

ДОСЛІДЖЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ ХАРАКТЕРИСТИК МІДНИХ ПЛІВКОВИХ ТЕРМОПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ОПОРУ

Проведені дослідження коротко і довготривалої стабільності характеристик плівкових мідних термоперетворювачів опору. Партия термоперетворювачів була перевірена на вплив термоциклів від -196°C до 200°C . Зміна величини опору плівкових давачів після проведення термоциклів не більше 0,6%.

The researches of short-term and long-term stability of the characteristics of thin-film copper thermal transducers of resistance are carried out. The party thermal converters was checked up on influence of a thermal cycle from -196°C up to 200°C . A divergence of resistance to and after a thermal cycle not greater 0,6%.

Вступ

При розробці сучасних пристроїв вимірювання, контролю і регулювання температури актуальним є питання забезпечення швидкодії, стабільності і надійності давачів температури. Об'ємні термоперетворювачі опору характеризуються високою стабільністю параметрів, проте мають значну інерційність. Зменшення інерційності можливе при використанні тонкоплівкових однорідних давачів і давачів на основі структур метал–метал і метал–напівпровідник. В усіх випадках у більшій або меншій мірі спостерігається деградація параметрів давачів під впливом зовнішніх факторів, таких як підвищені температури, агресивність навколишньої атмосфери, високоенергетичне випромінювання і т.п. Проблема надійності термодавачів розглядається головним чином до вторинних пристроїв, що експлуатуються у нормальних або складних умовах (підвищена температура, вологість, вібрація). Що стосується первинних пристроїв, зокрема давачів температури, що працюють в умовах високих температур і агресивних середовищ, перемінних у часі силових і теплових впливів, дослідження їх надійності і стабільності параметрів проводиться недостатньо [1]. Крім вимог стабільності і відтворюваності необхідне також забезпечення належної міцності конструкції, тобто здатності тривалий час протидіяти зовнішнім чинникам. Давачі характеризуються різноманітним ресурсом роботи, до того ж відсутні дані про те, на якому етапі експлуатації втрачається точність, а на якому – механічна міцність.

У даній роботі проводяться дослідження впливу температурних факторів на стабільність параметрів плівкових мідних термоперетворювачів опору, виготовлених за технологією, запропонованою у роботі [2].

Методика експерименту

Однією з умов забезпечення стабільності величини опору плівкових давачів R_0 (R_0 – опір при температурі танення льоду) є герметизація термочутливого шару давача при збереженні надійного теплового контакту з навколишнім середовищем. Порушення цілісності захисного шару може приводити до утворення поверхневих каналів провідності між окремими точками термочутливого шару. Стабільність R_0 значно зростає при нанесенні додаткового шару титан–вольфрам між термочутливим і ізолюючим шаром двоокису кремнію. Шунтуючий вплив сплаву титан–вольфрам на параметри основного мідного терморезистивного шару незначний, оскільки питомий опір сплаву титан–вольфрам ($\rho_{\text{Ti}} \approx 98,4$ мкОм·м) набагато більший ніж питомий опір міді ($\rho_{\text{Cu}} = 1,75$ мкОм·м) [3].

При дослідженні температурної залежності опору термодавачів використовувався чотиризондовий метод. Температура досліджуваного давача задавалася температурою термостату. Дійсне значення температури визначалося за допомогою контрольного термометра, розміщеного поруч з досліджуваним давачем.

Температурна залежність опору досліджуваних плівкових термоперетворювачів опору опи-

сується лінійною функцією $R(T)=166,8+0,537096T$ у температурному діапазоні від -50°C до $+200^{\circ}\text{C}$ [2]. Величина температурного коефіцієнту опору складає $\alpha_{\text{пл}}=0,00322$ град $^{-1}$, а відношення опорів $W_{100}=R_{100}/R_0=1,322$, де R_0 і R_{100} – опір термоперетворювача відповідно при температурах 0°C і 100°C . Температурний коефіцієнт опору плівкового мідного термоперетворювача опору, у порівнянні з об'ємним термоперетворювачем ($\alpha_{\text{об}}=0,00428$ град $^{-1}$ [4]), зменшився, що пояснюється шунтуючим впливом адгезійного і додаткового захисного шару титан–вольфраму.

Дослідження стабільності характеристик плівкових мідних термоперетворювачів опору проводили за методикою запропонованою у роботі [1].

Короткотривала стабільність

Короткотривала стабільність мідних термоперетворювачів опору перевірена при температурах 0°C і 100°C . Величини R_0 і R_{100} вимірювали щодня протягом декількох днів і підраховували W_{100} .

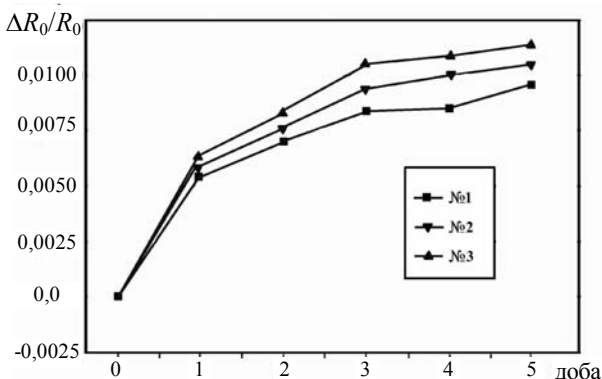


Рис. 1. Відносна зміна опору термодавача при температурі танення льоду. (Тут і надалі криві залежностей відповідають тим же різним термодавачам).

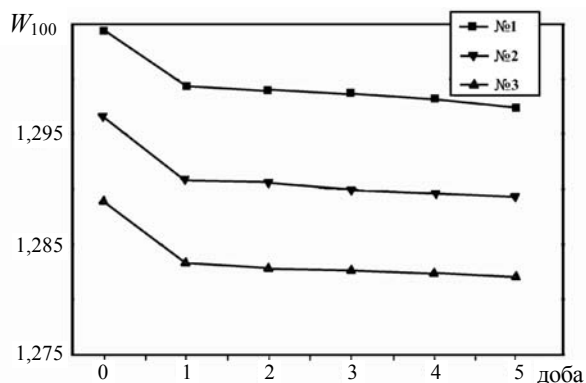


Рис. 2. Короткотривала стабільність W_{100} при температурі 100°C .

Під час досліджень термоперетворювачі опору витримували при різних температурах у діапазоні -196°C до 200°C . Часовий інтервал витримки при температурах зазначеного діапазону вибирався довільно, але не менше 10 хвилин. На рис.1 і рис.2. приведені результати досліджень R_0 і W_{100} трьох термоперетворювачів опору, що одночасно витримувались при тих чи інших температурах у такій послідовності: азотні температури, нульова температура, кімнатна температура, 150°C і 200°C .

Аналіз результатів досліджень свідчить, що зміна величин R_0 і W_{100} не перевищує, відповідно, $1,6$ Ом і $0,009$.

Термоцикли

Термоциклювання здійснювалося відповідно до алгоритму:

1. Десятихвилинне занурення у рідкий азот.
2. Нагрівання до кімнатної температури.
3. Десятихвилинне витримання у термостаті при температурі $+200^{\circ}\text{C}$.
4. Охолодження термоперетворювачів опору до кімнатної температури.

Після кожних п'яти термоциклів проводилися вимірювання опорів термоперетворювачів при температурах 0°C і 100°C . Величини R_0 і W_{100} термоцикльованих давачів змінилися в порівнянні з вихідними, відповідно, на $1,1$ Ом і $0,009$.

Довготривала стабільність

Довготривала стабільність мідних плівкових термоперетворювачів опору перевірена при температурі танення льоду і 100°C після витримання (понад 50 годин) при температурі 200°C . Через кожні 2,5 години пічку охолоджували зі швидкістю 5°C за хвилину; вимірювали R_0 , R_{100} і знову R_0 .

На рис.3 і рис.4 приведені часові залежності зміни R_0 і W_{100} . Зміна величини R_0 не перевищує $1,7$ Ом після 50 годин відпалу.

Проведені додаткові дослідження й аналіз причин більшої відносної зміни опору терморезистора №3 свідчать про наявність мікротріщин у герметизуючому захисному шарі, що полегшувало проникнення кисню з повітря до терморезистивного шару. Процеси окислювання зменшували величину струмопровідного каналу, з одного боку, а з іншого боку – формували окисну плівку, що відігравала захисну роль для більш глибоких шарів терморезистора.

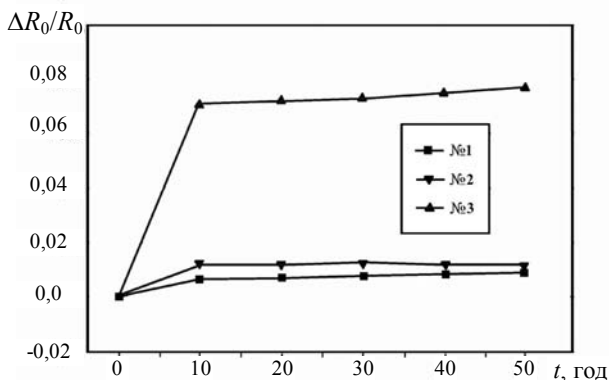


Рис. 3. Довготривала стабільність при температурі танення льоду.

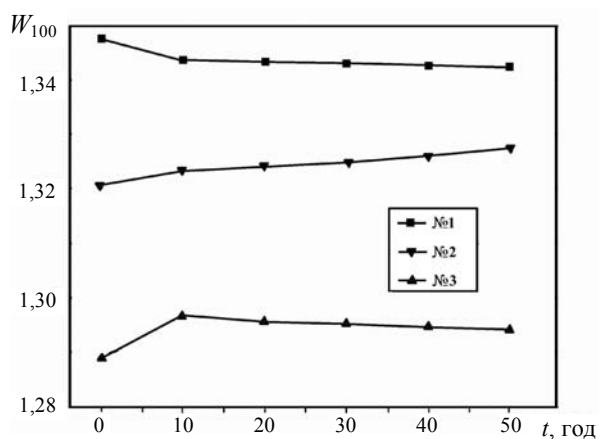


Рис. 4. Довготривала стабільність при температурі 100°C.

З рис.4 видно, що величина W_{100} швидко змінюється протягом перших 10 годин. Після десятигодинної витримки при температурі 200°C величина W_{100} слабко змінюється з постійним коефіцієнтом. Протягом наступних 40 годин загальна зміна W_{100} не перевищує 0,003. Різка зміна величини W_{100} протягом перших 10 годин може бути пояснена упорядкуванням кристалічної структури термочутливого елемента.

Температурний гістерезис

Для дослідження температурного гістерезису здійснювалося порівняння опору досліджуваного термоперетворювача опору з опором об'ємного еталонного мідного термометра, що попередньо калібрувався у потрійній точці води [5]. Порівняння опорів досліджуваного й еталонного давачів здійснювалося послідовно при температурах 20°C, 30°C, 50°C, 30°C і 20°C.

Результати досліджень показують, що температурний гістерезис для плівкових термоперетворювачів опору складає 0,2 Ом. Відносна величина температурного гістерезису опору складе $\gamma=0,043\%$.

Висновки

Експериментально виявлена нестабільність параметрів R_0 , W_{100} пояснюється впливом ряду факторів: процесами зниження термічних напруг, окислюванням термочутливого шару міді й утворенням спочатку закису, а потім окису міді, що мають різні температурні характеристики. Крім цього процеси окислювання зменшували величину струмопровідного каналу основного термо-резистивного матеріалу.

Отримані результати свідчать про лінійну температурну залежність опору давача у діапазоні температур від -50°C до $+200^\circ\text{C}$. Використання міді в якості термочутливого матеріалу, знизило собівартість термодавача, у порівнянні з платиновим термоперетворювачем опору. Досліджувані давачі знайшли застосування при розробках дистанційного вимірювача температури [6] і адіабатичного генератора напруги [7].

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Xumo Li, Deming Chen, Mingjian Zhao* An Investigation into the Stability of Industrial Platinum Resistance Thermometers // <ftp://ftp.hartscientific.com/article/aiitsiprt.pdf>.
2. Браїловський В.В., Ларіонов О.Є., Шпатар П.М. Мініатюрний мідний термоперетворювач опору // Фізичний збірник НТШ. – 2001. – 4. – С.307-310.
3. Хансен М., Андерко К., Структуры двойных сплавов. – М.: Металлургиздат, 1962.
4. Давачі: Довідник / З.Ю. Готра, Л.Я. Ільницький, Є.С. Поліщук. – Львів: Каменяр, 1995.
5. *Curtis D.J.* Thermal hysteresis and stress effects in platinum resistance thermometers // *Temperature: Its Measurement and Control in Science and Industry.* – 1982. – 5, No.1. – P.803.
6. Браїловський В.В., Ларіонов О.Є., Шпатар П.М. Безконтактний вимірювач температури // Науковий вісник ЧНУ. Вип. 133.: Фізика. Електроніка. – Чернівці: ЧНУ, 2002. – С.62-63.
7. Браїловський В.В., Ластівка Г.І., Штефюк І.В., Шпатар П.М. Адіабатичний генератор напруги // IX міжнародна науково-технічна конференція "ВОГТТ", Хмельницький, 2002. – Т.1. – С.74-75.