



УКРАЇНА

(19) UA (11) 12054 (13) U
(51) МПК (2006)
G01N 25/20МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ МАТЕРІАЛІВ

1

2

(21) u200507441

(22) 26.07.2005

(24) 16.01.2006

(46) 16.01.2006, Бюл. № 1, 2006 р.

(72) Колосніченко Марина Вікторівна, Скрипник
Юрій Олексійович, Ченська Тетяна Володимирівна(73) КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ(57) Пристрій для визначення теплопровідності
матеріалів, який включає термопару з робочим
кінцем, що знаходиться в тепловому контакті з
поверхнею матеріалу, який досліджується, і з'єд-
наний з додатним та від'ємним електродами, віль-
ні кінці яких розташовані на мідних колодках, ди-
ференційний підсилювач та двополюсний
перемикач полярності, який **відрізняється** тим,
що в нього введені об'єднані загальною шиною
аналого-цифровий перетворювач напруги, цифро-аналоговий перетворювач струму, цифрова опе-
ративна пам'ять, програмована постійна пам'ять,
мікропроцесор і цифровий індикатор, додатковий
електрод, однорідний з додатним електродом,
додаткова мідна колодка та вхідний подільник на-
пруги, через який мідні колодки з'єднані з дифере-
нційним підсилювачем, причому робочий кінець
термопар з'єднаний з додатковим електродом,
підключеним через додаткову мідну колодку до
одного входу двополюсного перемикача полярно-
сті, другий вихід якого з'єднаний з середньою точ-
кою вхідного подільника напруги, аналого-
цифровий перетворювач напруги з'єднаний дифе-
ренційним підсилювачем, а симетричні виходи
цифро-аналогового перетворювача струму з'єдна-
ні з входами двополюсного перемикача полярно-
сті, керуючий вхід якого з'єднаний з виходом мікро-
процесора.

Корисна модель відноситься до області тепло-
технічних вимірів й може бути використана для
контролю теплопровідності тканин, шкіри, картону,
полімерних плівок та інших рулонних й листових
матеріалів.

Для вимірювання теплопровідності рулонних
та листових матеріалів при односторонньому дос-
тупі до цих матеріалів в якості чутливого елементу
датчика теплопровідності зручно використовувати
термопару з додатковим нагрівом або охолоджен-
ням. У цьому випадку зміна термоелектрорушійної
сили (термоЕРС) термопар є наслідком зміни
теплопровідності матеріалу, якого торкається ро-
бочий кінець (спай) термопар. Малі габарити
термопар дозволяють проводити контроль теп-
лопровідності матеріалу в декількох точках, що
підвищує точність контролю.

Відомий пристрій для визначення теплопрові-
дності матеріалів [див. Коротков П.А., Лондон Г.Е.
Динамические контактные измерения тепловых
величин. - Л.: Машиностроение. Ленинградское
отделение, 1974, С.109-110], який має мостову
вимірювальну схему, в котрій плечами служать
обмотки трансформатора живлення й дві однакові
термопар, робочі кінці яких нагріваються змінним

струмом, а в діагональ мостової схеми включена
третя термопара. По термоЕРС третьої термопар
визначають теплопровідність матеріалу, розташо-
ваного між двома термопарами.

Однак, рознесені в просторі термопари-
нагрівачі не забезпечують високу чутливість й точ-
ність визначення теплопровідності матеріалу, що
досліджується.

Відомий пристрій для визначення теплопрові-
дності матеріалів [див. Термоелектричні прилади
контролю / Гондюл В.П., Головкин Д.Б., Скрипник
Ю.О., Хімічева Г.І., Глазков Л.О. - К.: Либідь, 1994,
С.76-78], який має дві термопар з загальним ро-
бочим кінцем, диференційний підсилювач, джере-
ло постійного струму й двополюсний перемикач
полярності.

У цьому пристрої загальний робочий кінець
одночасно є й нагрівачем, й вимірювачем темпе-
ратури, що підвищує чутливість до змін теплопро-
відності. Але при цьому постійний струм нагріву-
охолодження частково проникає в вимірювальну
термопару, що викликає велику похибку вимірю-
вання теплопровідності.

Відомий також пристрій для вимірювання теп-
лопровідності матеріалів [див. Високоточні вимі-

(13) U
(11) 12054
(19) UA

рювання багатофункціональними термосенсорами: навчальний посібник / Головки Д.Б., Дубровний В.О., Скрипник Ю.О., Хімічева Г.І. - К.: Либідь, 2000, С.222-224], який включає термопару з робочим кінцем, що знаходиться в тепловому контакті з поверхнею матеріалу, який досліджується, і з'єднаний з додатним та від'ємним електродами, вільні кінці яких розташовані на мідних колодках, диференційний підсилювач та двополюсний перемикач полярності.

Крім того, пристрій включає джерело постійного струму, регульований резистор, міліамперметр і мілівольтметр.

Почерговий нагрів й охолодження робочого кінця постійним струмом за рахунок ефекту Пельтьє, підвищує чутливість термопар до змін теплопровідності матеріалу. Однак переривання струму нагріву-охолодження для визначення термоЕРС термопар викликає нестабільність температури робочого кінця, внаслідок швидкого розсіювання тепла Пельтьє у контактному шарі електродів. Непостійність температури робочого кінця знижує точність вимірювання теплопровідності матеріалів.

В основу корисної моделі покладена задача створити такий пристрій для визначення теплопровідності матеріалів, в якому введення нових елементів і зв'язків, забезпечило би підвищення точності вимірювання теплопровідності матеріалів.

Поставлена задача досягається тим, що в пристрій для визначення теплопровідності матеріалів, який включає термопару з робочим кінцем, що знаходиться в тепловому контакті з поверхнею матеріалу, який досліджується, і з'єднаний з додатним та від'ємним електродами, вільні кінці яких розташовані на мідних колодках, диференційний підсилювач та двополюсний перемикач полярності, згідно з корисною моделлю, до нього введені об'єднані загальною шиною аналого-цифровий перетворювач напруги, цифро-аналоговий перетворювач струму, цифрова оперативна пам'ять, програмована постійна пам'ять, мікропроцесор і цифровий індикатор, додатковий електрод, однорідний з додатним електродом, додаткова мідна колодка та вхідний подільник напруги, через який мідні колодки з'єднані диференційним підсилювачем, причому робочий кінець термопар з'єднаний з додатковим електродом, підключеним через додаткову мідну колодку, до одного входу двополюсного перемикача полярності, другий вхід якого з'єднаний з середньою точкою вхідного подільника напруги, аналого-цифровий перетворювач напруги з'єднаний з диференційним підсилювачем, а симетричні виходи цифро-аналогового перетворювача струму з'єднані з входами двополюсного перемикача полярності, керуючий вхід якого з'єднаний з виходом мікропроцесора.

Введення у схему пристрою для визначення теплопровідності матеріалу аналого-цифрового перетворювача напруги, цифрового-аналого перетворювача струму, цифрової оперативної пам'яті, програмованої постійної пам'яті, мікропроцесора та цифрового індикатора, об'єднаних загальною шиною, третьою мідною колодкою й третього електрода, однорідного з додатним електродом термопар, який включений між робочим кінцем й третьою мідною колодкою, з'єднаних з елементами

пристрою вказаним чином, дозволяє здійснювати охолодження й нагрів робочого кінця термопар постійним струмом, без його переривання при вимірюванні термоЕРС охолодженого й нагрітого робочого кінця термопар, що забезпечує стабільність температури охолодження й нагріву робочого кінця при тепловому контакті з матеріалом, що досліджується, що забезпечує підвищення точності вимірювання теплопровідності матеріалу.

На фігурі приведена електрична схема пристрою для визначення теплопровідності матеріалів.

Пристрій містить термопару 1, яка складається з робочого кінця 2, двох різновидних електродів: від'ємного 3 й додатного 4, додаткового електроду 5, однорідного з електродом 4, й трьох мідних колодок 6, 7, 8, на яких розташовані вільні кінці електродів. Подовжувальними проводами 9 й 10 мідні колодки 6 й 7 через вхідний подільник напруги 22 з'єднані з прямим й інверсним входами диференційного підсилювача 11, до виходу якого підключено аналого-цифровий перетворювач (АЦП) напруги 12. Цифровий вихід АЦП крізь загальну шину 13 з'єднаний з цифровою оперативною пам'яттю 14. Загальною шиною 13 також з'єднані в одну обчислювальну систему програмована постійна пам'ять 15, мікропроцесор 16, цифровий індикатор 17 і цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП) струму 18. До симетричних виходів ЦАП струму 18 підключено двополюсний перемикач полярності 19, один вхід якого за допомогою подовжувального проводу 20 з'єднаний з диференційним підсилювачем 11 через середню точку вхідного подільника напруги 22, який складається з однакових резисторів, а другий вхід через подовжувальний провід 21 - мідною колодкою 8. Мікропроцесор 16 з'єднаний з двополюсним перемикачем полярності 19.

Позицією 23 позначено матеріал, теплопровідність якого досліджується, а позицією 24 - металева основа, на якій знаходиться випробуваний матеріал.

Пристрій працює наступним чином.

Термопару 1 розташовують так, щоб її робочий кінець 2 знаходився в тепловому контакті з матеріалом 23, що досліджується, який розміщується на металевій основі 24. Робочий кінець 2 термопар 1 сприймає температуру матеріалу T_1 , а вільні кінці від'ємного 3 та додатного 4 електродів, розташованих на мідних колодках 6 й 7, мають температуру цих колодок T_0 . ТермоЕРС ε_1 на вільних кінцях термопар визначаються виразом:

$$E_1 = \varepsilon_1 T_1 - \varepsilon_0 T_0, \quad (1)$$

де ε_1 - коефіцієнт Зеебека (коефіцієнт термоЕРС) робочого кінця 2 при термодинамічній температурі T_1 ;

ε_0 - коефіцієнт Зеебека вільних кінців при термодинамічній температурі T_0 .

ТермоЕРС по подовжувальним проводам 9 й 10 передається на інверсний і прямий входи диференційного підсилювача 11. Підсилена напруга поступає на АЦП напруги 12, в якому перетворюється у цифровий КОД N_1 ;

$$N_1 = \frac{K_1}{q_1} (\varepsilon_1 T_1 - \varepsilon_0 T_0), \quad (2)$$

де K_1 - коефіцієнт підсилення диференційного

підсилювача 11;

q_1 - одиниця молодшого розряду АЦП напруги 12.

Код N_1 вводиться до мікропроцесорної системи через загальну шину 13 і запам'ятовується в цифровій оперативній пам'яті 14.

По програмі, яка записана в програмованій постійній пам'яті 15, до мікропроцесора 16 вводиться код N_0 , який відповідає оптимальному струму охолодження робочого кінця 2 термопари 1. За допомогою ЦАП струму 18 по коду N_0 формується постійний струм

$$I_0 = q_2 N_0, \quad (3)$$

де q_2 - одиниця молодшого розряду ЦАП 18.

Постійний струм I_0 через двополюсний перемикач полярності 19 поступає в робочий кінець 2 термопари 1 по подовжувальним проводам 20 й 21. В спаї додатного 5 і від'ємного 3 електродів за рахунок ефекту Пельтьє виникає поглинання тепла, і робочий кінець 2 охолоджується до температури T_2 . При охолодженні робочого кінця 2 термопари 1 термоЕРС на мідних колодках 6 й 7 знижується до значення:

$$E_2 = \varepsilon_1 T_2 - \varepsilon_0 T_0, \quad (4)$$

При цьому на вхідну напругу диференційного підсилювача 11 струм I_0 , що протікає по електродах 3 і 4 термопари 1 та її подовжувальних проводах 9 і 10, безпосередньо не впливає. Дійсно, електроди 3 й 4, проводи 9 і 10 та резистори вхідного подільника напруги 22 утворюють мостову схему, в діагоналі якої протікає струм I_0 . Оскільки струм протікає крізь однакові резистори в протилежних напрямках, то загальне падіння напруги на резисторах подільника напруги 22 дорівнює нулю і не посилюється диференційним підсилювачем 11. Тому при вимірюванні термоЕРС E_2 охолодженого робочого кінця 2 немає необхідності в перериванні струму.

При визначенні температури T_2 треба врахувати, що одночасно з поглинанням тепла Пельтьє здійснюється виділення теплоти Джоуля на електродах 3 і 5, а також на її спаї. Частина цього тепла розсіюється в робочому кінці 2, а частина - в мідних колодках 6 і 8. Тому результуючу температуру робочого кінця 2 при струмі I_0 можна розрахувати за формулою:

$$T_2 = T_1 - \frac{P I_0 - K_2 I_0^2 R}{\lambda_x F} \delta, \quad (5)$$

де P - коефіцієнт Пельтьє різних електродів 3 і 5;

K_2 - коефіцієнт, який враховує долю тепла Джоуля, яка поступає в робочий кінець 2;

R - загальний опір електродів 3, 5 і робочого кінця 2 термопари 1;

δ - товщина матеріалу 23, що досліджується;

λ_x - теплопровідність матеріалу 23, що досліджується;

F - площа поверхні теплообміну робочого кінця 2 термопари 1 з матеріалом 23.

ТермоЕРС E_2 підсилюється диференційним підсилювачем 11 та за допомогою АЦП напруги 12 перетворюється у цифровий код. При невеликих змінах температур ($T_1 - T_2 \ll T_1$) можна вважати, що:

$$N_2 = \frac{K_1}{q_1} \left[\varepsilon_1 \left(T_1 - \frac{P I_0 - K_2 I_0^2 R}{\lambda_x F} \delta \right) - \varepsilon_0 T_0 \right], \quad (6)$$

Код N_2 також вводиться через загальну шину 13 й запам'ятовується в цифровій оперативній пам'яті 14, товщина матеріалу 23 8 вводиться в мікропроцесорну систему оператором.

Далі по програмі, яка зберігається в програмованій постійній пам'яті 15 мікропроцесором 16 виробляється сигнал на перемикач полярності 19. При цьому проходить зміна напрямку проходження постійного струму через спаї електродів 3 і 5. В результаті зміни напрямку струму у спаї починається процес виділення тепла Пельтьє. В результаті цього температура робочого кінця 2 підвищується до значення:

$$T_3 = T_1 + \frac{P I_0 - K_2 I_0^2 R}{\lambda_x F} \delta, \quad (7)$$

Відповідно термоЕРС на вільних кінцях електродів термопари 3 і 5 підвищується, код на виході АЦП напруги 12 приймає значення:

$$N_3 = \frac{K_1}{q_1} \left[\varepsilon_1 \left(T_1 + \frac{P I_0 - K_2 I_0^2 R}{\lambda_x F} \delta \right) - \varepsilon_0 T_0 \right], \quad (8)$$

Код N_3 вводиться у мікропроцесорну систему через загальну шину 13 й запам'ятовується в цифровій оперативній пам'яті 14. Двополюсний перемикач полярності 19 повертається у вихідний стан, ЦАП струму 18 обнуляється. Температура робочого кінця 2 знижується до температури T_1 .

Теплопровідність матеріалу 23, що досліджується, можна визначити із рівнянь (1), (6) і (8) за формулою:

$$\lambda_x = \frac{2 K_1 K_2 \varepsilon_1 I_0^2 R \delta}{N_3 + N_2 - 2 N_1 q_1 F}, \quad (9)$$

У розрахункову формулу (9) входить крім кодів N_1 , N_2 , N_3 складова (позначимо її як L)

$$L = \frac{2 K_1 K_2 \varepsilon_1 I_0^2 R}{q_1 F}, \quad (10)$$

яка визначається параметрами, що не залежать від теплофізичних властивостей матеріалу, але є необхідними для визначення теплопровідності пристроєм. Невизначеність параметра L може бути джерелом похибки вимірювань.

З метою усунення цієї вади проводять калібрування пристрою по матеріалу з відомою теплопровідністю λ_k , який може знаходитися в іншому термодинамічному стані.

Результат калібрування можна представити у вигляді:

$$\lambda_k = \frac{2 K_1 K_2 \varepsilon_1 I_0^2 R \delta_K}{N_{3K} + N_{2K} - 2 N_{1K} q_1 F}, \quad (11)$$

де N_{1K} , N_{2K} , N_{3K} - коди, які отримують в процесі калібрування;

λ_k й δ_k - відповідно теплопровідність й товщина матеріалу, що калібрується.

У мікропроцесорі по кодам результатів каліб-

рування визначається складова

$$L = \frac{\lambda_K (N_{3K} + N_{2K} - 2N_{1K})}{\delta_K}, \quad (12)$$

Результати калібрування зберігаються в програмованій постійній пам'яті 15 у вигляді кодів N_{1K} , N_{2K} , N_{3K} і товщини δ_K .

З урахуванням формул (9), (10) і (12) визначають по кодам вимірювань і калібрування теплопровідність матеріалу 23, що досліджується:

$$\lambda_X = \frac{N_{3K} + N_{2K} - 2N_{1K}}{N_3 + N_2 - 2N_1} \delta_K \lambda_K, \quad (13)$$

Результати розрахунку виводяться на цифровий індикатор 17.

Як ми бачимо з виразу (13) результат виміру не залежить ні від температури матеріалу 23, що досліджується, ні від параметрів термопари 1, а також таких параметрів, як коефіцієнт Пельтьє R , коефіцієнт підсилення диференційного підсилювача 11 K_1 , коефіцієнт, який враховує долю тепла Джоуля K_2 , а також загального електричного опору електродів 3 і 5 та робочого кінця 2 термопари 1 R , площини поверхні теплообміну F робочого кінця 2 термопари 1.

При дослідженнях в якості електродів термопари використовували мідний й константовий

проводи діаметром 0,5мм й довжиною 30мм. Коефіцієнт термоЕРС пари мідь - константан $\varepsilon=3,2\text{мВ/К}$, а коефіцієнт Пельтьє $P=16\text{мВ}$ при температурі робочого кінця $T_1=300\text{К}$. Мідні колодки є радіаторами, які забезпечують відвід тепла Джоуля й Пельтьє від робочого кінця, який піддається початковому охолодженню. Додатковий третій електрод виготовлений також з міді, який в парі з константовим електродом термопари створює контактну різницю потенціалів, необхідну для поглинання - виділення теплоти Пельтьє. В іншому використовуються стандартні аналогові й цифрові мікросхеми.

Досліджувалися теплоізоляційні тканини. В якості матеріалу зрівняння з відомою теплопровідністю використовувалась тканина з базальтового волокна ($\lambda_K=38 \cdot 10^{-3} \text{Вт/(м·К)}$) товщина $\delta_K=1\text{мм}$. Теплопровідність таких матеріалів, як повстіна ($\lambda_X=45 \cdot 10^{-3} \text{Вт/(м·К)}$), металізована лавсанова плівка ($\lambda_X=0,1 \cdot 10^{-3} \text{Вт/(м·К)}$), тканина з кварцевим волокном ($\lambda_X=85 \cdot 10^{-3} \text{Вт/(м·К)}$) та інш. визначалась зрівнянням з теплопровідністю базальтового волокна з відносною похибкою не більше 0,5-1,5%.

