

УДК 621.36:539.216.2

Готра О.З., Стадник Б.І., Тимчишин М.В.

ДУ “Львівська політехніка”, кафедра інформаційно-вимірювальної техніки

ПЛІВКОВІ СЕНСОРИ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ І ТЕПЛООВОГО ПОТОКУ

©Готра О.З., Стадник Б.І., Тимчишин М.В., 2000

Розроблено мініатюрні сенсори температури і теплового потоку на основі тонких плівок AgCuSe (n-тип) і $\text{Ag}_{0,4}\text{Cu}_{1,6}\text{Se}$ (p-тип), який забезпечує вимірювання температури в діапазоні 300...410 К і теплового потоку в діапазоні 10^{-10} ... 10^3 Вт, інерційність сенсора 0,7–2,5 с.

Miniature temperature and thermal flow sensors based on AgCuSe (n-type) and $\text{Ag}_{0,4}\text{Cu}_{1,6}\text{Se}$ (p-type) thin films that provide the measurement of temperature in the range of 300...410 K and thermal flow in the range of 10^{-10} ... 10^3 W, sensor inertiality of 0,7–2,5 s are elaborated.

Вступ

Для вимірювання температури та теплового потоку використовують контактні методи. Однак при цьому часто вони не забезпечують контролю швидкодіючих теплових процесів та високої точності, що пов'язано з теплообміном між контрольованими об'єктами та сенсорами.

На сьогодні приймачами випромінювання широко застосовують дротяні термопарні батареї, робочі спаї яких сконцентровані на приймальній площадці [1]. У таких термопарних батарейних сенсорах практично вичерпані можливості підвищення чутливості, швидкодії і компактності.

Останнім часом привертає до себе увагу метод вимірювання температури і теплового потоку за допомогою тонкоплівкових сенсорів на основі термоелектрики. Відомі конструктивні рішення плівкових сенсорів, в яких робочі спаї термопарні розміщені в зоні опромінювання симетрично відносно центра поверхні сенсора ("зірка", "гребінка") [2]. Чутливість таких сенсорів залежить від кількості термоелементів у батареї, а також форми елементів, яка забезпечує різницю температур між холодними і гарячими спаями. Густина компонування спаїв обмежується проблемою комутації і відповідно чутливість далека від граничної. Крім того, на чутливість таких сенсорів впливають паразитні потоки тепла на підкладці і теплообмін з навколишнім середовищем.

Зменшення впливу випромінювання, а також шунтування теплового потоку підкладкою можна досягти за рахунок переходу від одношарових до багатшарових планарних або компактних спіральних конструкцій.

Конструкція сенсора

У цій роботі запропоновано та досліджено нову конструкцію сенсора, яка забезпечує підвищення чутливості і швидкодії при вимірюванні температури і локальних теплових потоків без ускладнення технології виготовлення.

Конструкція сенсора зображена на рис.1.

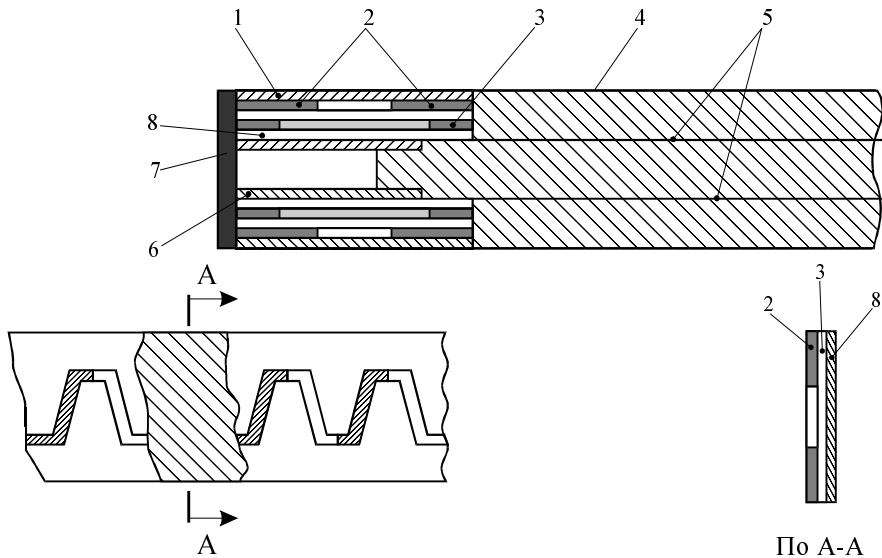


Рис.1. Конструкція сенсора температури і теплового потоку:

1, 6 – кварцова трубка; 2 – мідна фольга; 3 – підкладка ПМ-1; 4 – мідний стрижень;
5 – електричні виводи; 7 – приймальна площадка; 8 – діелектрична плівка.

Основу сенсора становить плівковий термоелектричний перетворювач, який утворений послідовним розміщенням ряду термопар з напівпровідникових матеріалів n- і р-типу провідності, що чергуються (рис.1). Матеріали нанесені на поліімідну підкладку ПМ-1, яка скручена в спіраль Архімеда.

Гарячі спаї мають тепловий контакт через теплопровідну фольгу (2) з приймальною площадкою (7), а холодні спаї – з мідним стрижнем (4).

Приймальна площадка (7) утворюється лудженням мідної фольги (2), яка разом з підкладкою (3) і діелектричною плівкою (8) скручена в спіраль Архімеда і покривається поглинаючим покриттям (лак на основі сажі). Термобатарея захищена кварцовою трубкою (1). Зовнішній діаметр сенсора приблизно 10 мм.

Функціонування запропонованого сенсора практично не відрізняється від традиційних сенсорів з горизонтальним розміщенням термобатареї. Внаслідок нагрівання робочих спаїв тепловим випромінюванням, сконцентрованим на приймальній площадці, в термобатарей виникає термо-ЕРС (E), яка подається через електричні виводи (5) на вимірювальний прилад.

$$E = \frac{(\alpha_2 - \alpha_1)d}{K} Q,$$

де K – теплопровідність підкладки; α_1 , α_2 – коефіцієнт термо-ЕРС (E) плівок n- і р-типу провідності відповідно; d – товщина проміжку, утвореного теплопровідною фольгою (2) на гарячому і холодному спаях (рис.1).

Значення теплового потоку:

$$Q = \frac{EK}{(\alpha_2 - \alpha_1)d} = K_0 E.$$

Вимірюючи одним з відомих способів значення термо-ЕРС E для вказаного сенсора, визначають тепловий потік.

Матеріали для виготовлення сенсора

Матеріал для виготовлення сенсора повинен характеризуватись високою інтегральною чутливістю і високою швидкістю. Ефективність процесу прямого перетворення теплової енергії в електричну визначається показником електричної ефективності $\alpha^2 \sigma$, який визначає максимальний перепад температури ΔT від гарячого до холодного спаю віток термобатареї

$$\Delta T = \frac{z\Gamma^2}{2},$$

де $z = \frac{\alpha^2 \sigma}{k}$, α , σ , k – відповідно коефіцієнти термо-ЕРС, електропровідність, теплопровідність.

Перспективним матеріалом для створення термобатареї є матеріали системи Ag-Cu-Se (AgCuSe – n-тип, Ag_{0.4}Cu_{1.6}Se – p-тип) [2-5].

Для одержання плівок стехіометричного складу застосовували метод вибухового випаровування. Для цього був розроблений пристрій з гвинтовою подачею матеріалу на випаровувач (рис.2).

Пристрій додатково під час подачі роздрібнює матеріал до дрібнодисперсного складу, що забезпечує повне і однорідне випаровування. Підкладкою використовувалась поліамідна плівка ПМ-1 завтовшки 5...30 мкм. Критерієм вибору типу підкладки є показник γc , де c – питома теплоємність, γ – густина матеріалу підкладки. Для плівки ПМ-1 цей показник дорівнює 1,26 Дж/см, що дає двократний вигравш у чутливості сенсорів порівняно з іншими підкладками, наприклад, слюдою.

Елементи термопар виконані послідовним напиленням матеріалів n- і p-типу провідності з використанням двох масок. При цьому товщина плівок не перевищувала 0,3 мкм.

Ширина активного елемента становила 0,8 мм, а перекриття плівок n- і p-типу дорівнювало 0,4...0,5 мм.

Температура підкладки 410 К. Для одержання стабільних параметрів плівки відпалювали у вакуумі при $T=410$ К протягом 2 год. Крім того, відпал призводить до зростання коефіцієнта термо-ЕРС α і електропровідності σ завдяки збільшенню рухливості основних носіїв струму. Після відпалу при 300 К коефіцієнт термо-ЕРС α і електропровідність σ для плівок AgCuSe завтовшки 0,09...0,3 мкм становить відповідно $\alpha = 90...140$ мкВ/К,

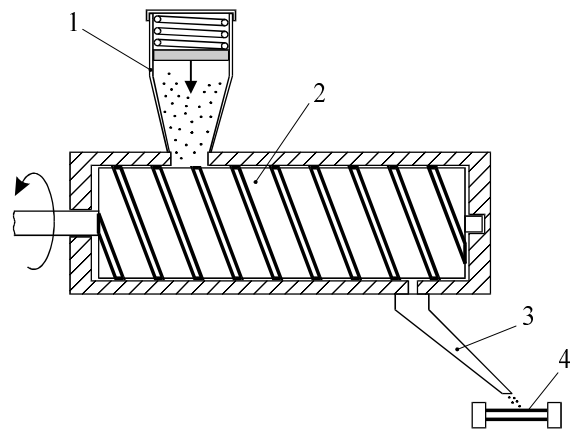


Рис.2. Пристрій для випаровування:
1 – бункер; 2 – черв'ячна передача;
3 – жолоб; 4 – випаровувач

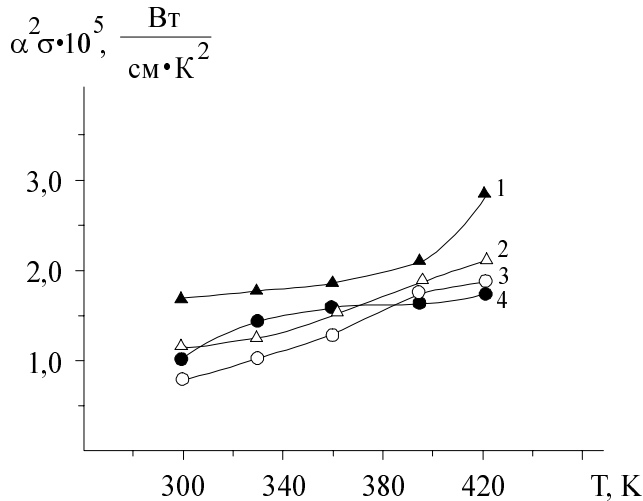


Рис.3. Температурна залежність електричної ефективності тонких плівок AgCuSe і $\text{Ag}_{0,4}\text{Cu}_{1,6}\text{Se}$ $T_n = 400 \text{ K}$:
1, 2 – $\text{Ag}_{0,4}\text{Cu}_{1,6}\text{Se}$; 3, 4 – AgCuSe ;
1, 4 – $h = 0,09 - 0,1 \text{ мкм}$; 2, 3 – $h = 0,13 - 0,15 \text{ мкм}$.

сенсорів температури і теплового потоку використовували плівки завтовшки $0,09 \dots 0,3 \text{ мкм}$. У цьому діапазоні товщин коефіцієнт термо-ЕРС α досягає максимальних значень для обох сплавів [5].

$\sigma = 1700 \dots 2000 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$, для плівок $\text{Ag}_{0,4}\text{Cu}_{1,6}\text{Se}$ – $\alpha = 150 \dots 190 \text{ мкВ/К}$, $\sigma = 800 \dots 900 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$.

Розрахунок параметрів електричної ефективності $\alpha^2 \sigma$ в інтервалі температур $273 \dots 420 \text{ K}$ показав, що зі зростанням температури параметр $\alpha^2 \sigma$ збільшується майже до температури 420 K , що свідчить про доцільність використання сенсора в цьому діапазоні ($300 \dots 420 \text{ K}$) (рис.3).

Важливо для матеріалів, щоб вони зберігали свої властивості при дуже малих товщинах. Ця обставина суттєва, коли на перший план висувається не чутливість сенсора, а його швидкодія [6].

Для створення швидкодіючих сен-

Результати експериментів та їх обговорення

Для експериментальних досліджень чутливості сенсорів був розроблений макет з використанням моделі абсолютного чорного тіла (рис.4, а).

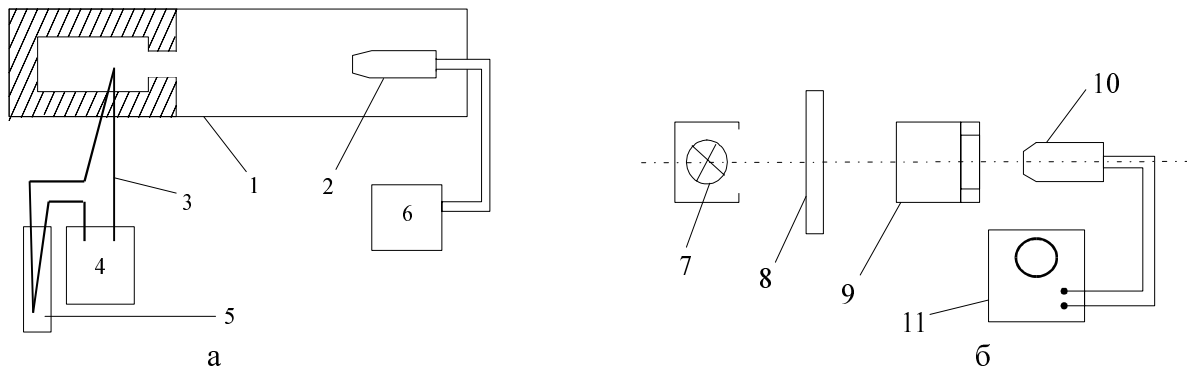


Рис.4. Схема установки для вимірювання чутливості (а)

і інерційності (б) сенсора температури і теплового потоку:

- 1 – пічка; 2 – сенсор; 3 – термопара; 4 – потенціометр ПП-63; 5 – термостат;
6 – електронний мікрвольтметр; 7 – джерело світла; 8 – лінза; 9 – затвор фотоапарата;
10 – осцилограф.

Вимірювання вихідної ЕРС проводилося за допомогою електронного мікрвольтметра. Енергетична чутливість під час вимірювання за допомогою установки визначається за формулою

$$R = \frac{U_d^2}{(T_P - T_K) A_1 A_2 k},$$

де U – покази мікрвольтметра; T_p , T_k – температури відповідно пічки і повітря; A_1 , A_2 – площі відповідно поверхні приймача і випромінюючого тіла; d – відстань між джерелом і приймачем; k – стала Стефана-Больцмана.

Для вимірювання інерційності сенсора був розроблений макет (рис.4, б). Промінь світла від джерела фокусувався на приймальній площадці сенсора. На шляху променя встановлювався затвор фотоапарата, за допомогою якого проводилося відкривання і закривання отвору. Час спрацювання затвора становив менше 0,005 с. Часова залежність вихідного сигналу досліджувалась на осцилографі.

Як показали дослідження чутливість і інерційність сенсора залежить від товщини плівки термобатарей (рис.5).

Графіки чутливості і інерційності будували залежно від середньої товщини плівок. Із збільшенням товщини плівок як чутливість, так і інерційність сенсора дещо зменшується, що пов'язано зі збільшенням теплопроводу від гарячого спаю сенсора по вітках термобатарей.

Товщина підкладки суттєво впливає на інерційність сенсора. Зі збільшенням товщини підкладки з 5 до 30 мкм інерційність збільшується в 3 рази, що пов'язано зі збільшенням теплоємності приймальної площадки. У той же час товщина підкладки не впливає суттєво на чутливість сенсора.

Залежно від необхідних значення чутливості і внутрішнього опору вітки плівкової термобатарей виконуються з різної кількості спаїв напівпровідникових матеріалів. Для термобатарей з кількістю спаїв 100 внутрішній опір становить 20 кОм. Діаметр сенсора 10 мм. Сенсор можна використовувати для вимірювання потоків випромінювання в діапазоні 10^{-10} ... 10^3 Вт, спектральний діапазон 0,4...28 мкм. Існуюча конструкція забезпечує високу чутливість, технологічність, відтворюваність характеристик, простоту експлуатації.

Висновки

Запропоновано та досліджено конструкцію сенсора для вимірювання температури і теплового потоку спірального типу, основу якого становить плівкова термобатарея на основі матеріалів $AgCuSe - Ag_{0,4}Cu_{1,6}Se$. Головною особливістю сенсора є малі розміри, що забезпечує вимірювання локальних теплових потоків. Підвищення чутливості сенсора досягається завдяки зменшенню теплоємності чутливого елемента. Сенсор володіє високою чутливістю 1,1...1,3 В/Вт. Інерційність становить 0,7–2,5 с.

[1] Готра З.Ю., Ільницький Л.Я., Поліщук Є.С. і ін. Давачі: Довідник / За ред. З.Ю.Готри та О.І.Чайковського. Львів, 1995.

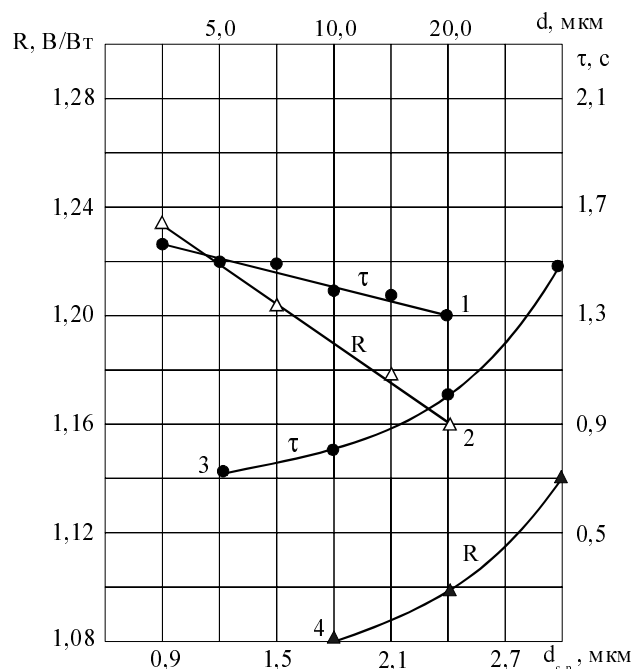


Рис. 5. Зміна інерційності (1,3) і чутливості (2,4) сенсора від товщини плівки (1,2) і товщини підкладки (3,4).

[2] Тимчишин М.В.. Одержання і дослідження електричних властивостей плівок CuAgSe. Матеріали для електронної техніки. Сер.Фізична. 1997. Вип.12. С.60–64.

[3] Васильченко Н.В., Борисов В.А., Кременчугский Л.С. Измерение параметров приемников оптического излучения. М., 1983.

[4] Приборы для теплофизических измерений: Каталог ИТТФ АН УССР. К., 1986.

[5] Миколайчук А.Г., Романишин Б.М., Тимчишин М.В. Термоэлектрические свойства сплавов на основе селенидов серебра и меди в тонких пленках // Термоэлектрические методы исследований и контроля состава и качества продукции черной и цветной металлургии: Материалы 2-й науч.-техн. конф. Магнитогорск, 1978. С.38–40.

[6] Timchishin M., Yavorsky B., Gotra O. Miniature gauges of a thermal flow on the basis of thin films of a system Ag-Cu-Se // 2-st International Symposium on Microelectronics Technologies and Microsystems. Lviv, 15–17 June 1998. P.55.

УДК 621.396.96

Клепфер Є.¹, Прудіус І.², Синявський А.²

¹ Львівський науково-дослідний радіотехнічний інститут

² ДУ “Львівська політехніка”, кафедра радіотехнічних пристроїв

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЗОБРАЖЕНЬ В РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ З СИНТЕЗОВАНОЮ АПЕРТУРОЮ

© Клепфер Є., Прудіус І., Синявський А., 2000

У статті запропоновано підхід до реконструкції радіолокаційних зображень, отриманих радіолокаційною системою з синтезованою апертурою. На основі розробленої моделі процесів формування зображення в таких системах, задачу реконструкції коректно представлено розв'язком двовимірного інтегрального рівняння. Охарактеризовано причину спотворень на радіолокаційних зображеннях. Досліджено залежність характеру цих спотворень від координат. На підставі введеного припущення про локальну інваріантність функції розсіювання точки представлено можливість ефективної реконструкції функції розсіюючої здатності за отриманим радіолокаційним зображенням.

The approach for reconstruction of radar images obtained by the synthetic aperture radar system is proposed in the paper. On basis of our elaborated model of image formation processes in the systems the reconstruction problem was correctly established as two-dimensional integral equation solving. The cause of distortions on the radar images was specified. The coordinate dependence of the distortions was investigated. The efficient restoration possibility of scattered ability from obtained radar image was presented taking into account of the assumption about local invariance of point spread function.