

МАЛОГАБАРИТНИЙ ДІОДНИЙ ТЕРМОСЕНСОР

Л.Ф. Політанський

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри*

Контактний тел.: (037) 24-24-36

E-mail: politansky@ukr.net

П.О. Яганов

Кандидат технічних наук, доцент

Кафедра конструювання електронно-обчислювальної апаратури

Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут”

пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056

Контактний тел.: (044) 406-83-07

E-mail: p.yaganov@kpi.ua

В.В. Лесінський

Асистент*

Контактний тел.: (037) 24-24-36

E-mail: lesynsky@mail.ru

*Кафедра радіотехніки та інформаційної безпеки

Чернівецький національний університет ім. Юрія Федьковича
вул. Коцюбинського, 2, м. Чернівці, Україна, 58012

У роботі приведена конструкторсько-технологічна реалізація малогабаритного безкорпусного діодного термосенсора, виготовленого за мікроелектронною технологією на кремнієвих структурах з діелектричною ізоляцією. Досліджено фактори, що впливають на похибку вимірювання температури внаслідок саморозігріву

Ключові слова: діодний термосенсор, мікроелектронна технологія, саморозігрів

В работе представлена конструкторско-технологическая реализация малогабаритного бескорпусного диодного термосенсора, изготовленного по микроэлектронной технологии на кремниевых структурах с диэлектрической изоляцией. Исследованы факторы, влияющие на ошибку измерения температуры вследствие саморазогрева

Ключевые слова: диодный термосенсор, микроэлектронная технология, саморазогрев

1. Вступ

Кремнієві діодні сенсори температури є електронні прилади, функціонування яких здійснюється на основі ефекту падіння напруги на прямо зміщеному р-п переході. Їх вважають одними з найбільш точних і технологічно відтворюваних для вимірювання температур в діапазоні 4 – 500 К.

Для термосенсора важливим є висока чутливість і точність вимірювання температури. Традиційний шлях підвищення чутливості давача передбачає підсилення малопотужного сигналу мікроелектронного сенсора спеціальним пристроєм. Альтернативою є використання потенційних можливостей мікроелектронних сенсорів на основі неоднорідностей типу потенційного бар'єру (р-п переходів). Високий рівень електричного сигналу – напруги – первинного вимірювального перетворювача виникає на послідовному ланцюжку бар'єрних мікронеоднорідностей – р-п переходах.

2. Основна частина

В роботі розглянуто конструкторсько-технологічну реалізацію та метрологічні характеристики малогабаритного безкорпусного діодного термосенсора, виготовленого за мікроелектронною технологією на кремнієвих структурах з діелектричною ізоляцією

(КСДІ), досліджені фактори, що впливають на похибку вимірювання температури внаслідок саморозігріву.

При збільшенні струму, що протікає крізь р-п перехід, підвищується рівень падіння напруги на р-п переході з одночасним зниженням температурної чутливості діодного термосенсора.

На рис. 1 приведена типова залежність падіння напруги на прямозмщеному кремнієвому р-п переході в області середніх температур для різних струмів I_{pn} прямого зміщення, з концентраціями акцепторних домішок в р області та донорних в п області $\sim 10^{15} \text{ см}^{-3}$ та 10^{19} см^{-3} відповідно. Значення похибки визначення температурного коефіцієнта α_T коливається в межах $\pm(0,9 \dots 1,7) \cdot 10^{-2} \text{ мВ/К}$.

З метою зменшення впливу саморозігріву сенсора на точність вимірювання величини струму зазвичай не перевищує 100 мкА, а для діапазону температур від 77...4 К його значення становить до 10...0,01 мкА при стабільності 0,05% [1]. Такі жорсткі вимоги до апаратної частини давачів значно звужують область їх використання.

Усунення цього недоліку можливу при виконанні термосенсорної структури у вигляді послідовного з'єднання заданої кількості р-п переходів, на яких у нерівноважному стані виникає адитивний сигнал високого рівня [2]. Оскільки при виготовленні р-п переходів за інтегральною груповою технологією мікросхем має

місце ідентичність їх параметрів, то сумарна напруга дорівнюватиме $U = \sum_{i=1}^N U_{pn}^i = N \cdot U_{pn}$.

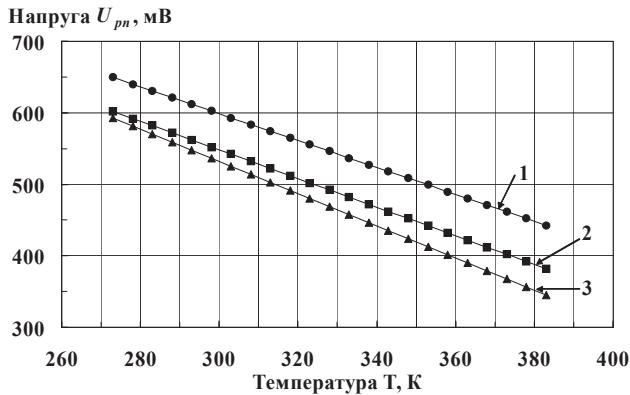


Рис. 1. Температурна залежність напруги на прямозміщеному р-п переході при різних струмах I_{pn} .
1: $I_{pn} = 100 \text{ мкА}$, $\alpha_T = 1,882 \text{ мВ/К}$; 2: $I_{pn} = 30 \text{ мкА}$, $\alpha_T = 2,012 \text{ мВ/К}$; 3: $I_{pn} = 10 \text{ мкА}$, $\alpha_T = 2,257 \text{ мВ/К}$

ТМХ діодних сенсорів на КСДІ при прямому струмі ($10 \pm 0,005$) мкА з різною кількістю N послідовно увімкнених р-п переходів приведені на рис. 2. Порівняння характеристик вказує на те, що ТМХ діодних сенсорів на КСДІ відрізняється від ТМХ окремого р-п переходу тільки масштабом.

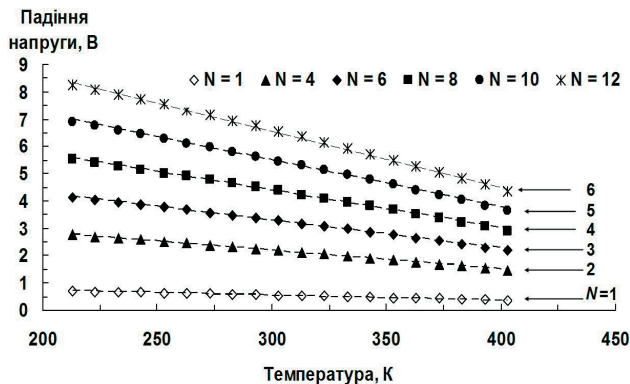


Рис. 2. ТМХ діодної структури з різною кількістю N послідовно увімкнених р-п переходів: 1 – N = 1; 2 – N = 4; 3 – N = 6; 4 – N = 8; 5 – N = 10; 6 – N = 12

Термочутливість діодної структури з дванадцятьма послідовно увімкненими р-п переходами становить близько 25 мВ/К.

Процес виготовлення безкорпусного мікроелектронного сенсора складається з декількох етапів. На першому етапі кристал КСДІ розрізають на заготовки розмірами $0,4 \times 0,85 \times 2,3 \text{ мм}^3$, що містять діодні структури та контактні площадки до них. Для забезпечення зовнішніх між'єднань до контактних площадок методом термокомпресійного зварювання під'єднують золоті дротяні провідники.

Одночасно з цим виготовляють гнучкі поліімідні або поліамідні контактні смужки з нанесенням на одну з їх поверхонь струмоведучих двохшарових доріжок.

Перший шар, що забезпечує адгезію доріжки з поліімідом, є напиленою мідною плівкою, а другий шар, що дозволяє здійснювати мікропайку до доріжок, є плівкою низькотемпературного припою на основі сплаву олово-вісмут.

На другому етапі здійснюється збірка мікросенсора. Струмopовідна смужка приклеюється до поверхні заготовки стороною, вільною від контактних доріжок, кремнійорганічним компаундом СІЕЛ-159-230 або кремнійорганічним лаком марки КЕТ-1, КЕТ-2, КЕТ-2Н.

Після сушки мікропайкою забезпечують електричний контакт золотих провідників, що ведуть до контактних площадок на заготовці, зі струмовідвідними доріжками на смужці.

На третьому етапі проводять операцію електричного тестування, вимірюють ТМХ, здійснюють відбір мікросенсорів за визначеними критеріями. Після цього на поверхню відібраних приладів наносять шар захисного покриття, наприклад, кремнійорганічних з'єднань КЕТ та СІЕЛ, що мають низький коефіцієнт усадки і вважаються „м'якими”.

На рис. 3 приведений ескіз безкорпусного мікросенсора температури на КСДІ в зборі.

Функціонування термосенсора супроводжується виділенням тепла, що виникає внаслідок саморозігріву. На окремому р-п переході діодної структури з робочим струмом 1 – 100 мкА потужність, що розсіюється, становить десятки мікروات [1]. У відомих методах градування діодних датчиків величина максимально допустимого значення прямого струму в області азотних температур становить 100 мкА. Таке градування діодних датчиків розглядають як максимально допустимий при вимірюванні прямий струм крізь р-п перехід в області азотних температур, значення якого суттєво не впливає на похибку вимірювання температури більших 100 К [3].

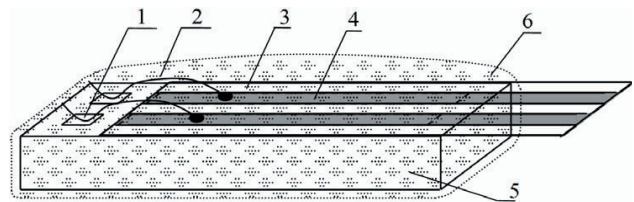


Рис. 3. Ескіз конструкції без корпусного термосенсора в зборі. 1 – контактна площадка; 2 – золота дротинка; 3 – поліамідна смужка; 4 – струмовідвідна доріжка; 5 – підкладка з діодними структурами; 6 – захисне покриття

Розрахунки показують, що для підігріву 1 мм^3 кремнію на 1 К необхідна потужність 1,63 мВт. Тепловий опір термосенсора на КСДІ об'ємом не більше 1 мм^3 в безкорпусному виконанні на гнучкому кристалоносію не перевищуватиме 20 К/Вт, а похибка вимірювання температури становить 0,05 К.

Температурні характеристики розсіюваної електричної потужності на термосенсорі, виміряні при різних значеннях напруги живлення $U_{ж}$ та зовнішнього опору обмежувального навантаження R_H , що ввімкнений послідовно з р-п переходами, приведені на рис. 4.

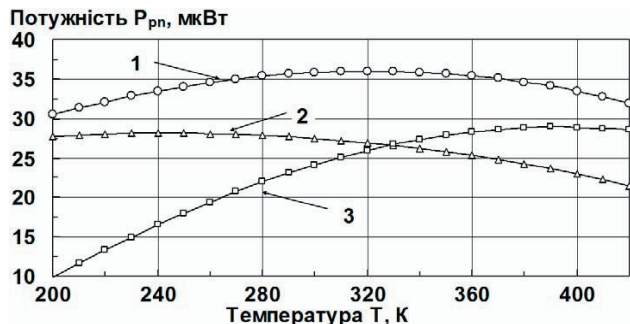


Рис. 4. Потужність розсіювання $P_{рп}$ на р-п переходах КСДІ в різних режимах функціонування схеми вимірювання:
 1 – $U_{ж} = 1,2В, R_H = 10кОм$; 2 – $U_{ж} = 1,5В, R_H = 20кОм$;
 3 – $U_{ж} = 0,9В, R_H = 7кОм$

3. Висновки

Безкорпусне виконання мінімізує габарити та масу мікросенсора, внаслідок чого зменшується його тепловий опір і теплова інерційність. Ізолююче захисне покриття надійно захищає прилад від впливу зовнішнього середовища, а контактна поліамідна смужка виконує роль гнучкого кристалоносія. Шар легкоплавкого припою, що вкриває струмоведучі доріжки, полегшує виконання зовнішньої комутації мікросенсора.

Термосенсор запропонованої конструкції може знайти застосування в медицині, харчовій промисловості, засобах контролю за технологічними процесами тощо.

Література

1. ShwartsYu.M., Borblik V.L., Kulish N.R., Sokolov V.N., Shwarts M.M., Venger E.F. Silicon Diode Temperature Sensor without a Kink of the Response Curve in Cryogenic Temperature Region // Sensors and Actuators. – 1999. – А.76. – Р. 107 – 111.
2. Яганов П.А. Кремниевые микросенсоры температуры на основе р-п перехода // Электроника и связь. – 2004. – том 9, № 22. – С.134 – 139.
3. Dodrill B.C., Krause J.K., Swinehart P.R., Wang V. Performance Characteristics of Silicon Diode Cryogenic Temperature Sensors // Applications of Cryotronic Technology. – 1991. – No 10. – P. 85-107.

Abstract

The design implementation of the small unpacked silicon diode thermal sensor, manufactured by the microelectronic technology at the silicon structures with the dielectric isolation is the most accurate and reproducible technology for the measurement of temperature in the range 4 - 500 K.

The die form of the micro thermal sensor minimizes the sizes and weight, and reduces its thermal resistance and lag; and the insulating cover protects the device from the external influence.

The manufacture of the die form of the microelectronic sensor consists of 3 phases: a crystal cut into workpieces and provision of the external connections by the thermocompression of conductors; the micro sensors assembly; testing and control measurements for selection of the micro sensors according to the defined criteria.

The results showed that the thermal resistance of the sensor on silicon structures with the dielectric isolation of the volume not more than 1 мм³ in the die form on a flexible crystal holder would not exceed 20 K / W.

The suggested design of the thermal sensor could be applied in medicine, food industry and methods of technological processes control, etc.

Keywords: diode thermal sensor, microelectronic technology, self-heating