

## Секція 7. Мікроелектронна техніка. Функціональна та наноелектроніка

### НИТЧАСТІ КРИСТАЛИ КРЕМНІЮ-ГЕРМАНІЮ ЯК ЧУТЛИВІ ЕЛЕМЕНТИ СЕНСОРІВ ДЕФОРМАЦІЇ, ПРАЦЕЗДАТНІ В СКЛАДНИХ УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Дружинін А. О., д.т.н., професор; Островський І. П., д.т.н., доцент;  
Ховерко Ю. М., к.т.н., с.н.с.; Вуйцик А. М., м.н.с.

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

Для створення сенсорів фізичних величин на сьогодні широко використовуються нитчасті кристали (НК) твердих розчинів  $Si_{1-x}Ge_x$ , що дозволяють отримати інформацію про вимірювальний параметр, зокрема такі як температура, деформація, тиск тощо [1].

На сьогодні для задоволення постійно зростаючих потреб сучасної техніки необхідні високочутливі швидкодіючі сенсори, працездатні в складних умовах експлуатації: в широкому температурному інтервалі, зокрема, за низьких температур, що може бути використано, наприклад, в кріомедицині, кріоенергетиці тощо.

Метою цієї роботи є дослідження електрофізичних характеристик нитчастих кристалів твердих розчинів  $Si_{1-x}Ge_x$  як чутливих сенсорів деформації, працездатних в складних умовах, зокрема за гелієвих температур, та розроблення вимірювальної системи оброблення інформації з первинних перетворювачів сигналу (сенсорів).

Нитчасті кристали  $Si_{1-x}Ge_x$   $p$ -типу провідності одержували методом газотранспортних реакцій в замкнутій бромідній системі.

Для досліджень деформаційних властивостей в діапазоні температур  $4,2 \div 300$  К вибрані дві партії НК  $Si_{1-x}Ge_x$  з молярним вмістом германію  $x = 0,01 \div 0,03$  та з різним рівнем легування: 1)  $\rho_{300} = 0,025$  Ом·см,  $N_a = 10^{18}$  см<sup>-3</sup>; 2)  $\rho_{300} = (0,016 \div 0,018)$  Ом·см,  $N_a = 6 \cdot 10^{18}$  см<sup>-3</sup>.

До досліджуваних зразків електроімпульсним приварюванням створювалась група контактів з платинового мікродроту діаметром 30 мкм. Деформацію зразків створювали за методикою, яка передбачає закріплення досліджуваних кристалів на спеціально підібраних підкладках, коефіцієнт термічного розширення (КТР) матеріалу яких відмінний від КТР твердого розчину  $Si_{1-x}Ge_x$ [2].

На основі експериментальних досліджень встановлено, що деформація істотно впливає на характеристики кристалів, зокрема, опір НК ( $\rho = 0,016$  Ом·см), деформованого стиском до рівня  $\varepsilon = -3,8 \cdot 10^{-3}$  відн.од., змінюється приблизно на три порядки в інтервалі температур  $10 \div 50$  К. Крім того, у цій області температур спостерігається залежність  $\ln R = f(T)$ , яка близька до лінійної. Апроксимувати цю залежність в діапазоні темпе-

ратур  $10 \div 50$  К можна з допомогою прямої  $\ln R = -0,1T + 11,9$ . Тоді коефіцієнт нелінійності становитиме не більше 7 %.

Показано, що для залежностей  $\ln(R)=f(T^{-1/4})$  вільного і деформованого НК  $Si-Ge$  ( $N_a = 6 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ ) для діапазону температур  $4,2 \div 30$  К виконується закон Мотта і при криогенних температурах коефіцієнт тензочутливості суттєво зростає в порівнянні з кімнатними температурами. При температурі 5 К значення коефіцієнта тензочутливості становить 51000, що у 800 разів перевищує його значення при 300 К. В діапазоні температур  $5 \div 50$  К температурний коефіцієнт тензочутливості становить  $-20 \text{ К}^{-1}$ . Такі кристали можна рекомендувати для створення чутливих елементів сенсорів механічних величин для криогенних температур (за фіксованих температур). При цьому слід враховувати температурну залежність коефіцієнту тензочутливості при зміні температури середовища.

На основі експериментальних досліджень створено вимірювальну систему для нитчастих кристалів  $Si_{1-x}Ge_x$  із одночасною корекцією їх температурних залежностей. Для цього було використано плату адаптера і розроблено програмне забезпечення для її роботи. Основними компонентами цієї системи є мікроконтролер *Atmega* і перетворювач інтерфейсів *Ethernet-SPI ENC28J60* фірми *Microchip*. Мікроконтролер зберігає у *flash* – пам'яті поправочні коефіцієнти для сенсорів і здійснює первинну обробку сигналу сенсорів. Цей модуль також має додаткові аналогові входи меншої розрядності (10 біт) для контролю стану системи: напруги живлення і т.д. Для перетворення малих сигналів використано підсилювач із програмованим коефіцієнтом підсилення аналогового-цифрового перетворювача з високою роздільною здатністю. Запропоновано шляхи об'єднання сенсорів у багатофункціональну систему у вигляді модульної конструкції з під'єднанням в локальну мережу та відзначено перспективність використання цифрових методів обробки для вихідних сигналів сенсорів.

#### **Перелік посилань**

1. Дружинин А. А. О возможности создания высокочувствительных пьезорезистивных сенсоров механических величин для криогенных температур / А. А. Дружинин, И. И. Марьямова, А. П. Кутраков, И. В. Павловский // Датчики и системы. — 2005. — № 7. — С. 17 — 21.
2. Druzhinin A. Study of piezoresistance in  $Ge_xSi_{1-x}$  whiskers for sensor application / A. Druzhinin, I. Ostrovskii, N. Liakh // Materials Science in Semiconductor Processing — 2005. — № 8. — P. 193 — 196.