

ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНІ СЕНСОРИ ДЕФОРМАЦІЇ НА ОСНОВІ НИТКОПОДІБНИХ КРИСТАЛІВ ФОСФІДУ ГАЛІЮ

Д. т. н. А. О. Дружинін, к. т. н. І. Й. Мар'ямова, к. т. н. О. П. Кутраков

Національний університет «Львівська політехніка»

Україна, м. Львів

druzh@polynet.lviv.ua

Досліджено тензометричні характеристики ниткоподібних кристалів фосфіду галію р-типу провідності, легованих цинком. На основі цих кристалів створено сенсори деформації, працездатні в інтервалі деформацій $\pm 1,2 \cdot 10^{-3}$ відн. од. і діапазоні температур від 20 до 550°C.

Ключові слова: ниткоподібні кристали, фосфід галію, сенсори, деформація, температура.

Питання вимірювання високотемпературних процесів стають дедалі актуальнішими з розвитком сучасних технологій, освоєнням нової продукції тощо. При цьому максимальні температури вимірюваного середовища можуть становити від 150 до 1500°C, а час впливу високотемпературного середовища — від секунд до десятків хвилин і кількох годин. Для сучасних сенсорів механічних величин характерно застосування монокристалічного кремнію [1, 2], який в найбільшій мірі узгоджується з існуючими мікроелектронними технологіями. У той же час для створення у високотемпературних сенсорів механічних величин доцільно використовувати напівпровідникові матеріали з більшою шириною забороненої зони, ніж у кремнію. Тому цілком закономірним є пошук і дослідження тензометричних властивостей інших напівпровідникових матеріалів. Зокрема, для створення високотемпературних тензорезистивних сенсорів механічних величин у деяких випадках використовується карбід кремнію [3], але технологія отримання цього матеріалу досить складна. Тому об'єктом наших досліджень обрано кристали широкозонного напівпровідника — фосфіду галію.

Для створення високотемпературних сенсорів деформації досліджувались тензометричні характеристики ниткоподібних кристалів (НК) GaP р-типу провідності з кристалографічною орієнтацією [111], яка співпадає з напрямком максимального тензорезистивного ефекту для цього матеріалу. Ниткоподібні кристали фосфіда галію вирощувались методом газотранспортних реакцій в йодній системі. Такі кристали мають форму правильних трьох- чи шестигранних призм, витягнутих вздовж кристалографічного напрямку [111]. Вирощені без спеціального легування НК GaP мають електронну провідність; для отримання кристалів з дірковою провідністю як легуючу домішку використовували цинк. Для створення контактів до НК GaP р-типу провідності застосовувалась срібна паста, легована цинком, яка відпалювалась за температури 850°C. Отримані у такий спосіб контакти є омичними, однак для роботи при підвищених температурах (400—600°C) вони вимагають надійного захисту, який забезпечується осадженням шарів нікелю на срібну пасту.

Тензометричні характеристики НК GaP р-типу провідності досліджувались у широкому діапазоні температур: від 20 до 500°C. Встановлена залежність коефіцієнта тензочутливості НК GaP р-типу від питомого опору кристалів наведена на рис.1. Коефіцієнт тензочутливості цих кристалів при 20°C достатньо великий, зокрема для НК GaP р-типу з питомим опором 0,025—0,03 Ом·см він знаходиться в межах 90—95. У діапазоні деформацій $\epsilon = \pm 1,2 \cdot 10^{-3}$ відн.од. для цих кристалів спостерігається лінійна залежність опору від деформації (рис. 2). Закріплення кристалів GaP на матеріалах з коефіцієнтом термічного розширення, більшим, ніж у фосфіда галію ($\alpha = 5,7 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$), наприклад на сталі та ін., зумовлює виникнення термічної деформації $\epsilon_T < 0$, яка призводить до зменшення опору кристалів у порівнянні з вільними кристалами, а також до зростання температурної залежності опору. НК GaP р-типу з питомим опором 0,03 Ом·см, закріплені на сталевій балці, мають температурний коефіцієнт опору приблизно $0,25\% \cdot \text{K}^{-1}$ у температурному діапазоні від 200 до 400°C.

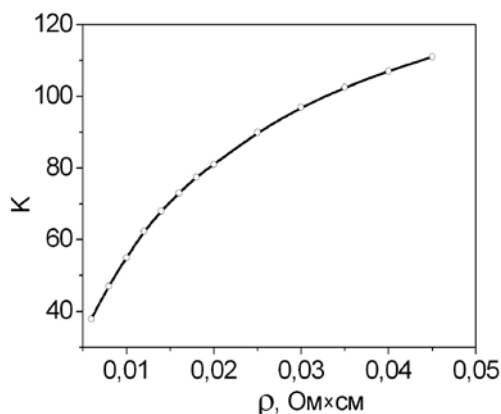


Рис. 1. Залежність коефіцієнта тензочутливості НК GaP *p*-типу від питомого опору при 20°C

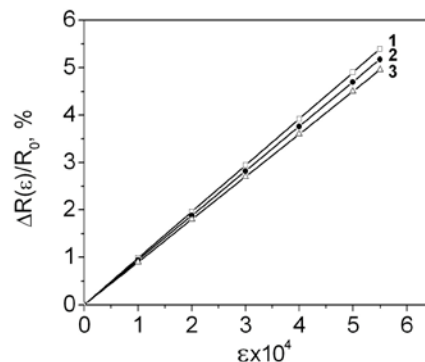


Рис. 2. Залежність відносної зміни опору від деформації для НК GaP *p*-типу з різним питомим опором: 1 – 0,030 Ом·см; 2 – 0,025 Ом·см, 3 – 0,023 Ом·см

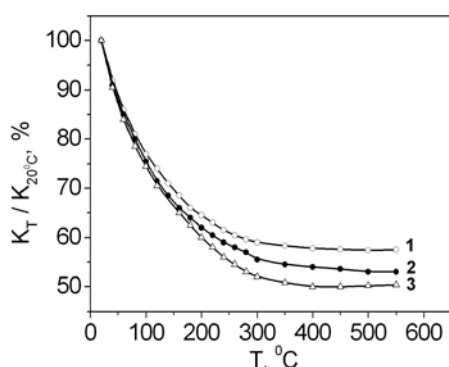


Рис. 3. Температурна залежність коефіцієнта тензочутливості НК GaP *p*-типу провідності з різним питомим опором: 1 – 0,030 Ом·см; 2 – 0,025 Ом·см, 3 – 0,023 Ом·см

На рис. 3. наведено температурну залежність коефіцієнта тензочутливості НК GaP *p*-типу провідності з різним питомим опором, закріплених високотемпературним цементом. Як видно з рисунку, коефіцієнт тензочутливості зменшується з підвищенням температури. Для кристалів з питомим опором 0,02—0,03 Ом·см у діапазоні температур 20—300°C коефіцієнт тензочутливості сильніше залежить від температури, а у діапазоні 300—550°C спостерігається слабка залежність його від температури, у цьому діапазоні значення температурного коефіцієнту тензочутливості не перевищує $-0,03\% \cdot K^{-1}$. Значення коефіцієнта тензочутливості при підвищених температурах залишається достатньо великим: в області температур від 300 до 500°C значення K становить 40—50.

Отже, за своїми тензометричними характеристиками НК фосфіда галію *p*-типу провідності з орієнтацією [111] придатні для створення на їхній основі високотемпературних сенсорів деформації. Проведені вимірювання показали можливість роботи сенсорів на основі НК GaP у статичних та динамічних режимах при циклічній деформації. Вони витримують не менше ніж 10^8 циклів знакозмінної деформації $\epsilon = \pm 5 \cdot 10^{-4}$ відн.од. без руйнування і зміни характеристик.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Козин С. А., Федулов А. В., Пауткин В. Е., Баринов И. Н. Микроэлектронные датчики физических величин на основе МЭМС-технологии // Компоненты и технологии.— 2010.— № 1.— С. 24—27.
2. Дружинін А.О., Мар'ямова І.Й., Кутраков О.П., Лях-Кагуй Н.С. Ниткоподібні кристали кремнію для сенсорної електроніки // Фізика і хімія твердого тіла.— 2011.— Т.12, №4.— С. 1078—1084.
3. Михайлов П.Г. Исследования по созданию высокотемпературных сенсорных элементов и структур // Микросистемная техника.— 2004.— № 8.— С. 38—44.

A. A. Druzhinin, I. I. Maryamova, A. P. Kutrakov

High temperature strain sensors based on gallium phosphide whiskers

The study considers tensoresistive characteristics of *p*-type GaP whisker crystals doped by zinc. The authors use these crystals to create strain sensors operating in the wide range of strain $\pm 1,2 \cdot 10^{-3}$ rel. un. in the temperature range of 20—550°C.

Keywords: whiskers, gallium phosphide, sensor, deformation, temperature.