

# МАТЕРІАЛИ ДЛЯ СЕНСОРІВ

---

## SENSOR MATERIALS

---

---

УДК 621.315.592

DOI 10.18524/1815-7459.2018.3.142044

### ВПЛИВ ОДНОВІСНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ ТА ГІДРОСТАТИЧНОГО ТИСКУ НА ВЛАСТИВОСТІ ТОНКИХ ШАРІВ InSb

*А. О. Дружинін, І. Й. Мар'ямова, О. П. Кутраков, Н. С. Лях-Кагуй*

Національний університет “Львівська політехніка”,  
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, тел. (032)2582627,  
druzh@polynet.lviv.ua

### ВПЛИВ ОДНОВІСНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ ТА ГІДРОСТАТИЧНОГО ТИСКУ НА ВЛАСТИВОСТІ ТОНКИХ ШАРІВ InSb

*А. О. Дружинін, І. Й. Мар'ямова, О. П. Кутраков, Н. С. Лях-Кагуй*

**Анотація.** Досліджено тензометричні характеристики тонких шарів антимоніду індію, як нелегованих, так і легованих із різною концентрацією домішки телуру в широкому діапазоні деформацій ( $\varepsilon = \pm 1,3 \times 10^{-3}$  відн. од.) і температур ( $- 180 \div + 100$ ) °С. Найвищі значення коефіцієнта тензочутливості були одержані для зразків InSb n-типу провідності, легованих телуrom до концентрації  $(4 \div 7) \times 10^{16}$  см<sup>-3</sup>, на основі яких можуть бути створені чутливі елементи тензодатчиків. Також було вивчено вплив гідростатичного тиску до 5000 бар на тонкі шари InSb, як нелеговані, так і леговані телуrom і цинком. Визначені значення коефіцієнтів гідростатичного тиску для цих шарів та їх температурні залежності в інтервалі температур ( $- 75 \div + 80$ ) °С. Найбільша чутливість до гідростатичного тиску виявлена в зразках InSb, легованих цинком ( $K_{20^\circ\text{C}} \approx 46$ ). Дано рекомендації щодо застосування тонких шарів InSb як чутливих елементів датчиків тиску.

**Ключові слова:** тонкі шари антимоніду індію; тензорезистивні властивості; коефіцієнт тензочутливості, гідростатичний тиск

## THE INFLUENCE OF UNIAXIAL STRAIN AND HYDROSTATIC PRESSURE ON PROPERTIES OF InSb THIN LAYERS

*A. Druzhinin, I. Maryamova, A. Kutrakov, N. Liakh-Kaguy*

**Abstract.** Piezoresistive characteristics of undoped and doped by tellurium with different concentration InSb thin layers were studied in wide range of strain ( $\varepsilon = \pm 1.3 \times 10^{-3}$  rel. un.) and temperature ( $-180 \div +100$ ) °C. The highest values of the gauge factor were obtained in n-type conductivity InSb thin layers doped by tellurium to concentration of  $(4 \div 7) \times 10^{16}$  cm<sup>-3</sup>. Sensitive elements of strain gauges could be created on the basis of such layers. The influence of hydrostatic pressure up to 5000 bar on electrophysical properties of undoped and doped by tellurium and zinc InSb thin layers were also studied. The values of the hydrostatic pressure coefficients for these layers and their temperature dependences were determined in the temperature range ( $-75 \div +80$ ) °C. The greatest sensitivity to hydrostatic pressure ( $K_{20^\circ\text{C}} \approx 46$ ) was revealed in InSb samples doped with zinc. Recommendations for the use of InSb thin layers as sensitive elements of pressure sensors were given.

**Keywords:** indium antimonide thin layers; piezoresistive properties; gauge factor; hydrostatic pressure

## ВЛИЯНИЕ ОДНООСНОЙ ДЕФОРМАЦИИ И ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ НА СВОЙСТВА ТОНКИХ СЛОЕВ InSb

*A. A. Дружинин, И. И. Марямова, А. П. Кутраков, Н. С. Лях-Кагуй*

**Аннотация.** Исследовано тензометрические характеристики тонких слоев антимоноида индия, как нелегированных, так и легированных с разной концентрацией примеси теллура в широком диапазоне деформации ( $\varepsilon = \pm 1,3 \times 10^{-3}$  відн. од.) и температур ( $-180 \div +100$ ) °C. Высокие значения коэффициента тензочувствительности были получены для образцов InSb n-типа проводимости, легированных теллуrom с концентрацией  $(4 \div 7) \times 10^{16}$  см<sup>-3</sup>, на основе которых могут быть созданы чувствительные элементы тензодатчиков. Также было изучено влияние гидростатического давления до 5000 бар на электрофизические свойства тонких слоев InSb, как нелегированные, так и легированные теллуrom и цинком. Определены значения коэффициентов гидростатического давления для этих слоев и их температурные зависимости в интервале температур ( $-75 \div +80$ ) °C. Наибольшая чувствительность к гидростатическому давлению обнаружена в образцах InSb, легированных цинком ( $K_{20^\circ\text{C}} \approx 46$ ). Даны рекомендации по применению тонких слоев InSb как чувствительных элементов датчиков давления.

**Ключевые слова:** тонкие слои антимоноида индия; тензорезистивные свойства; коэффициент тензочувствительности, гидростатическое давление

## 1. Вступ

На сьогодні кремній і германій є основними матеріалами для створення на їх основі сенсорів механічних величин, завдяки високій тензочутливості цих матеріалів у широкому інтервалі температур [1]. Слід зауважити, що також створені сенсори механічних величин на базі напівпровідникових ниткоподібних кристалів, зокрема таких як кремній і германій [2]. Багатьма дослідженнями п'єзорезистивних властивостей мікро- та нанокристалів кремнію і германію виявлено гігантські значення їх коефіцієнта тензочутливості за низьких температур [3-6]. Попередні роботи авторів [7, 8] довели, що ниткоподібні кристали Si, Ge і твердого розчину SiGe із концентрацією легуючої домішки в області переходу метал-діелектрик, є перспективними матеріалами для створення високочутливих сенсорів механічних величин, працездатних в області низьких температур. Як результат на основі цих кристалів були розроблені надчутливі сенсори механічних величин, працездатні при криогенних температурах [2]. Проте технічний прогрес в області науки і техніки вимагає пошуку нових напівпровідникових матеріалів, придатних для проектування чутливих елементів датчиків, дієздатних в складних умовах експлуатації. В цьому плані сполуки АЗВ5 представляють значний інтерес щодо вивчення їх електрофізичних властивостей, а також як багатобічній модельний матеріал для вивчення магніто- та п'єзорезистентних ефектів у широкому інтервалі температур [9-12]. Сполуки АЗВ5 також розглядаються як перспективні матеріали сенсорної електроніки. У попередніх роботах авторів [13, 14] вивчався вплив гідростатичного тиску на властивості мікрокристалів антимоніту галію n-типу. В результаті проведених досліджень було створено датчик гідростатичного тиску, дієздатний до 5000 бар.

Метою даної роботи є вивчення впливу одновісної деформації та гідростатичного тиску на тонкі шари антимоніду індію з різною концентрацією легуючої домішки на предмет їх використання для створення чут-

ливих елементів сенсорів деформації та гідростатичного тиску.

## 2. Методика експерименту

Об'єктом досліджень були тонкі шари антимоніду індію, для отримання яких використовувався метод направленої кристалізації розплаву, стиснутого між підкладками. В результаті отримано тонкі шари InSb товщиною  $10 \div 30$  мкм. Розміри досліджуваних чутливих елементів становили: довжина  $1 \div 2$  мм, ширина  $100 \div 200$  мкм і товщина  $10 \div 20$  мкм. Омичні контакти і струмовиводи до чутливих елементів створювались методом імпульсного мікрозварювання золотого мікродроту.

Досліджувались три групи зразків:

- нелеговані зразки InSb з концентрацією основних носіїв заряду  $(2 \div 3) \times 10^{16} \text{ см}^{-3}$ ;
- зразки InSb з концентрацією телуру  $(4 \div 7) \times 10^{16} \text{ см}^{-3}$  -  $1,5 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$ ;
- зразки InSb леговані цинком з концентрацією  $1 \times 10^{16} \text{ см}^{-3}$ .

Для вивчення впливу одновісної деформації чутливі елементи на основі тонких шарів InSb закріплювались на сталевій градувальній балці, яка піддавалась деформації  $\epsilon = \pm 1,3 \times 10^{-3}$  відн. од. у широкому інтервалі температур ( $-150 \div +100$ ) °С. Дослідження характеристик чутливих елементів на основі тонких шарів антимоніду індію при вивченні впливу гідростатичного тиску до 5000 бар, проводились у спеціальному посуді високого тиску, згідно методики, наведеній в роботі [13]. Струмовиводи чутливих елементів приварювались до герметичних клем в об'ємі поршня, після чого внутрішній об'єм сосуда під тиском заповнювали сумішшю гасу та трансформаторного масла. Опір зразків антимоніду індію вимірювався в інтервалі температур ( $-75 \div +100$ ) °С і тиску від 0 до 5000 бар.

## 3. Експериментальні результати та їх обговорення

Властивості тонких шарів антимоніду індію n-типу провідності досліджувались в широкому інтервалі температур ( $-180 \div +100$ ) °С. На

рис. 1 представлено температурні залежності опору, як нелегованих зразків, так і легованих телуром до концентрації  $4 \times 10^{16} \div 1.5 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$ .

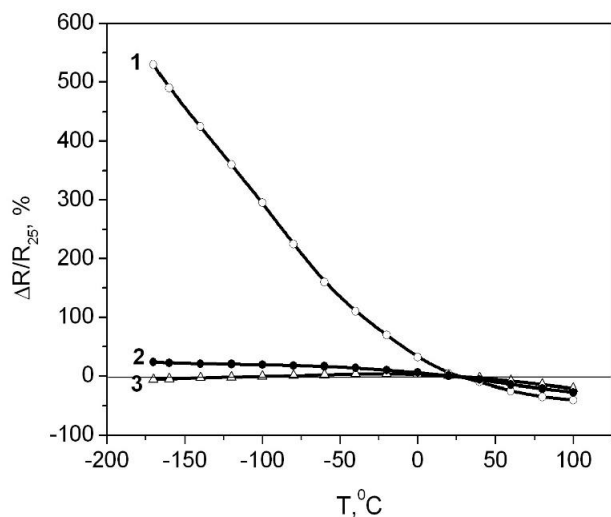


Рис. 1. Температурні залежності відносної зміни опору нелегованих тонких шарів InSb (1) і з концентрацією телуру:  $(4 \div 7) \times 10^{16} \text{ см}^{-3}$  (2);  $(1 \div 1.5) \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$  (3).

Виявлено, що найменшу температурну залежність опору мають зразки InSb сильно леговані телуром до концентрації  $(1 \div 1.5) \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$ , для яких температурний коефіцієнт опору (ТКО) у досліджуваному інтервалі температур становить приблизно  $0,18 \% \times \text{град}^{-1}$ .

В результаті досліджень тензорезистивних властивостей тонких шарів InSb n-типу провідності в широкому діапазоні деформацій  $\varepsilon = \pm 1,3 \times 10^{-3}$  відн. од. і температур  $(-150 \div +100) \text{ }^\circ\text{C}$  виявлено лінійний характер залежності відносної зміни опору від деформації для всіх досліджуваних зразків (рис. 2). Розраховано значення коефіцієнта тензочутливості для цих зразків, температурні залежності яких наведено на рис. 3.

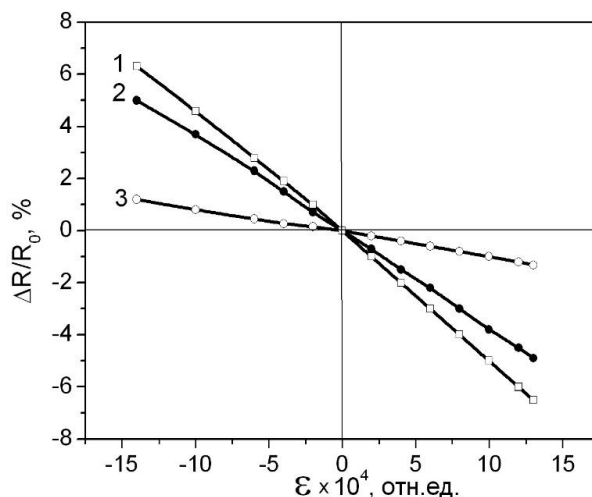


Рис. 2. Відносна зміна опору від деформації за температури  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  для нелегованих тонких шарів InSb (1) і з концентрацією телуру:  $(4 \div 7) \times 10^{16} \text{ см}^{-3}$  (2);  $(1 \div 1.5) \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$  (3).

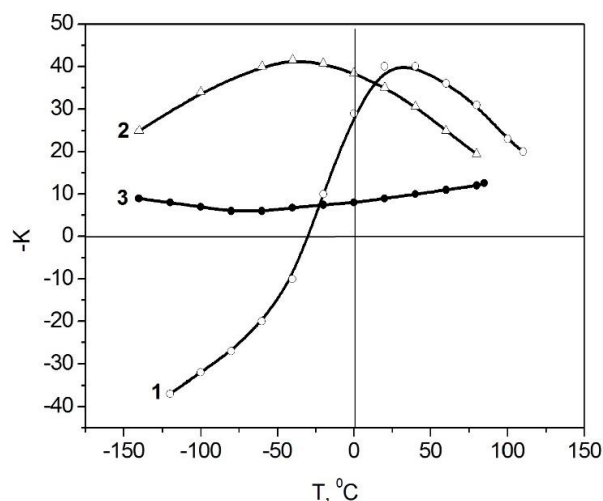


Рис. 3. Температурні залежності коефіцієнта тензочутливості нелегованих тонких шарів InSb (1) і з концентрацією телуру:  $(4 \div 7) \times 10^{16} \text{ см}^{-3}$  (2);  $(1 \div 1.5) \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$  (3).

З підвищенням концентрації домішки телуру значення коефіцієнта тензочутливості зменшується за абсолютною величиною (рис. 3, криві 2 і 3). Для цих зразків на кривих температурної залежності коефіцієнта тензочутливості спостерігаються екстремуми в області температур  $(-40 \div 0) \text{ }^\circ\text{C}$  і монотонна зміна коефіцієнта тензочутливості за абсолютною величиною по обидві сторони від виявленого екстремуму. Принципово відмінний характер має температурна залежність коефіцієнта тензочутливості для нелегова-

них тонких шарів InSb n-типу провідності (рис.3, крива 1). За температури  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  відбувається інверсія знака коефіцієнта тензочутливості, зумовлена переходом до власної електропровідності.

Таким чином, в результаті проведених досліджень встановлено, що зразки InSb з концентрацією основних носіїв заряду  $(2\div 3)\times 10^{16}\text{ см}^{-3}$  мають найвищий коефіцієнт тензочутливості  $K=-46$  за температури  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , але, оскільки він має сильну температурну залежність, чутливі елементи на основі такого матеріалу доцільно використовувати за кімнатної температури. Чутливі елементи на основі InSb з концентрацією телуру  $(4\div 7)\times 10^{16}\text{ см}^{-3}$  з коефіцієнтом тензочутливості  $K\approx -35$  можна використовувати для роботи у температурному інтервалі від  $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Дослідження впливу гідростатичного тиску до 5000 бар, на властивості тонких шарів антимоніду індію, легованих домішками телуру та цинку, проводилось в інтервалі температур  $(-75\div +100)\text{ }^{\circ}\text{C}$ . На рис. 4 наведено залежності відносної зміни опору зразків InSb від гідростатичного тиску за кімнатної температури для нелегованих зразків і для легованих відповідними домішками. Як видно з рис. 4, ці залежності практично лінійні для всіх зразків у всьому досліджуваному діапазоні тиску. Значення коефіцієнтів гідростатичного тиску за температури  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , розраховані за результатами експериментальних даних для досліджуваних зразків становлять відповідно  $(19,4\div 27,2)\times 10^{-5}\text{ бар}^{-1}$  для нелегованих зразків,  $\sim 50\times 10^{-5}\text{ бар}^{-1}$  для легованих Zn до  $1\times 10^{16}\text{ см}^{-3}$  і  $(9,5\div 11,4)\times 10^{-5}\text{ бар}^{-1}$  для легованих телуром до  $1\times 10^{17}\text{ см}^{-3}$ .

Досліджено також температурні залежності коефіцієнта гідростатичного тиску в інтервалі температур від  $-75\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$  для описаних вище трьох груп зразків InSb, результати яких наведені на рис. 5.

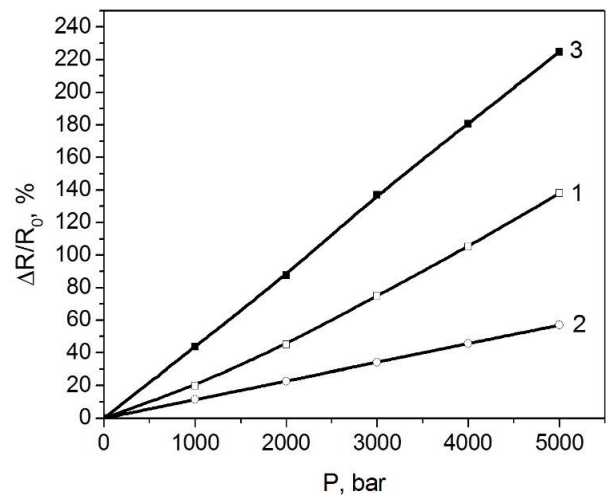


Рис. 4. Відносна зміна опору від гідростатичного тиску за температури  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  для нелегованих тонких шарів InSb з концентрацією носіїв  $(2\div 3)\times 10^{16}\text{ см}^{-3}$  (1); з концентрацією телуру  $1\times 10^{17}\text{ см}^{-3}$  (2) і цинку  $1\times 10^{16}\text{ см}^{-3}$  (3).

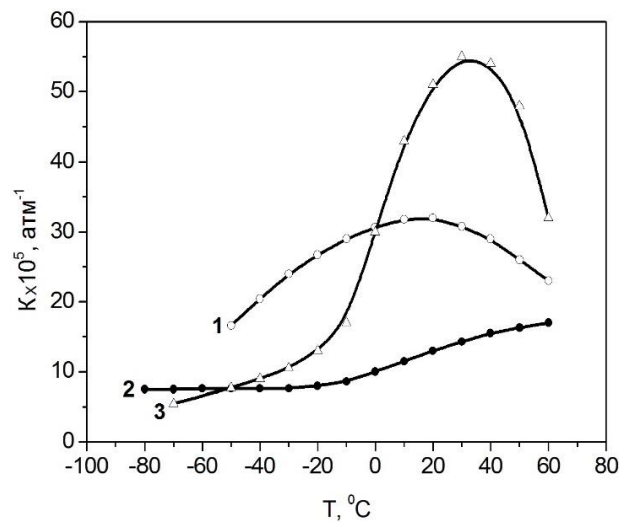


Рис. 5. Температурні залежності коефіцієнта гідростатичного тиску нелегованих тонких шарів InSb (1); з концентрацією телуру  $1\times 10^{17}\text{ см}^{-3}$  (2) і цинку  $1\times 10^{16}\text{ см}^{-3}$  (3).

З результатів проведених досліджень у кліматичному діапазоні температур  $(-60\div +60)\text{ }^{\circ}\text{C}$  видно, що на кривій температурної залежності коефіцієнта гідростатичного тиску для нелегованих тонких шарів InSb n-типу провідності за температури, близької до кімнатної, спостерігається максимум (рис. 5, крива 1). Максимальне значення коефіцієнта гідростатичного тиску для цих зразків досягає  $\sim 32\times 10^{-5}\text{ бар}^{-1}$ .

Значно меншою чутливістю до гідростатичного тиску володіють тонкі шари InSb n-типу провідності, леговані телуrom до концентрації  $1 \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$ . З характеру одержаної температурної залежності коефіцієнта гідростатичного тиску (рис. 5, крива 2), видно що в інтервалі температур  $(-75 \div -20) \text{ }^\circ\text{C}$  значення коефіцієнта гідростатичного тиску невелике і практично залишається незмінним, однак при підвищенні температури його значення монотонно зростають, досягаючи  $(13,5 \div 16,5) \times 10^{-5} \text{ бар}^{-1}$  за температури  $+60 \text{ }^\circ\text{C}$ . Ці зразки мають слабку залежність опору від температури в кліматичному діапазоні температур.

Чутливі елементи на основі тонких шарів InSb p-типу, леговані цинком з концентрацією  $1 \times 10^{16} \text{ см}^{-3}$ , мають найвищу чутливість до гідростатичного тиску. На кривій температурної залежності коефіцієнта гідростатичного тиску спостерігається чітко виражений максимум за температури  $\sim +35 \text{ }^\circ\text{C}$  (рис. 5, крива 3). Результат проведених досліджень доводить, що чутливі елементи на основі тонких шарів InSb легованих цинком доцільно використовувати для вимірювання тиску за фіксованих температур, або використовуючи спеціальні методи термокомпенсації.

## ВИСНОВКИ

При дослідженнях температурних залежностей опору резисторів на основі тонких шарів InSb n-типу провідності, за температур  $(-180 \div +120) \text{ }^\circ\text{C}$  виявлено, що найменша температурна залежність отримана для зразків легованих телуrom до концентрацій  $(1 \div 1,5) \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$ . Встановлено, що найвищий коефіцієнт тензочутливості  $K \approx -46$  при  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  мають нелеговані зразки InSb n-типу провідності з концентрацією основних носіїв заряду  $(2 \div 3) \times 10^{16} \text{ см}^{-3}$ . Для створення тензорезисторів найбільш оптимальними характеристиками володіють тонкі шари InSb n-типу, леговані телуrom до концентрації  $(4 \div 7) \times 10^{16} \text{ см}^{-3}$ , які мають достатньо високі значення коефіцієнта тензочутливості ( $K_{20^\circ\text{C}} \approx -35$ ) і відносно слабку його залежність від температури.

При дослідженні впливу гідростатичного тиску до 5000 бар на тонкі шари InSb виявлено лінійну залежність їх опору від тиску. Найбільшою чутливістю до гідростатичного тиску в області додатних температур характеризуються зразки InSb p-типу провідності, леговані цинком до  $1 \times 10^{16} \text{ см}^{-3}$  ( $K_{20^\circ\text{C}} \approx 46$ ). Такі шари можуть бути використані для створення високочутливих датчиків тиску, працездатних в інтервалі температур  $0 \div +60 \text{ }^\circ\text{C}$ . Для більш широкого інтервалу температур доцільно використовувати зразки InSb з концентрацією носіїв заряду  $(2 \div 3) \times 10^{16} \text{ см}^{-3}$ .

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1]. П. І. Баранский, А. В. Федосов, Г. П. Гайдар. Фізичні властивості кристалів кремнію та германію в полях ефективного зовнішнього впливу. Надстир'я, Луцьк. 280 с. (2000).
- [2]. А. О. Дружинін, І. Й. Мар'ямова, О. П. Кутраков. Датчики механічних величин на основі ниткоподібних кристалів кремнію, германію та сполук  $A^3B^5$ . Львівська Політехніка, Львів. 232 с. (2015).
- [3]. I. Maryamova, A. Druzhinin, E. Lavitska, I. Gortynska, and Y. Yatzuk. Low temperature semiconductor mechanical sensors // Sensors and Actuators A, 85, pp. 153-157 (2000).
- [4]. J. S. Milne, S. Arscott, C. Renner, and A. C. H. Rowe. On giant piezoresistance effects in silicon nanowires and microwires // Phys. Rev. Lett., 105, p. 226802 (2010).
- [5]. P. Neuzil, C. C. Wong, and J. Reboud. Electrically controlled giant piezoresistance in silicon nanowires // Nano Lett., 10, pp. 1248-1252 (2010).
- [6]. S. V. Luniov, O. V. Burban, P. F. Nazarchuk, A. I. Zimych Influence of electron-phonon interaction on piezoresistance of single crystals n-Ge // Journal of Advances in Physics, 7(3), pp. 1931-1938 (2015)
- [7]. A. A. Druzhinin, I.I. Maryamova, O.P. Kuttrakov, N.S. Liakh-Kaguy, T. Palewski. Strain induced effects in p-type silicon whiskers at low temperatures // Functional Materials, 19(3), pp. 325-329 (2012).

[8]. A.A. Druzhinin, I. P. Ostrovskii, Yu. N. Khooverko, N. S. Liakh-Kaguy, A. M. Vuytsyk. Low temperature characteristics of germanium whiskers // *Functional Materials*, 21(2), pp.130-136 (2014).

[9]. Luke Glenn Harris. Design and Fabrication of a Piezoresistive Tactile Sensor for Ergonomic Analyses. The University of Guelph, Ontario, Canada. 105 p. (2014)

[10]. A. Löffler, J. P. Reithmaier, A. Forchel, A. Sauerwald. Influence of the strain on the formation of GaInAs/GaAs quantum structures // *Journal of Crystal Growth*, 286(1), pp. 6-10

[11]. D. Kriegner, C. Panse, B. Mandl, K. A. Dick, M. Keplinger. Unit cell structure of crystal polytypes in InAs and InSb nanowires // *Nano Lett.*, 11(4), pp. 1483-1489 (2011).

[12]. P. Chang, X. Liu, L. Zeng, G. Du. Hole mobility in InSb-based devices: Dependence on surface orientation, body thickness, and strain // *Solid-State Electronics*, 113, pp. 68-72 (2015).

[13]. А. А. Дружинин, І. Й. Мар'ямова, А. П. Кутраков, Н. С. Лях-Кагуй. Датчики гидростатического давления на основе микрокристаллов антимонида галлия // *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*, № 4, сс. 19-23 (2015).

[14]. А. А. Дружинин, І. І. Мар'ямова, О. П. Кутраков. GaSb whiskers in sensor electronics // *Functional Materials*, 23(2), pp. 206-211 (2016).

Стаття надійшла до редакції 16.07.2018 р.

UDC 621.315.592

DOI 10.18524/1815-7459.2018.3.142044

## THE INFLUENCE OF UNIAXIAL STRAIN AND HYDROSTATIC PRESSURE ON PROPERTIES OF InSb THIN LAYERS

*A. Druzhinin, I. Maryamova, A. Kutrakov, N. Liakh-Kaguy*

Lviv Polytechnic National University

### Summary

Aim of the work is to study the influence of uniaxial strain and hydrostatic pressure on the electrophysical properties in indium antimonide thin layers with different doping concentration for creation on their basis sensitive elements of mechanical sensors acting in the temperature range (- 60 ÷ + 60) °C.

Piezoresistive properties of undoped and doped by tellurium InSb thin layers were studied in wide range of strain ( $\varepsilon = \pm 1.4 \times 10^{-3}$  rel. un.) The samples with current contacts were fixed on the steel calibration beam. The resistance of the indium antimonide thin layers was measured at the operated current 1 mA.

The lowest temperature dependence of resistors on the basis of n-type conductivity InSb thin layers was revealed on the temperature dependences in range (- 180 ÷ + 120)°C. The largest value of gauge factor  $K \approx - 46$  at temperature 20°C were found in undoped samples of InSb with majority concentration  $(2 \div 3) \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ . The n-type InSb thin layers doped by tellurium to concentration of  $(4 \div 7) \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  with sufficiently high value of gauge factor ( $K_{20^\circ\text{C}} \approx - 35$ ) and relatively weak its dependence on temperature has the most optimal characteristics for the creation of strain gauges.

The linear dependence of the resistance to the pressure of the InSb thin layers was found in the study of the effect of hydrostatic pressure up to 5 000 bar. The p-type conductivity InSb samples doped with zinc to concentration  $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  have the greatest sensitivity to hydrostatic pressure ( $K_{20^\circ\text{C}} \approx 46$ ) at positive temperatures. These layers could be used to create high-sensitivity pressure sensors, capable of operating in the temperature range  $(0 \div + 60)^\circ\text{C}$ . InSb samples with a concentration of charge carriers  $(2 \div 3) \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  should be used for a wider range of temperatures.

**Keywords:** indium antimonide thin layers; piezoresistive properties; gauge factor; hydrostatic pressure

УДК 621.315.592

DOI 10.18524/1815-7459.2018.3.142044

## ВПЛИВ ОДНОВІСНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ ТА ГІДРОСТАТИЧНОГО ТИСКУ НА ВЛАСТИВОСТІ ТОНКИХ ШАРІВ InSb

*А. О. Дружинін, І. Й. Мар'ямова, О. П. Кутраков, Н. С. Лях-Кагуї*

Національний університет “Львівська політехніка”

### Реферат

Метою роботи є вивчення впливу одновісної деформації та гідростатичного тиску на електрофізичні властивості тонких шарів антимоніду індію з різною концентрацією легуючої домішки для створення на їх основі чутливих елементів сенсорів механічних величин, дієздатних в інтервалі температур  $(- 60 \div + 60)^\circ\text{C}$ .

У широкому діапазоні деформацій  $\varepsilon = \pm 1.4 \times 10^{-3}$  відн. од. було досліджено п'єзореzystивні властивості нелегованих та легованих телуrom тонких шарів InSb n-типу провідності. Зразки із створеними струмовими контактами закріплювались на сталій калібрувальній балці. Опір тонких шарів антимоніду індію вимірювали при керуючому струмі 1 мА.

При дослідженнях температурних залежностей опору резисторів на основі тонких шарів InSb n-типу провідності, за температур  $(- 180 \div + 120)^\circ\text{C}$  виявлено, що найменша температурна залежність отримана для зразків легованих телуrom до концентрацій  $(1 \div 1,5) \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ . Встановлено, що найвищий коефіцієнт тензочутливості  $K_{20^\circ\text{C}} \approx - 46$  при температурі  $20^\circ\text{C}$  мають нелеговані зразки InSb з концентрацією основних носіїв заряду  $(2 \div 3) \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ . Для створення тензореzystорів найбільш оптимальними характеристиками володіють тонкі шари InSb n-типу, леговані телуrom до концентрації  $(4 \div 7) \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ , які мають достатньо високі значення коефіцієнта тензочутливості ( $K_{20^\circ\text{C}} \approx - 35$ ) і відносно слабку його залежність від температури. Тонкі шари InSb n-типу, леговані телуrom до концентрації  $(4 \div 7) \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ , які мають достатньо високі значення коефіцієнта тензочутливості ( $K_{20^\circ\text{C}} \approx - 35$ ) і відносно слабку його залежність від температури володіють найбільш оптимальними характеристиками для створення тензореzystорів.

При дослідженні впливу гідростатичного тиску до 5000 бар на тонкі шари InSb виявлено лінійну залежність їх опору від тиску. Найбільшою чутливістю до гідростатичного тиску в області додатних температур характеризуються зразки InSb p-типу провідності, леговані цинком до концентрації  $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  ( $K_{20^\circ\text{C}} \approx 46$ ). Такі шари можуть бути використані для створення високочутливих датчиків тиску, працездатних в інтервалі температур  $(0 \div + 60)^\circ\text{C}$ . Для більш широкого інтервалу температур доцільно використовувати зразки InSb з концентрацією носіїв заряду  $(2 \div 3) \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ .

**Ключові слова:** тонкі шари антимоніду індію; тензореzystивні властивості; коефіцієнт тензочутливості, гідростатичний тиск