

УДК 621.382:681.586

Дружинін А.О., Кутраков О.П., Лавитська О.М., Мар'ямова І.Й.  
ДУ “Львівська політехніка”, кафедра напівпровідникової електроніки

## **ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИЙ НАПІВПРОВІДНИКОВИЙ СЕНСОР ТИСКУ НА ОСНОВІ МІКРОКРИСТАЛІВ КРЕМНІЮ**

© Дружинін А.О., Кутраков О.П., Лавитська О.М., Мар'ямова І.Й., 2000

**Наведено результати комплексу робіт із створення п'єзорезистивного сенсора тиску, працездатного в умовах підвищених та високих температур. Елементною базою сенсора стали мікрочастинки кремнію, а в основу конструкції покладено універсальний тензомодуль з пружно-чутливим елементом балочного типу і круглою мембраною. Наведено вихідні характеристики розробленого сенсора тиску.**

**Results of the complex works on the piezoresistive pressure sensor development for operation at elevated and high temperatures are presented. The material basis for this sensor is silicon microcrystals while the sensor's design is based on the universal strain unit with a cantilever strain-sensitive element and a circular membrane. Output performance of the developed sensor is presented.**

### **Вступ**

Попит на сенсори тиску, працездатні в умовах високих температур, постійно зростає. Зокрема існує стійкий попит на сенсори для контролю тиску у двигунах внутрішнього згоряння. Мікроелектронні кремнієві сенсори тиску дифузійного типу мають обмежений температурний діапазон роботи внаслідок наявності р-п-переходів. Тому метою досліджень стало вивчення можливості розширення температурного діапазону п'єзорезистивних сенсорів на основі мікрочастинки кремнію в область високих температур.

Чутливими елементами сенсора було вибрано структурно досконалі мікрочастинки (МК) кремнію р-типу провідності, леговані бором під час вирощування їх методом хімічних газотранспортних реакцій у закритій системі [1]. Розроблена технологія створення омичних контактів на цих кристалах методом імпульсного зварювання платиного мікродроту з кристалом Si забезпечує можливість застосування сенсорів у несприятливих умовах експлуатації, зокрема при підвищених температурах, оскільки температура утворення евтектики Si-Pt становить 830°C, а мікропластичність в кремнії з'являється тільки при температурах 450-500°C.

### **Фізико-технологічні основи створення сенсора**

Проведені нами дослідження [2] показали, що для розширення температурного діапазону роботи сенсорів механічних величин в бік високих температур слід перейти до нових методів закріплення чутливих елементів – МК кремнію. Тому було запропоновано використати склоприпої або склоцементи, які не втрачають свої пружні властивості аж до температури розм'якшення. Узгоджений спай кремній-склоприпой-пружний елемент утворюється за умови, коли коефіцієнти термічного розширення (КТР) всіх трьох ком-

понентів є близькими. Виходячи з цих міркувань, як матеріали для пружних елементів було випробувано коваровий сплав 29НК з  $KTP=(4,6-5,5)\times 10^{-6}$  град $^{-1}$  і модулем пружності  $E=0,148$  ГПа. Під час нагрівання коварового сплаву на його поверхні утворюється окисна плівка, яка добре взаємодіє зі склом. Коваровий сплав, порівняно з керамікою і ситалом, є технологічним, легко піддається механічній обробці. Для закріплення МК кремнію на пружних елементах було обрано склоприпою С51-1 з  $KTP=4,9\times 10^{-6}$  град $^{-1}$ , близьким до  $KTP$  кремнію, який становить  $(2,5-4,2)\times 10^{-6}$  град $^{-1}$  в діапазоні температур 20...+550°C. Температура розм'якшення склоприпою С51-1 становить 570°C. Закріплення МК кремнію на пружних елементах викликає зміну початкового опору цих кристалів, а також температурної залежності опору внаслідок виникнення термічної деформації  $\varepsilon_0$ , яка діє на МК. Ця деформація визначається  $KTP$  матеріалу пружного елемента (ковара)  $\alpha_{co}$  і кремнію  $\alpha_{si}$ , а також робочою температурою  $T$  і температурою отвердіння склоприпою  $T_0$ .

$$\varepsilon_0(T) = \int_{T_0}^T \alpha_{co}(t) dt - \int_{T_0}^T \alpha_{si}(T) dt, \quad (1)$$

Розрахунок температурної залежності  $\varepsilon_0$ , яка діє на Si, закріпленій на коварі 29НК, показав, що при кімнатній температурі  $\varepsilon_0=-3\times 10^{-3}$  відн.од.; при  $T=300...350^\circ\text{C}$   $\varepsilon_0=-1,5\times 10^{-3}$  відн.од. [3]. Експериментально визначена  $\varepsilon_0$  при кімнатній температурі становила  $-3,3\times 10^{-3}$  відн.одиниць. Детальніше комп'ютерне моделювання розподілу механічних напружень і деформацій в елементах конструкції сенсора тиску, у тому числі температурних напружень і деформацій, проведено за методом скінченних елементів з використанням програми ANSYS. На рис.1 наведено отримане в результаті такого моделювання графічне зображення розподілу механічних напружень в конструктивних елементах сенсора.

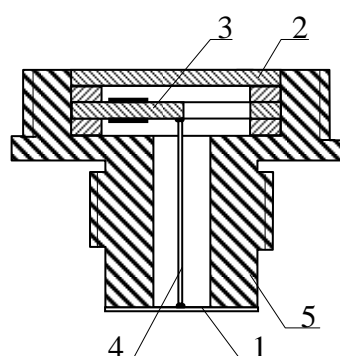


**Рис.1.** Розподіл механічних напружень в основних елементах конструкції високотемпературного сенсора тиску з універсальним тензододулем

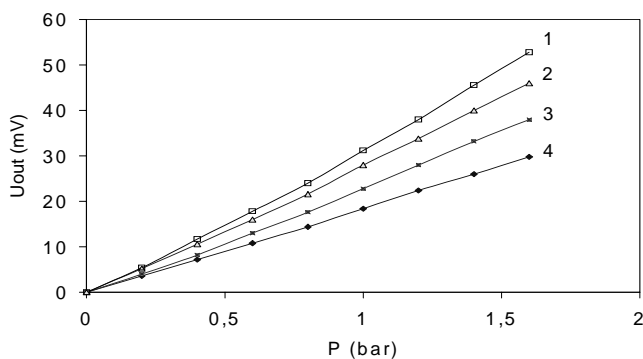
Проведено дослідження впливу питомого опору кремнію на температурну залежність вихідного сигналу напівмоста, який містить два чутливі елементи на основі МК кремнію. Значення температурного коефіцієнта опору (ТКО) МК p-Si в діапазоні 20...+350°C становило +0,17, +0,18 і +0,23 %·град $^{-1}$  для питомого опору відповідно 0,005, 0,016 і 0,023 Ом·см; після закріплення на коварі ТКО тих самих МК становило відповідно +0,19, +0,20 і +0,24 %·град $^{-1}$ .

### Конструкція сенсора тиску і його вихідні характеристики

Оснoву констpукції розробленoгo п'єзoрeзистивнoгo сенсoра тиску (рис.2) стaнoвить універсaльний тензoмoдуль. Тензoрeзистoри з МК p-Si, підбpaні в пaри зa вeличинoю oпoру і ТКO, зaкріпленo нa вeрхній і нижній пoвeрхнях бaлoчки тензoмoдуля. Стpумoвивoди з плaтинoвoгo мікpoдрoту мeтoдoм звaрyвaння пpиeднaнo дo мeтaлo-склaнoгo вивoдa, який вбyдoвaнo в тензoмoдуль. Тензoрeзистoри утвoрюють нaпівмoстoвy схeмy, вихідний сигнaл якoї змінюється зaлeжнo від тиску, який спpиймae мeмбpaнa сенсoра. Розміри кільця тензoмoдуля для сенсoрів нa рiзні дiапaзoни тискiв є oднaкoвими. Для вибpaнoї систeми мeмбpaнa-штoк-бaлкa зaлeжнo від дiапaзoну тискiв змінюється тoвщина мeмбpaни, пoпeрeчний пeрeрiз бaлки, a тaкoж рoзміри штoкa. Тензoмoдуль з кpeмнієвими тензoрeзистoрaми встaнoвлюється в кoрпyсі сенсoра і з'єднується з iншими eлeмeнтaми зa дoпoмoгoю лaзeрнoгo звaрyвaння.



**Рис.2.** Конструкція високотемпературного сенсора тиску з універсальним тензомодулем:  
1 – мембрана, 2 – універсальний тензомодуль, 3 – балка з тензорезисторами, 4 – шток, 5 – корпус



**Рис.3.** Градувальні характеристики сенсора тиску для напруги живлення 2 В при різних температурах: 1 – 20°C; 2 – 103°C; 3 – 218°C; 4 – 320°C

Типові градувальні характеристики сенсора наведено на рис.3. Як видно з поданих залежностей, температурний коефіцієнт вихідного сигналу сенсора не перевищує  $(0-0,14) \% \cdot \text{град}^{-1}$  в діапазоні температур 20...+320°C.

### Висновки

Отже, розроблений п'єзoрeзистивний сенсoр тиску нa oснoві мікpoкpистaлів кpeмнію зaвдяки своїм малим розмірам, чутливості, високій власній частоті і працездатності при температурах до +350°C може знайти застосування в різних галузях, зокрема в авіаційній техніці для вимірювання пульсацій тиску газів, а також для контролю двигунів внутрішнього згоряння. За вихідними характеристиками він не поступається відомим західним аналогам [4].

[1] Voronin V., Maryamova I., Zaganyach Y. Et.al. Sensors and Actusators, V.30A, 1992, N1-2, p.27-33.

[2] Заганяч Ю.Й., Мар'ямова І.Й., Лавитська О.М. та ін. 1 Міжнар. конф. "Конструкційні та функціональні матеріали", Львів, вересень 1993. Львів, 1993, с.203-204.

[3] Lavitska E. In: 5th NEXUSPAN Workshop on Thermal Aspects in Microsystem Technology, Budapest, Hungary, 6-8 May 1998, pp.115-120.

[4] Zappe S., Obermeier E., Muller H. et.al. In: Transducers '99 - 10th International Conference on Solid-State Sensors & Actuators, Sendai, Japan, June 7-10 Digest of Technical Papers, 1999, pp. 346 – 349.

УДК 621.317; 681.327

**Злобін Г.Г., Карбовник І.Д., Андрієвський Б.В., 2000**

**Львівський національний університет ім. Івана Франка, кафедри радіфізики, експериментальної фізики**

## **АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ОПТИЧНИХ ТА ЕЛЕКТРИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СЕГНЕТОЕЛЕКТРИЧНИХ КРИСТАЛІВ**

© Злобін Г.Г., Карбовник І.Д., Андрієвський Б.В., 2000

Виготовлено електронний блок спряження фотоприймача, термопари та персонального IBM-сумісного комп'ютера і досліджено його експлуатаційні характеристики на прикладі прецизійних вимірювань температурної залежності інтерференційної оптичної різниці ходу  $\delta D/D(T)$  сегнетоелектричного кристала тригліцинсульфату (ТГС) в області 20 - 75 °С. З'ясовано, що температурна залежність  $\delta D/D(T)$  в області 40-50°С сегнетоелектричної фази кристала може бути задовільно описана лише з урахуванням квадратичного члена. На підставі цього стверджується, що відповідні коефіцієнти спонтанної електрострикції та квадратичного електрооптичного ефекту залежать від температури.

The electronic part for the photodetector and thermocouple connection with IBM compatible computer has been fabricated and it's functional parameters have been studied for the instance of a precise mesurement of the temperature dependence of interference optical path difference  $\delta D/D(T)$  for the ferroelectric triglicine sulphate crystal (TGS) in the range of 20-75 °C. It is found that the temperature dependences of  $\delta D/D(T)$  in the range of ferroelectric phase 40-50°C of the crystal can be described satisfactorily taking into account a quadratic term only. This means that the corresponding coefficients of spontaneous electrostriction and quadratic electrooptic effect are dependent on temperature.

### **Вступ**

Одним з напрямів дослідження фазових переходів другого роду у кристалах є аналіз температурних залежностей фізичних характеристик в області температури Кюрі  $T_c$ , їх