВИВЧЕННЯ СУЧАСНОГО СТАНУ В ДАНОМУ НАПРЯМІ ДОСЛІДЖЕНЬ.	11
1.1 Огляд літератури та вивчення сучасного стану термоелектричних модулів.....	11
1.2 Останні досягнення у термоелектричному матеріалознавстві	13
1.3 Перспективи розвитку термоелектричного охолодження	15
РОЗДІЛ 2. ВИВЧЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ОСНОВНИХ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ, ТА ПЕРСПЕКТИВ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ ДО СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ В КОМП'ЮТЕРАХ. ...	17
2.1 Вивчення властивостей основних термоелектричних матеріалів	17
2.1.1 Термоелектричний модуль.....	17
2.1.2 Основні розрахункові співвідношення для охолоджуючого термоелемента	19
2.1.3 Режими роботи охолоджуючих термоелементів.....	21
2.2 Матеріали для термоелектричних перетворень	24
2.3 Застосування термоелектричного охолодження.....	29
2.3.1 Термоелектричне охолодження комп'ютерних елементів	29
РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ КОМП'ЮТЕРА НА БАЗІ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА РОЗРАХУНОК ЇЇ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ.	34

					123.УДК:004:681.11	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.1. Моделювання системи охолодження на базі термоелектричного матеріалу.....	34
3.2. Розрахунок основних параметрів системи охолодження комп'ютера	35
ВИСНОВКИ	41
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	42

					123.УДК:004:681.11	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

ВСТУП

Робота сучасних високопродуктивних електронних компонентів, що становлять основу комп'ютерних систем, супроводжується значним тепловиділенням, особливо при експлуатації в форсованих режимах. Як наслідок, ефективна робота таких компонентів потребує адекватних засобів охолодження. Для підтримки оптимальних температурних режимів зазвичай використовують спеціальні охолоджувальні пристрої – кулери, основою яких є традиційні радіатори та вентилятори.

Незважаючи на те, що параметри традиційних кулерів безперервно покращуються, останнім часом на комп'ютерному ринку з'явилися спеціальні засоби охолодження електронних елементів, засновані на термоелектричних ефектах у напівпровідниках. Зокрема, на думку фахівців, напівпровідникові термоелектричні модулі, що охолоджують властивості яких засновані на ефекті Пельтьє, надзвичайно перспективні для створення необхідних умов експлуатації комп'ютерних компонентів.

Актуальність теми дипломної роботи полягає в пошуку екологічно чистих альтернативних джерел енергії. Термоелектрика – це явище, яке описує перетворення теплової енергії в електричну, та навпаки. Вона заснована на трьох найважливіших транспортних ефектах: ефект Зеєбека, ефект Пельтьє та ефект Томсона. Основним принципом термоелектрики є виробництво "чистої" електроенергії, а також виконання функції охолодження. Одним з нагальних завдань, яке виникає перед науковцями та інженерами є визначення та розрахунок основних термоелектричних матеріалів, та їх перспектив застосування до систем охолодження в комп'ютерах.

Предметом дослідження – термоелектричні матеріали та модулі.

Об'єктом дослідження – термоелектричний модуль TEC1-12715

Мета дипломної роботи: моделювання та дослідження системи охолодження на базі термоелектричних матеріалів.

Для досягнення мети дипломної роботи поставлено такі завдання:

					123.УДК:004:681.11	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

- Дослідження основних термоелектричних матеріалів
- Розрахунок її основних параметрів;
- Моделювання систем охолодження комп'ютера на базі термоелектричних матеріалів

					123.УДК:004:681.11	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА ВИВЧЕННЯ СУЧАСНОГО СТАНУ В ДАНОМУ НАПРЯМІ ДОСЛІДЖЕНЬ.

1.1 Огляд літератури та вивчення сучасного стану термоелектричних модулів

Сучасні дослідження в галузі термоелектрики почалися з робіт А.Ф. Йоффе [1], який показав, що найкращими матеріалами для термоелектричних перетворювачів енергії (термо-електриками) є напівпровідники із домішками атомів інших елементів. Він також запропонував використати термоелектрику для створення холодильних машин зовсім іншого типу - на твердо тільній основі. Такі холодильники не мають рухомих елементів і здатні працювати практично необмежений час. Положення А.Ф. Йоффе ініціювали активні подальші роботи у цьому напрямі [2]. У період із 1957 по 1965 роки. були проведені дослідження всіх відомих на той час напівпровідників, напівметалів та сплавів, виявлено найкращі матеріали для термоелектричного охолодження: телуриди вісмуту та свинцю, сплави вісмут-сурма. Була зроблена величезна теоретична робота, побудовані моделі, що дуже добре описують існуючі матеріали. Однак, навіть кращі матеріали не дозволяли створювати холодильні системи достатньої ефективності.

Протягом останнього десятиліття знову відбувається очевидне пожвавлення у сфері термоелектричного охолодження [3]. Нещодавні дослідження зі створення та пошуку матеріалів для термоелектриків дають підставу в найближчому майбутньому очікувати на суттєве збільшення ефективності термоелектричних холодильних машин [4]. Відродження інтересу до застосування термоелектричного охолодження пов'язане також із екологічними проблемами, що виникають при використанні традиційних методів отримання холоду (руйнування озонового шару, парниковий ефект і т.д.). Термоелектричні холодильники абсолютно безпечні з екологічної точки зору, не мають елементів, що зношуються і труться, а отже безшумні у роботі, характеризуються відсутністю вібрацій, не вимагають штатних пристроїв

					123.УДК:004:681.11	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

очищення робочих тіл, здатні стійко працювати тривалий час.

Термоелектричні перетворювачі енергії також мають й інші переваги:

- можливість не тільки охолодження, а й нагріву;
- виняткова надійність компонентів, що виробляють холод;
- можливість дуже швидкого охолодження;
- висока точність регулювання температури та можливість термостатування шляхом зміни струму живлення;
- незалежність параметрів термоелектричних модулів від сили тяжкості та орієнтації у просторі, а також мала чутливість до високих механічних навантажень;
- відсутність необхідності у технічному обслуговуванні.

Усі перелічені переваги термоелектричних холодильних машин часом не залишають вибору розробникам систем охолодження для найрізноманітніших областей застосування.

Термоелектричне перетворення енергії, як метод прямого перетворення теплової енергії на електричну, заснований на електронних ефектах, що виникають у твердих тілах (ефект Зеебека та інші). Унікальні властивості термоелектричних джерел енергії, такі як відсутність рухомих частин, можливість використання низько потенційної теплової енергії, повна екологічна чистота та виняткова зручність в управлінні, визначили незаперечні переваги у використанні термоелектричних генераторів як автономні джерела енергії. Такі генератори застосовуються на космічних об'єктах та в медицині, у фермерських господарствах та на газопроводах, у морських навігаційних системах та в інформаційних технологіях.

Зворотний термоелектричний ефект, навпаки, дозволяє використовувати електричну енергію для холоду. Ефект термоелектричного охолодження був вперше виявлений і описаний в 1834 Жаном Пельтьє. Це явище полягає в тому, що при протіканні через електричний ланцюг, складений з різнорідних провідників постійного електричного струму, в місці з'єднання провідників

					123.УДК:004:681.11	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поглинається або виділяється деяка кількість тепла i , відповідно, це місце охолоджується або нагрівається в залежності від напрямку струму.

Наступні роботи дослідників, які намагалися пояснити природу явища Пельтьє, показали, що кількість поглиненого в місці з'єднання тепла пропорційної силі струму, часу його протікання та деякому коефіцієнту, що залежить від фізико-хімічних властивостей матеріалу напівпровідників. При цьому роль холодоагенту в термоелектричній холодильній машині грає електронно-дірковий газ напівпровідників.

1.2 Останні досягнення у термоелектричному матеріалознавстві

Незважаючи на досить активне дослідження у різних країнах світу, значення параметра ZT кращих термоелектриків при кімнатних температурах вдалося збільшити з 1950-х років до кінця ХХ століття від 0,75 до 1,0.

Термоелектричні охолоджувачі могли б здійснити переворот у вирішенні задач термостабілізації мікро- і фотоелектронних елементів, а також у холодильній техніці малих та середніх потужностей, якщо б їхня ефективність досягла значень $ZT = 2,0-3,0$. І ось, в останні роки були отримані, без перебільшення, революційні досягнення у розробці високоефективних, термоелектричних матеріалів (2, 3). Мова іде про деякі наноструктури, в яких використовуються нові фізичні принципи підвищення ефективності термоелектриків.

Перший тип таких наноструктур - це надгратки з квантовими ямами, в яких термоелектрична ефективність різко зростає. Так, вона досягає значень $ZT = 2,4$ при $T = 300 K$ у матеріалі Bi_2Te_3/Sb_2Te_3 р-типу (4). На основі даної надгратки вже створено мікромініатюрний термоелектричний холодильник, здатний здійснювати точкове охолодження (4). Незважаючи на досить надійні експериментальні результати, до сьогодні немає єдиної точки зору на фізичні механізми, що забезпечують збільшення добротності в потрібних надгратках. Одне пояснення базується на пропозицію, що зростання ефективності обумовлений збільшенням щільності станів електронів (або

					123.УДК:004:681.11	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

дірок) напівпровідникового матеріалу, друге пояснює зростання добротності зменшенням теплопровідності надгратки через додаткове розсіювання фононів на граючих шарах відповідно до формули:

$$Z = \frac{\sigma \alpha^2}{k} T. \quad (1.1)$$

Взагалі, зменшення теплопровідності термоелектрика є ключовим завданням термоелектричного матеріалознавства.

До другого типу наноструктурних термоелектриків можна віднести особливість термотунельної структури (теплові діоди) [8]. Взагалі, твердотільність холодильної машини не обмежуються використанням тільки традиційного термоелектричного методу охолодження. Важливе місце займає також термоемісійний метод, заснований на термоелектронній та/або холодній емісії [3, 5, 6]. Очевидно, що в термотунельних структурах можна домогтися суттєвого зменшення теплопровідності. Справді, в суто термоелектричному охолоджувачі виникає різниця температур між спаями термоелементу (або термобатарей) внаслідок ефекту Пельтьє. Однак теплопровідність зменшує цю різницю температур. Добре було б «відсікти» фононну теплопровідність, встановивши на шляху фононів непереборну перешкоду, наприклад вакуумний зазор. Електрони ж можуть реалізувати квантомеханічне тунелювання через такий зазор, якщо його ширина вимірюватиметься нанометрами. У тому і полягає ідея використання термотунельних структур як термоелектриків. Очевидно, збільшення добротності до $ZT = 1,7$ при кімнатних температурах, отримане експериментально в термоелементах з точковими контактами, що складаються з напівпровідникових гілок р-типу $Bi_{0,5}Sb_{1,5}Te_3$ і п-типу $Bi_2Te_{2,9}Se_{0,1}$ [7, 8], визвано саме квантовим тунелюванням. Теорія пророкує можливість збільшення ефективності термотунельного охолоджувача до $ZT = 4,0$ при $T = 300$ К.

					123.УДК:004:681.11	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3 Перспективи розвитку термоелектричного охолодження

В даний час спостерігається тенденція здешевлення термоелектричного охолодження внаслідок здешевлення технології виробництва термоелектричних модулів та нарощування об'єму їхнього виробництва. Так, за останні 8 років вартість стандартного модуля (40 x 40 мм²) зменшилася у 5 разів при збереженні або навіть покращенні якості. Нарешті, розробка принципово нових термоелектриків на наноструктурах приводить до збільшення їх ефективності і, як наслідок, до зменшення відношення холодопродуктивності до ціни холодильної системи.

Таким чином, баланс вартості термоелектричного охолодження та нанокompresійного методу об'єктивно зсувається на користь термоелектричного охолодження.

Технічно-економічний аналіз показує, збільшення ефективності ZT в 2-3 рази приведе до наступних принципових результатів:

1. Збільшенню значення холодопродуктивності, при якому твердотільне охолодження є економічно обґрунтованим до 150 Вт.

2. Різкому (у 10-20 разів) зменшенню часу виходу в режим вказаних охолоджувачів, що дозволить принципово підвищити швидкодію суміщених елементів електронної техніки та телекомунікаційних систем.

3. Збільшенню значення потужності, при якому термоелектричне термоємисійне генерування електроенергії є економічно обґрунтованим, не менше ніж у 2 рази.

Якщо врахувати, що сучасний світовий ринок термоелектричних охолоджувачів оцінюється в 1,5 млрд доларів США, то збільшення добротності у 2,5 рази призведе до потенційного розширення ринку не менше ніж у 10 разів, що складе 15 млрд. доларів США.

Збільшення світового рівня перетворювачів гарантується також їх екологічною чистотою і можливістю використання відновлюваних джерел у енергії, таких як сонячне випромінювання.

					123.УДК:004:681.11	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Незважаючи на те, що від часу відкриття ефекту термоелектричного охолодження пройшло більше 165 років, його практичне використання стало можливим лише в останнє десятиліття.

					123.УДК:004:681.11	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2. ВИВЧЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ОСНОВНИХ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ, ТА ПЕРСПЕКТИВ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ ДО СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ В КОМП'ЮТЕРАХ.

2.1 Вивчення властивостей основних термоелектричних матеріалів

2.1.1 Термоелектричний модуль

Основними елементами будь-якої термоелектричної холодильної машини є так звані термоелектричні модулі (рис. 2.1) - невеликі пристрої, що послідовно з'єднані в електричне коло напівпровідникових термоелементів, кожен з яких складається з двох напівпровідникових стовпчиків р- і n-типу (їх називають також гілками). Іншими словами, термоелектричний модуль являє собою термоелектричну батарею, що складається з термоелементів, причому кількість термоелементів в різних модулях може змінюватися від декількох штук до декількох сотень. По тепловому потоку напівпровідникові стовпчики в модулі з'єднані паралельно. Стовпчики укладені між двома пластинами (зазвичай керамічними), які добре проводять тепло, але є електричними ізоляторами.

Різні фірми в різних країнах світу серійно виробляють термоелектричні охолоджуючі модулі приблизно однакових типорозмірів, так званий, мелкоровський ряд (за назвою компанії *Melcor*, США, яка першою освоїла серійне виробництво подібних модулів).

Модуль - самостійний охолоджуючий вузол. Однак він не може працювати без відводу теплоти від гарячого боку. Тому термоелектричний холодильний блок завжди складається з трьох частин [12]:

- термоелектричного модуля або модулів;
- радіатора гарячої сторони модуля;
- охолоджуваного об'єкта на холодній стороні.

Охолоджуваний об'єкт може знаходитися в безпосередньому тепловому контакті з холодною стороною модуля, однак частіше використовується

					123.УДК: 004:681.27	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

теплопровідна пластина, або повітряний або рідинний теплообмінник. Загальний вигляд термоелектричного охолоджуючого модуля представлена на рис. 2.2.

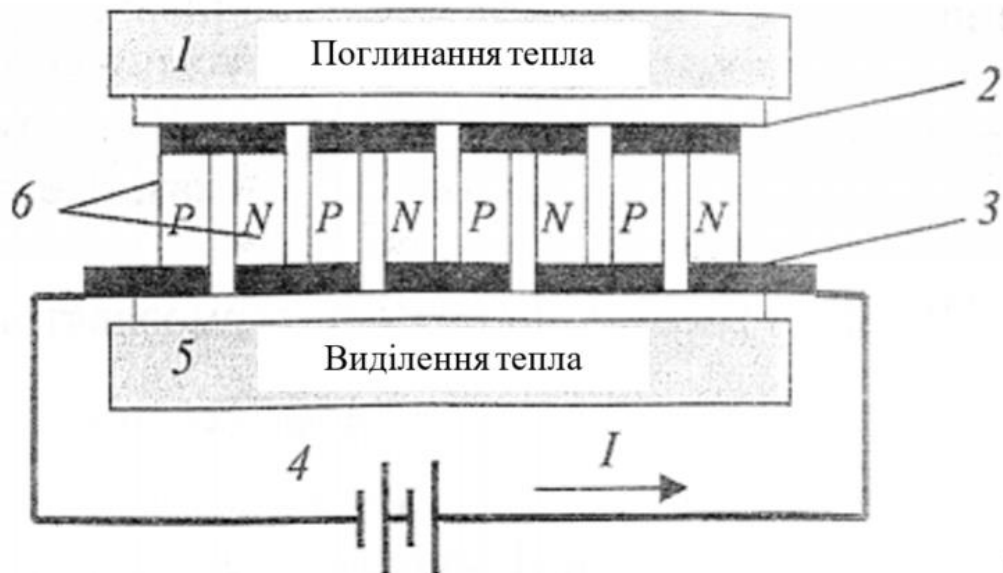


Рис.2.1. Принципова схема термоелектричного холодильного блоку: 1 - об'єкт охолодження; 2 - джерело постійного струму; 3 - напівпровідники р-і n- типів; 4 - електропровідник; 5 - електроізолятор; 6 - тепловідвідний елемент

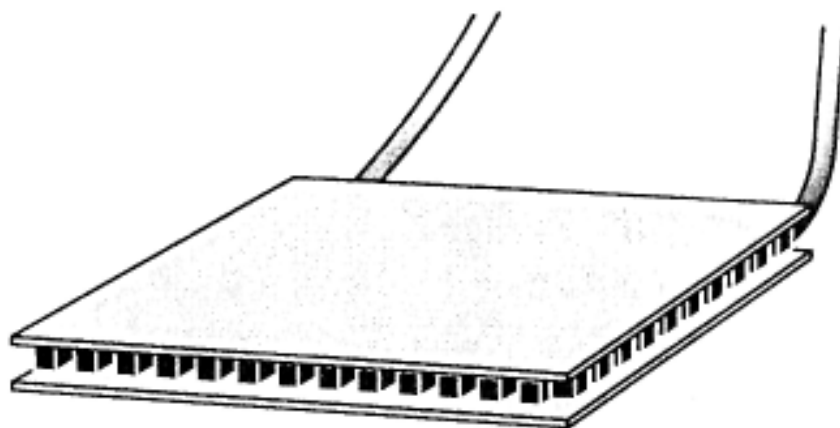


Рис 2.2. Загальний вигляд термоелектричного охолоджуючого модуля

2.1.2 Основні розрахункові співвідношення для охолоджуючого термоелемента

Розглянемо роботу термоелемента, що складається з двох напівпровідникових гілок 3 з електронною та дірковою провідностями та з металевих контактних перемичок 5 (цьому випадку відповідає рис. 2, якщо там залишити лише одну пару гілок). При протіканні постійного струму у вказаному напрямку нижні перемички нагріваються, а верхні - охолоджуються. У цьому випадку верхню перемичку називають холодним спаєм (температура T_x), а нижню – гарячим спаєм (температура T_2).

Кількість теплоти, що виділяє гарячий спай, буде більша за теплоту, яку поглинає холодний спай, на величину витрат електроенергії [5]:

$$Q_{\Gamma} = P + Q_0. \quad (2.1)$$

Енергія P витрачається на здійснення роботи A щодо переміщення зарядів проти різниці електричних потенціалів, що виникають в електричному колі при нерівності T_2 і T_x відповідно до закону Зеєбека. Таким чином,

$$A = Q_{\Gamma} - Q_x = \alpha T_{\Gamma} I - \alpha T_x I = \alpha I (T_{\Gamma} - T_x). \quad (2.2)$$

де α – коефіцієнт диференціальної термоЕРС, яка залежить від фізичних властивостей матеріалу та його температури; I – сила струму.

Холодильний коефіцієнт зворотного циклу термоелемента, в якому роль робочої речовини виконує електронний газ та відсутні незворотні втрати, визначається формулою

$$\varepsilon = \frac{Q_x}{A} = \frac{\alpha T_x I}{\alpha I (T_{\Gamma} - T_x)} = \frac{T_x}{T_{\Gamma} - T_x}. \quad (2.3)$$

Величина ε збігається з холодильним коефіцієнтом зворотного циклу Карно, оскільки теплота відводиться за постійної температури T_2 , а підводиться до гарячого джерела за постійної температури T_x .

Насправді робота термоелемента супроводжується незворотними втратами двох типів: поширення струму провідником тягне джоулеві втрати, а за провідниками, з яких складається електричне коло, безперервно йде теплота від гарячого спаю до холодного за рахунок теплопровідності.

					123.УДК:004:681.11	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Джоулеві втрати визначаються співвідношенням:

$$Q_{дж} = I^2 R. \quad (2.4)$$

де R - опір гілок термоелемента.

З високим ступенем точності можна вважати, що половина теплоти, що виділяється в колі у вигляді джоулевих втрат, надходить до холодного спаю, а половина – до гарячого.

Теплота, що переходить від гарячого спаю до холодного

$$Q_m = \lambda (T_\Gamma - T_X). \quad (2.5)$$

де λ – середній питомий коефіцієнт теплопровідності гілок термоелемента.

Таким чином, холодопродуктивність термоелемента з урахуванням втрат визначається з виразу

$$Q_0 = \alpha T_X I - \frac{I^2 R}{2} - \lambda (T_\Gamma - T_X). \quad (2.6)$$

Теплота, що відводиться від гарячого спаю

$$Q_0 = \alpha T_\Gamma I - \frac{I^2 R}{2} - \lambda (T_\Gamma - T_X). \quad (2.7)$$

Реальна робота циклу з урахуванням втрат

$$A_{ц.д.} = Q - Q_0 = \alpha I (T_\Gamma - T_X). \quad (2.8)$$

Холодильний коефіцієнт реального циклу термоелектричної холодильної машини

$$\varepsilon_{д.} = \frac{\alpha T_X I - \frac{I^2 R}{2} - \lambda (T_\Gamma - T_X)}{I^2 R + \alpha I (T_\Gamma - T_X)}. \quad (2.9)$$

Таким чином, холодильний коефіцієнт залежить від величини струму, що живить термоелемент. Можна показати, що максимальне значення холодильний коефіцієнт набуває при струмі [7]

$$I = \frac{\alpha (T_\Gamma - T_X)}{R \sqrt{[1 + 0,5Z(T_\Gamma + T_X) - 1]}}. \quad (2.10)$$

					123.УДК:004:681.11	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Матеріали для термоелектричних перетворювачів (термоелектрики) характеризуються добротністю Z . Даний параметр визначається фізичними властивостями термоелектрика – електропровідністю σ , теплопровідністю k та коефіцієнтом термоЕРС α пов'язаними формулою

$$Z = \sigma \alpha^2 / k. \quad (2.11)$$

Введемо допоміжний коефіцієнт M

$$M = \sqrt{1 + 0,5Z(T_{\Gamma} + T_x)}. \quad (2.12)$$

Тоді, підставляючи рівняння (2.10) до (2.9), отримуємо

$$\varepsilon_{max} = \frac{T_x}{T_{\Gamma} - T_x} \frac{M - T_{\Gamma}/T_x}{M + 1}. \quad (2.13)$$

Важливо, що холодильний коефіцієнт залежить від різниці температур ($T_2 - T_x$), створюваної термоелектричною батареєю, та величини Z , що характеризує властивості термоелектрика. Холодильний коефіцієнт наближується до свого максимального значення ε_{max} при $Z \rightarrow \infty$. Тому основне завдання термоелектричного матеріалознавства – підвищення добротності матеріалів, що використовуються [3].

2.1.3 Режими роботи охолоджуючих термоелементів

Термоелектричний холодильник може працювати в різних режимах, найбільш важливими з яких є режим максимального холодильного коефіцієнта ε_{max} і режим максимальної холодопродуктивності Q_{max} . У першому випадку термоелемент буде найефективніше перетворювати споживану електричну енергію на “холод”, у другому – на шкоду економічності може бути отримано найбільше зниження температури. Інакше кажучи, режим ε_{max} характеризує найбільш економічну роботу термоелектричного холодильника, тоді як режим Q_{max} забезпечує максимальну кількість відведеного тепла в одиницю часу.

В умовах максимальної холодопродуктивності холодильний коефіцієнт можна подати у вигляді

					123.УДК:004:681.11	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\varepsilon_{max} = \frac{1}{2T_r} \left(T_x - \frac{2(T_r - T_x)}{ZT_x} \right) . \quad (2.14)$$

Режими, близькі до максимальної холодопродуктивності, використовуються в малопотужних системах, в яких економія електроенергії не є важливим фактором. Навпаки, у досить потужних пристроях доцільно використовувати режими, близькі до умов максимального холодильного коефіцієнта [3].

На практиці термоелектричні холодильники зазвичай працюють при струмах, що становлять 25–80 % I_{max} .

Для термоелектричного охолоджувача дуже просто змінювати режим роботи від ε_{max} до Q_{max} і навпаки, а також працювати в деякому проміжному режимі шляхом зміни електричної напруги. Іншими словами, термоелектричний охолоджувач відрізняє висока функціональна гнучкість.

Режим Q_{max} відповідає максимально можливим значенням робочого струму в термоелементі. Для режиму ε_{max} характерно те, що робочий струм змінюється відповідно до зміни різниці температур на спаях.

На рис. 2.3 та рис. 2.4 показані типові графічні залежності холодильного коефіцієнта та холодопродуктивності від перепаду температур на термоелементі для випадків режиму максимального холодильного коефіцієнта та максимальної холодопродуктивності [5].

					123.УДК:004:681.11	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

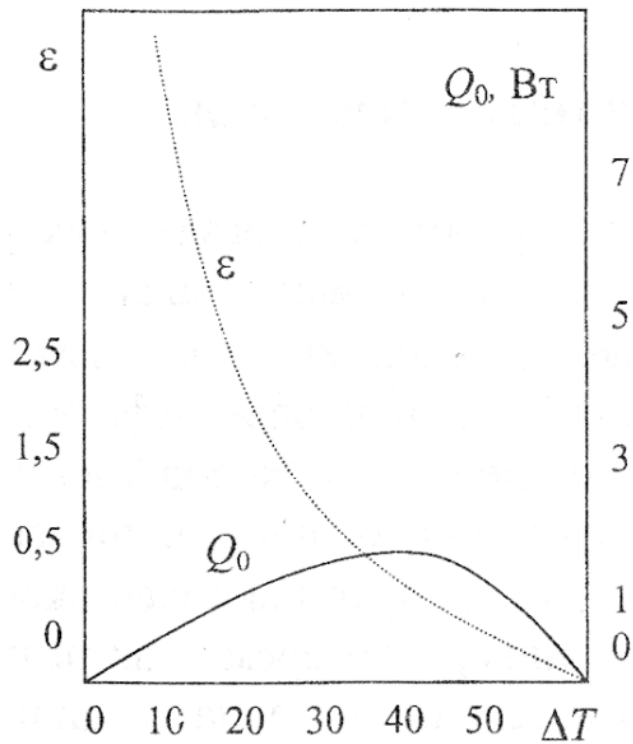


Рис. 2.3. Залежність холодильного коефіцієнта ϵ та холодо-продуктивності Q_0 від різниці температур для режиму максимального холодильного коефіцієнта

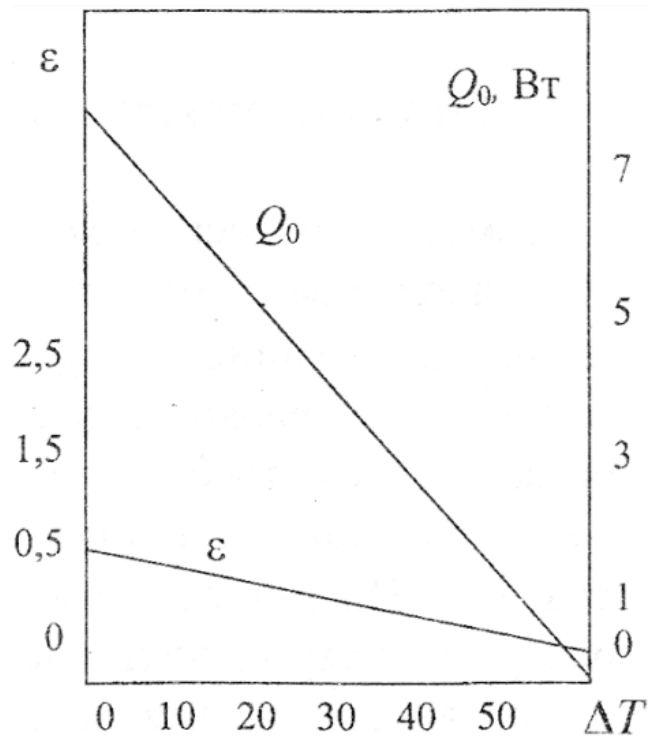


Рис. 2.4. Залежність холодильного коефіцієнта ϵ та холодопродуктивності Q_0 від різниці температур для режиму максимального холодопродуктивності

2.2 Матеріали для термоелектричних перетворень

Матеріали для термоелектричних перетворювачів характеризуються добротністю Z напівпровідникової речовини. Як було зазначено, даний параметр визначається фізичними властивостями речовини – електропровідністю σ , теплопровідністю k та коефіцієнтом термоЕРС α , пов'язаними формулою (2.11).

Чим вище Z , тим краще властивості термоелектрика, вища його ефективність, більше максимальне зниження температури на спаях [5]. Холодильний коефіцієнт наближається до свого максимального значення $\epsilon_{Карно}$ при $Z \rightarrow \infty$. Тому основне завдання термоелектричного матеріалознавства – пошук або створення матеріалів з якомога вищою добротністю.

Величини, що входять до складу рівняння (2.11), взаємопов'язані, оскільки залежить від концентрації вільних електронів чи дірок. Відповідні залежності подано на рис. 6.

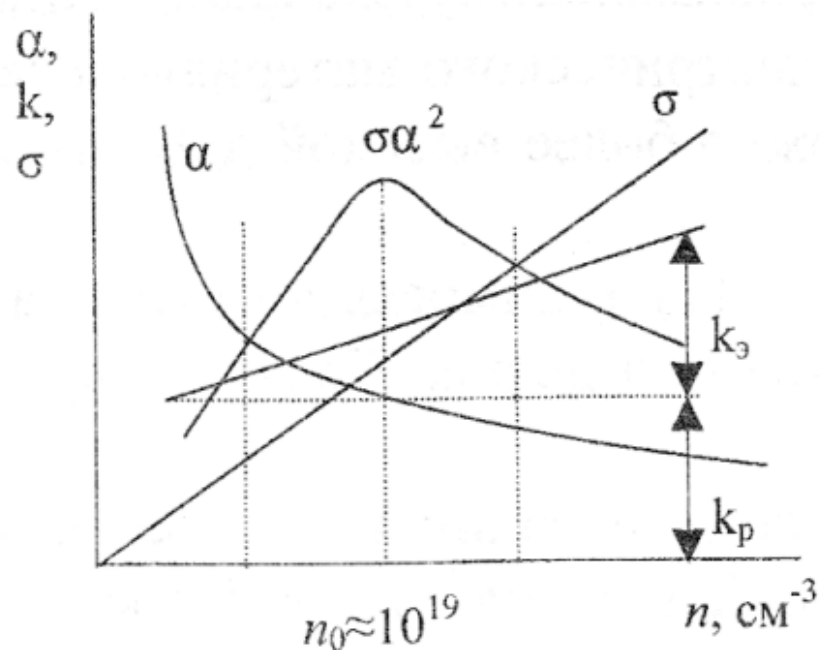


Рис. 2.5. Залежність параметрів α , σ та k від концентрації носіїв

					123.УДК:004:681.11	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Електропровідність пропорційна концентрації носіїв n , а термоЕРС прямує до нуля зі збільшенням n . Теплопровідність k складається з двох частин ($k = k_p + k_e$): теплопровідності кристалічної решітки (k_p), яка практично не залежить від n та електронної теплопровідності (k_e), пропорційною n [2].

У металах та металевих сплавах величина Z дуже мала через низький коефіцієнт термоЕРС, у діелектриках вона також мала через малу електропровідність σ . В області напівпровідникових концентрацій носіїв Z сягає свого максимального значення. Цим і пояснюється широке застосування сьогодні напівпровідників як термоелектриків.

Ефективність термоелектриків залежить також від температури T (Рис.2.6) [2].

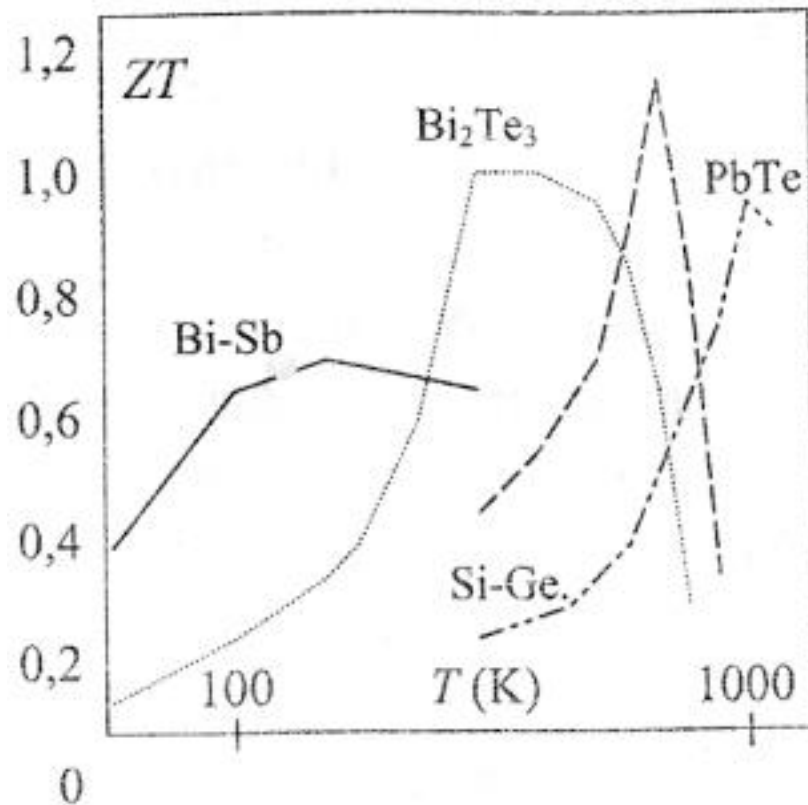


Рис. 2.6. Залежність ZT від температури для n -типу $Bi-Sb$, Bi_2Te_3 , $PbTe$ та $Si-Ge$

В даний час всі термоелектричні матеріали є напівпровідниками із значними концентраціями домішок. Однак виявлено рідкісноземельні

матеріали, які мають набагато вищі значення так званого фактора потужності $\sigma\alpha^2$

На жаль, такі матеріали мають високу теплопровідність k , яка не дозволяє їм досягати високих значень Z . Тим не менш, на основі рідкісноземельних сполук можна створювати нові термоелектричні матеріали. У термоелектричному матеріалознавстві основні зусилля спрямовані на те, щоб знайти матеріал з максимально високим значення безрозмірного параметра ZT .

Для цього важливо знати як Z залежить від властивостей матеріалу. Вираз для безрозмірного параметра ZT у загальному випадку має вигляд [2]

$$ZT = F(B, E_G/k_B T). \quad (2.15)$$

де B - так званий фактор якості (містить велику кількість параметрів, у тому числі хімічний потенціал, значення валентності хімічного зв'язку атомів, щільність матеріалу); k_B – постійна Больцмана, E_G – ширина забороненої зони напівпровідника.

Махан [2] систематизував вимоги, яким повинні задовольняти найкращі термоелектрики:

1. Бути багатовалентними. Як мінімум необхідна 4-валентний зв'язок.
2. Мати високу рухливість електронів або дірок ($\mu > 1000 \text{ см}^2/\text{Всек}$).
3. Мати високу густину (для досягнення максимально можливого значення B - фактора).
4. Мати низьку теплопровідність. Теплопровідність кристалічних ґрат має знаходитися в межах від 0.5 до 1.0 Вт/м К .

Низькою теплопровідністю характеризуються матеріали із високою атомною вагою елементів, що входять до їх складу. Такі матеріали мають малу енергію кристалічних ґрат і незначну власну теплопровідність. Ось чому найкращі термоелектрики створюються з вісмуту, телуру, свинцю та аналогічних елементів.

					123.УДК:004:681.11	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Інший спосіб зниження теплопровідності матеріалу k_p – створення складних структур з безліччю атомів в осередку кристалічних ґрат (для зменшення середнього вільного пробігу) шляхом сплавлення.

Ще одна стратегія – введення в кристалічну решітку домішок, атоми яких здатні обертатися довкола своєї осі. Цей спосіб особливо ефективний зниження теплопровідності матеріалу напівпровідника.

Дослідження зі створення та пошуку матеріалів з високою добротністю ведуться останнім часом за трьома напрямками [3]:

1. Створення функціонально неоднорідних матеріалів, тобто матеріалів, у яких цілеспрямовано формується просторова неоднорідність збільшення їх добротності.

2. Дослідження скутерудитів – матеріалів із структурою мінералу CoAs_3 . Зокрема вивчення CoAs_3 , RbAs_3 , CoSb_3 , RhSb_3 та IrSb_3 показало перспективність використання їх як термоелектриків.

3. Дослідження надґраток із квантовими ямами (Quantum-Well Superlattice – QWSL) дало дуже важливі результати. Поняття «квантова яма» використовується для позначення області термоелектрика, в якій середня потенційна енергія носіїв заряду нижче, ніж поза нею. Створюючи чергування квантових ям (наприклад, шляхом пошарового напилення матеріалу), можна утворити періодичну структуру QWSL. У таких структурах спостерігається суттєве зростання термоелектричної добротності.

Певні успіхи були досягнуті в останні роки за всіма трьома напрямків. Але найбільший – отримав у дослідженні QWSL-структур, в яких вдалося досягти збільшення термоелектричної добротності відразу в 3-6 разів у порівнянні з вихідними матеріалами. Енергетичний спектр електронів у квантових ямах відрізняється від спектру об'єму напівпровідника. Ці результати отримані в різних лабораторіях країн і успішно відтворюються. Такий величезний успіх у створенні нових матеріалів можна порівняти хіба що з відкриттям високотемпературних надпровідників.

					123.УДК:004:681.11	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Залежність відносного холодильного коефіцієнта $\varepsilon/\varepsilon_{\text{Карно}}$ від добротності Z для різних різниць температур T представлена на рис. 8. Штриховою лінією показано граничне значення Z для матеріалів, які зазвичай використовуються зараз у промисловому виробництві модулів [3].

Можна сподіватися, що для згаданих вище перспективних термоелектриків, у найближчому майбутньому буде досягнуто значення $ZT = 4$. У цьому випадку термоелектричні холодильні машини будуть характеризуватись високою ефективністю[3].

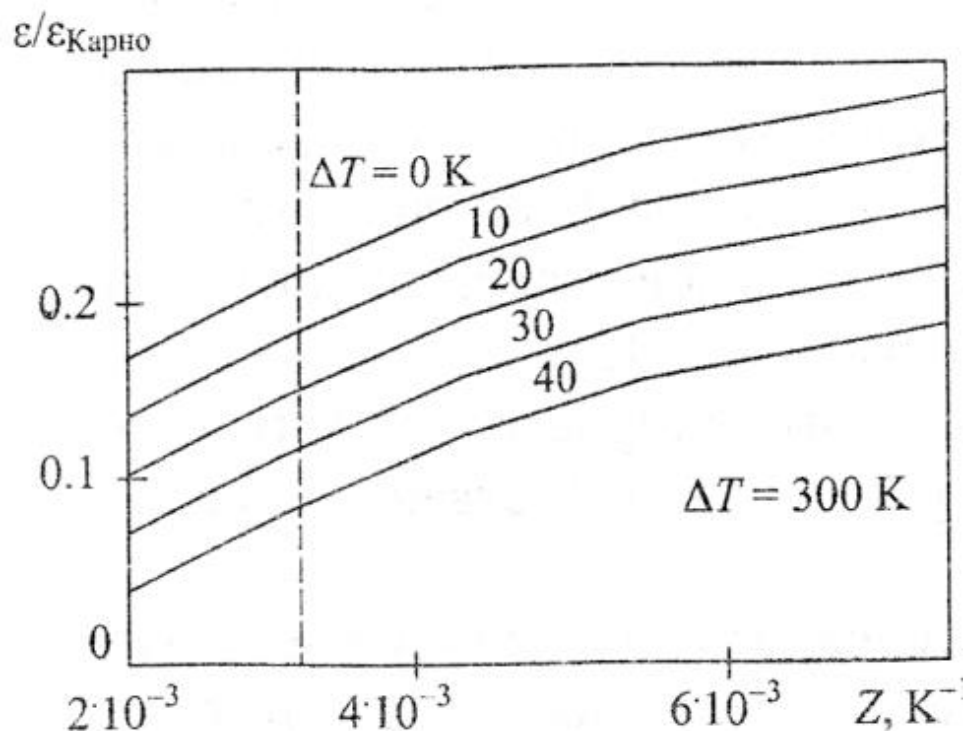


Рис. 2.7. Залежність відносного холодильного ефекту від добротності Z при різних температурах $\Delta T = T_r - T_x$

Поки що найбільше поширення для термоелектричного охолодження отримали матеріали, вихідними речовинами для яких є вісмут, сурма, селен, телур. Максимальна ефективність цих матеріалів за кімнатної температури становить $Z = 3.0 \cdot 10^{-3} \text{C}^{-1}$ для n - та p -типу.

Найчастіше для створення охолоджуючих термоелементів застосовуються термоелектрики на основі твердих розчинів телуриду вісмуту $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Bi}_2\text{Se}_3$ і $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Sb}_2\text{Te}_3$. Тверді розчини BiSe використовуються в області температур нижче $250 \text{ }^\circ\text{K}$. Максимального значення $Z = 6 \cdot 10^{-3} \text{C}^{-1}$ цей матеріал

досягає при температурі $T = 80...90$ °К. Цікаво відзначити, що ефективність сплаву значно підвищується в магнітному полі (ефекти Нернста, Еттінсгхаузена та інші).

2.3 Застосування термоелектричного охолодження

2.3.1 Термоелектричне охолодження комп'ютерних елементів

Робота сучасних високопродуктивних електронних компонентів, що становлять основу комп'ютерних систем, супроводжується значним тепловиділенням, особливо при експлуатації в форсованих режимах. Як наслідок, ефективна робота таких компонентів потребує адекватних засобів охолодження. Для підтримки оптимальних температурних режимів зазвичай використовують спеціальні охолоджувальні пристрої – кулери, основою яких є традиційні радіатори та вентилятори.

Надійність та продуктивність таких засобів безперервно підвищуються за рахунок удосконалення їх конструкції, використання нових технологій, запровадження різноманітних датчиків та засобів контролю. Це дозволяє інтегрувати подібні засоби до складу комп'ютерних систем, забезпечуючи діагностику та керування їх роботою.

Незважаючи на те, що параметри традиційних кулерів безперервно покращуються, останнім часом на комп'ютерному ринку з'явилися спеціальні засоби охолодження електронних елементів, засновані на термоелектричних ефектах у напівпровідниках. Зокрема, на думку фахівців, напівпровідникові термоелектричні модулі, що охолоджують властивості яких засновані на ефекті Пельтьє, надзвичайно перспективні для створення необхідних умов експлуатації комп'ютерних компонентів.

До речі, подібні засоби вже багато років успішно застосовують у різних галузях науки і техніки. Так, у 60-70-х роках минулого століття вітчизняна промисловість робила неодноразові спроби випуску побутових малогабаритних холодильників на основі ефекту Пельтьє. Однак

					123.УДК:004:681.11	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

недосконалість технологій того часу, низькі значення ккд та високі ціни не дозволили подібним пристроям залишити науково-дослідні лабораторії та випробувальні стенди. Проте в процесі вдосконалення технологій багато негативних явищ вдалося суттєво послабити, і в результаті цих зусиль були створені високоефективні та надійні напівпровідникові модулі.

В останні роки такі модулі, робота яких ґрунтується на ефекті Пельтьє, стали активно використовувати для охолодження різноманітних електронних компонентів комп'ютерів. Зокрема їх почали застосовувати для охолодження високопродуктивних процесорів з високим рівнем теплоутворення.

Завдяки своїм тепловим та експлуатаційним властивостям пристрої, створені на основі термоелектричних модулів (модулів Пельтьє), дозволяють досягти необхідного рівня охолодження комп'ютерних елементів без особливих технічних труднощів та фінансових витрат. В якості кулерів електронних компонентів такі засоби надзвичайно перспективні: вони компактні, зручні, надійні і мають дуже високу ефективність.

Особливо великий інтерес напівпровідникові кулери представляють як засоби, що забезпечують інтенсивне охолодження в комп'ютерних системах, елементи яких встановлені та експлуатуються в жорстких форсованих режимах. Використання таких режимів розгону (overclocking) часто забезпечує значний приріст продуктивності електронних компонентів, отже, і всієї системи. Проте робота у подібних режимах супроводжується значним тепловиділенням і нерідко перебуває межі можливостей комп'ютерних архітектур і мікроелектронних технологій.

Необхідно відзначити, що високим тепловиділенням супроводжується робота не тільки процесорів, а й сучасних високопродуктивних відеоадаптерів, а в деяких випадках і модулів пам'яті. Ці потужні елементи вимагають коректної роботи інтенсивного охолодження навіть у штатних режимах і більше режимах розгону.

					123.УДК:004:681.11	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Важливі переваги термоелектричного методу одержання холоду порівняно з іншими типами охолодження зумовили широку сферу додатків цього.

Залежно від холодопродуктивності можна виділити три класи використання термоелектричних холодильних машин.

1. Малопотужні охолоджувачі ($Q_0 < 100$ Вт). Переважна кількість термоелектричних холодильників відносяться саме до цього класу. За таких потужностей їх можна порівняти з компресійними машинами з економічної точки зору.

2. Термоелектричні холодильники середньої потужності ($100 < Q_0 < 500$ Вт). За таких потужностей економічна ефективність термоелектричних холодильників, як правило, нижче, ніж компресійних.

3. Високо потужні охолоджувачі ($Q_0 > 500$ Вт). Застосування термоелектричних холодильників для створення таких потужностей може бути виправданим при виконанні будь-яких специфічних вимог, таких як підвищені вимоги до ваги, розмірів, стійкості до перевантажень, необхідності автономної роботи тощо. Наприклад, у США розроблено термоелектрична мікрокліматична установка для пілотів гелікоптерів з $Q_0 = 1$ кВт.

Крім того, додатки термоелектричного охолодження можуть бути класифіковані за сферами застосування.

До термоелектричних холодильників споживчого призначення відносяться портативні пікнік-бокси, переносні домашні холодильники, охолоджувачі для напоїв (соків, вина), стаціонарні охолоджувачі-фільтри води, нагрівачі-охолоджувачі дитячого харчування, холодильники для готельних номерів.

Використання постійного струму робить дуже зручним застосування термоелектричні охолоджувачі на транспорті. Розроблено автомобільні міні-холодильники, автомобілі з термостатованим кузовом, охолоджувачі автомобільних сидінь та мотоциклетних шоломів, охолоджувачі питної води

					123.УДК:004:681.11	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

для літаків та пасажирських залізничних вагонів. Створено термоелектричні блоки для кондиціонерів на поїздах шведських та французьких залізниць. Проходять випробування термоелектричні кондиціонери на залізницях. Дуже перспективними є автомобільні локальні кондиціонери для комфортного охолодження водія або одного пасажера.

Використання термоелектричного охолодження у промисловості і системах телекомунікацій – це управління температурними процесами, у тому числі точне підтримання температури різних електронних блоків, жорсткий захист критичних систем від зовнішніх теплових впливів, термостатування мікропроцесорів обчислювальних систем та систем автоматики, охолодження волокно-оптичних систем та лазерних діодів з метою стабілізації їх параметрів.

На підприємствах торгівлі та харчування використовуються охолоджувані бари для напоїв та вітрини, що охолоджуються, пристрої для охолодження та збивання олії, морозива та вершків, індивідуальні порційні охолоджувачі страв, охолоджувачі молока тощо.

Застосування термоелектричного охолодження у медицині. Це прилади для аналізу крові, стаціонарні та переносні холодильники для ліків, у тому числі домашні охолоджувачі інсуліну, обладнання для оперування та зберігання тканин, біостимулятори, криогенні пінцети. офтальмології, криогенні скальпелі, предмети, що охолоджуються, столики для мікроскопів, підкладки для зуболікарського цементу, термостатовані терапевтичні ковдри, персональні лікарняні холодильники.

Далеко не повний список лабораторного та наукового обладнання з використанням термоелектричних охолоджувачів включає: охолоджувані інфрачервоні детектори, рефрактометри, лазерні коліматори, фотопомножувачі, ПЗС матриці, інтегральні схеми, електронні плати, спектрофотометри, термопрограматори, камери, що охолоджуються, і мішалки, детектори точки замерзання і точки роси, еталони абсолютно

					123.УДК:004:681.11	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

чорного тіла, осередки для електрофорезу, осмометри, аналізатори забруднення повітря, прилади для визначення температури застигання нафти.

					123.УДК:004:681.11	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ КОМП'ЮТЕРА НА БАЗІ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА РОЗРАХУНОК ЇЇ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ.

3.1. Моделювання системи охолодження на базі термоелектричного матеріалу

Обчислювальна техніка у світі грає важливу роль, від стабільної роботи якої безпосередньо залежить більшість технологічних процесів. У свою чергу робота обчислювальної техніки супроводжується великим виділенням теплоти і як не намагалися виробники її компонентів зменшити виділення тепла, важливість систем охолодження залишається незмінною.

У розробленій системі охолодження використовуються термоелектричні елементи, чи просто кажучи «елементи Пельтьє». У ролі компонента, який братиме участь у процесі охолодження, взято центральний процесор персонального комп'ютера.

Ідея розробки полягає в тому, щоб «помістити» між звичним радіатором (який здійснює процес відведення та розсіювання теплоти від кристала процесора) елемент Пельтьє в ролі теплового насоса (рисунок 1).

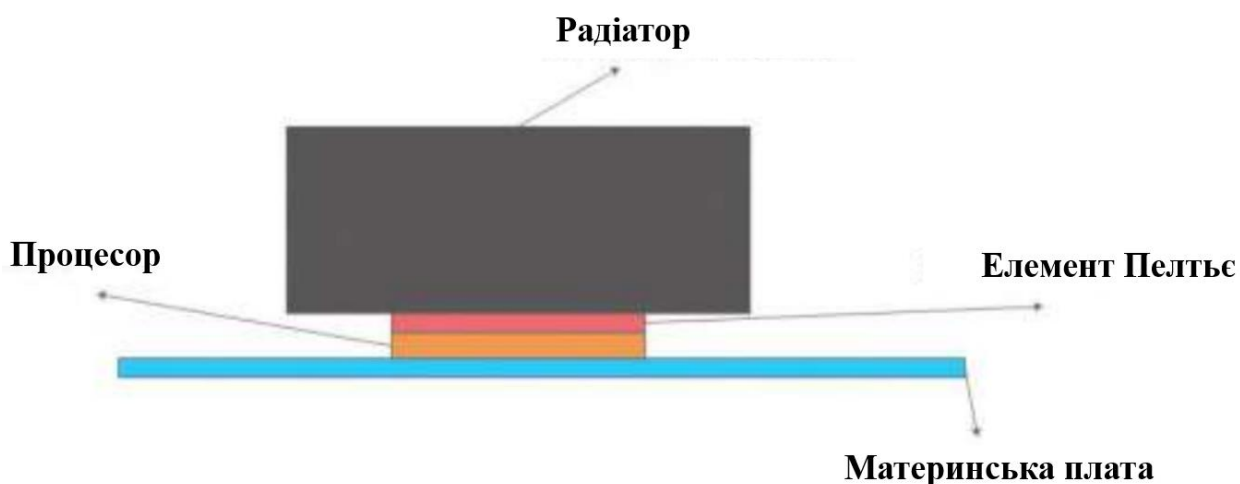


Рис. 3. 1. Принципова схема експериментальної установки

При подачі напруги на елемент він робитиме «перенесення» теплоти з процесора на сам радіатор, відповідно кількість перенесеної теплоти буде залежити від потужності модуля та режиму його роботи.

					123.УДК:004:681.11	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Однак не варто забувати, що за високої потужності модуля можливі негативні значення температури на кришці процесора, що не влаштовує (негативні температури загрожують утворенням конденсату на модулі, що може згубно позначитися на функціонуванні центрального процесора), а отже, буде обраний оптимальний елемент для підтримки сприятливої температури процесора без ризику утворення конденсату. Шляхом зміни режимів роботи модуля можна досягти максимальної ефективності охолодження, а також мінімальних витрат електроенергії

3.2. Розрахунок основних параметрів системи охолодження комп'ютера

Перед тим, як приступити до експериментальних досліджень, було вирішено скласти модель системи охолодження, що розробляється. Метою моделювання було виявлення характеру поведінки елемента чи каскаду елементів під тепловим навантаженням, а також розрахунок необхідної сили струму та напруги, які слід подати на модуль, щоб отримати від нього необхідну потужність охолодження та необхідної фіксованої температури.

Характеристика найбільш відповідного модуля Пельтьє наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1.

Назва модуля	TEC1-12715
Робоча напруга	12 – 15В
Робочий ток	15А – max
Холодопродуктивність	136 Вт
Матеріал p – гілки	Bi_2Te_3
Матеріал n – гілки	Bi-Sb

Основною складністю при проведенні розрахунків буде прийняття температури гарячого та холодного спаїв термоелемента. Не можна сказати напевно, яка температура буде встановлена після теплової рівноваги між холодним спаєм термоелемента та кришкою процесора. Враховуючи

потужність модуля, ясно, що температура процесора варіюватиметься від 313K до 333K. Для цих значень температури необхідно обчислити відповідний коефіцієнт термоелектричної добротності Z :

$$Z = \frac{\alpha}{\sqrt{k\rho}}, [z], K^{-1}, \quad (3.1)$$

де α - коефіцієнт термоедс, мкВ/К

k - коефіцієнт теплопровідності, Вт/см·К

ρ - питомий опір, Ом·см.

1) У таблиці 3.2 подано дані для розрахунку коефіцієнта термоелектричної добротності р-п.

Таблиця 3.2.

Параметр	Bi-Sb	Bi ₂ Te ₃
Z, K^{-1}	$5 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-3}(300K)$
$\alpha, В/К$	$180 \cdot 10^{-6}$	$60 \cdot 10^{-6}$
$k, Вт/см \cdot К$	$2,9 \cdot 10^{-2}$	$7,5 \cdot 10^{-2}$
$\sigma = \frac{1}{\rho}, \frac{1}{Ом \cdot см}$	4500	$1,585 \cdot 10^4$

Добротність р-п пари обчислюється за такою формулою:

$$Z_{те} = \left(\frac{\alpha_1 - \alpha_2}{\sqrt{\frac{k_1}{\sigma_2}} + \sqrt{\frac{k_2}{\sigma_1}}} \right)^2 = 0,837 \cdot 10^{-3} K^{-1}, \quad (3.2)$$

де індекс 1 відповідає матеріалу Bi-Sb;

індекс 2 відповідає матеріалу Bi₂Te₃

2) Задаємо умови:

Холодопродуктивність (кількість теплоти, що знімається з процесора) прийнято: $Q_0 = 50$ Вт.

Прийmemo температури спаїв:

					123.УДК:004:681.11	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Гарячого, що скидає тепло радіатору (вважатимемо, що його температура постійна) - $T_0 = 323 \text{ K}$;

Холодного, що приймає тепло від кришки процесора – $T_1 = 303 \text{ K}$.

Така температура холодного спаю прийнята з сприятливих міркувань температури центрального процесора. Саме такої температури ми будемо прагнути. [6]

3) Задаємо джерело напруги: $V = 12 \text{ В}$

4) Холодильний коефіцієнт машини. Термоелектричне охолоджуючий пристрій може працювати у двох основних режимах – режимі максимального холодильного коефіцієнта ε_{max} та режимі максимальної холодопродуктивності Q_{max} . У першому випадку прилад найбільш ефективно перетворюватиме споживану електричну енергію в «холод», у другому випадку на шкоду економічності може бути отримано максимальне зниження температури. Оскільки в аналізованій задачі необхідно забезпечити невеликий перепад температур, пристрій повинен працювати в режимі ε_{max} , для якого справедлива формула:

$$\varepsilon_{max} = \frac{T_1}{T_0 - T_1} \frac{\sqrt{1 + 0,5Z(T_0 + T_1)} - \frac{T_0}{T_1}}{\sqrt{1 + 0,5Z(T_0 + T_1)} + 1} = 0,41. \quad (3.3)$$

При отриманні даної формули використовувалася модель, яка не враховує ефект Томсона, який в даному випадку буде зневажливо малий через відносно невисокої різниці температур.

5) Споживана потужність термоелемента:

$$W = \frac{Q_0}{\varepsilon_{max}} = 121,95 \text{ Вт}. \quad (3.4)$$

6) Сили робочого струму:

$$I = \frac{W}{V} = 10,16 \text{ А}. \quad (3.5)$$

За допомогою проведених розрахунків ми дізналися, яку силу струму слід подавати на термоелемент, щоб досягти потрібного нам значення

					123.УДК:004:681.11	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

температури та холодильного коефіцієнта, а також - який за потужністю має бути радіатор, який відводитиме тепло від «гарячої» сторони елемента Пельтьє. При проектуванні експериментальної установки це відіграватиме важливу роль.

Порівняння з існуючими аналогами

Для порівняння слід вивчити ринок схожих систем охолодження, заснованих на принципі «перекачування» тепла шляхом застосування в системи охолодження елемента Пельтьє. В результаті детального вивчення з'ясувалося, що на даний момент немає великих виробників кулери з елементом Пельтьє. В основному є велика кількість ентузіастів, які намагаються поєднати «тепловий насос» з існуючими системами повітряного чи водяного охолодження. Тому порівнювати розробку будемо із звичайними представниками повітряних систем охолодження (табл. 3.3).

Для порівняння взято охолоджувач *Arctic Cooling Alpine 11 PLUS*.

Таблиця 3.3.

Система охолодження	Модуль Пельтьє та охолоджувач на гарячу сторону (TDP 122 Вт)	Arctic Cooling Alpine 11 PLUS
Ціна, грн	475	254
TDP	50	50
Підтримання постійної температури	Є	Залежить від навколишнього середовища
Температура при підключенні теплової навантаження	30 °C	При температурі навколишнього середовища ~25 °C 31 – 32 °C
Споживана потужність	~130 Вт	~10 Вт

Конструктивні вимоги щодо тепловідведення - величина, що показує, на відвід якої теплової потужності повинна бути розрахована система охолодження процесора або іншого напівпровідникового приладу

Не проводячи якихось особливих розрахунків видно, що розроблена система поступається звичайному охолодженню з повітряним охолодженням у багатьох пунктах. Безперечним плюсом є те, що розроблена модель охолодження здатна підтримувати постійну температуру незалежно від температури довкілля. Головним же мінусом буде надмірне енергоспоживання всієї установки. На жаль, всі сучасні модулі Пельтьє мають дуже низький ККД, через це доводиться витратити досить велику кількість електроенергії, щоб отримати справді суттєвий результат у охолодження.

Якщо розглядати системи охолодження з погляду потужності, то нижчі щаблі займають повітряні, вище стоять системи водяного охолодження, що мають середню потужність, за ними йдуть найпотужніші та найскладніші в конструкції фреонові холодильні системи. Якщо ж брати систему охолодження з впровадженням у неї модуля Пельтьє, вона може ставитись майже до будь-якої категорії (якщо відповідно потужність модуля буде відносно високою). Відповідно з підвищенням потужності та кількості модулів можна досягти досить низьких температур, що в свою чергу вкрай необхідно у виконанні різних завдань, зв'язаних з процесорами. Наприклад, таке завдання як «розгін» процесора вимагає від системи охолодження великої потужності, що досить важко досягти, а то й просто неможливо (мова йде про системи повітряного та водяного охолодження). Внаслідок цього можна базувати системи охолодження з термоелектричним модулем як досить своєрідні охолоджувачі, призначені для досвідчених користувачів, і саме вони будуть мати попит із таких систем охолодження. Також не варто забувати, що елементи Пельтьє загрожує виділенням великої кількості теплоти, коли своєю холодною стороною вони забирають тепло у процесора, на гарячій відбувається її активне виділення. Цю теплоту можна також вважати

					123.УДК:004:681.11	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

унікальністю модуля та використовувати у другорядних задачах. Наприклад, як заміна обігрівачу в кімнаті (гаряча сторона модуля виділяє велику кількість теплоти, достатню для обігріву маленького приміщення протягом великого проміжку часу).

Застосування термоелектричних модулів дуже широке і на мою думку, у майбутньому їм буде виділено окреме місце, де вони впораються зі своїм завданням найкраще, а особливо як системи охолодження.

					123.УДК:004:681.11	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

1) У даній роботі розглянутий сучасний стан термоелектрики та термоелектричних модулів, які також є технікою охолодження.

2) За даними літературних джерел були визначені основні властивості основних термоелектричних матеріалів.

3) Були проведені основні розрахунки співвідношення для охолоджуючого термоелемента.

4) Досліджено, що завдяки своїм тепловим та експлуатаційним властивостям пристрої, створені на основі термоелектричних модулів (модулів Пельтьє), дозволяють досягти необхідного рівня охолодження комп'ютерних елементів без особливих технічних труднощів та фінансових витрат. В якості кулерів електронних компонентів такі засоби надзвичайно перспективні: вони компактні, зручні, надійні і мають дуже високу ефективність.

5) Розроблена система охолодження, в якій використовуються термоелектричні елементи, чи просто кажучи «елементи Пельтьє». У ролі компонента, який брав участь у процесі охолодження, взято центральний процесор персонального комп'ютера.

Внаслідок чого можна базувати системи охолодження з термоелектричним модулем як досить своєрідні охолоджувачі, призначені для досвідчених користувачів, і саме вони будуть мати попит із таких систем охолодження.

					123.УДК:004:681.11	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Йоффе А.Ф. Напівпровідникові термоелементи. Видавництво АН ССРСР, 1956. 352 с.
2. Булат Л.П. Термоелектричне охолодження: сучасний стан та перспективи. Холодильна техніка. 1999. 433 с.
3. Бараненко А.В. Холодильні машини: підручник. 1997. 992 с.
4. Анатичук Л.І. Фізика термоелектрики. Київ. 1998. 378 с.
5. Шостаковський П.В. Термоелектричні джерела альтернативного електроживлення. Журнал "Компоненты и технологии". 131-138 с.
6. Рожен О.П. Термоелектрика: від Алессандро Вольта до Лук'яна Анатичука. 2005. 544 с.
7. Д.М. Фреїк, Л.І. Никируй, О.С. Криницький. Фізика і хімія твердого тіла. – 2012. – Т. 13, № 2. – С. 297-318.
8. Коржуєв М.А. Послідовність відкриття основних термоелектричних явищ. 2011. 83-100 с.

					123.УДК:004:681.11	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		