

УДК 546.682.86+621.382.61

Мельник І.І., Московець Т.А., Скульський М.Ю.

ДУ “Львівська політехніка”, лабораторія Магнетних Сенсорів

ВПЛИВ ДОМІШКИ Au НА ВЛАСТИВОСТІ МІКРОКРИСТАЛІВ InSb, ОТРИМАНИХ ЗА МЕТОДОМ ХЕМІЧНИХ ТРАНСПОРТНИХ РЕАКЦІЙ

© Мельник І.І., Московець Т.А., Скульський М.Ю., 2000

Дослідженням отриманих за методом хемічних транспортних реакцій ниткоподібних кристалів InSb<Au> встановлено вплив домішки Au на інтенсивність та геометричні форми зростання мікрочастин. Показано, що характер електричної поведінки цієї домішки в InSb залежить від умов легування. При моноатомному легуванні Au поводить себе як донор. Під час комплексного легування InSb оловом та золотом останнє призводить до зменшення концентрації електронів та розкиду електрофізичних параметрів по довжині мікрочастин більше ніж у два рази.

Au DOPING INFLUENCE UPON PROPERTIES OF InSb MICROCRYSTALS OBTAINED BY MEANS OF CHEMICAL TRANSPORT REACTIONS, by Melnyk I., Moskovets T., Skulsky M. The InSb<Au> whiskers were obtained by means of chemical transport reactions. Carried out investigations defined Au-dopant influence upon intensity and geometrical shape of the microcrystals. It was approved that electric behaviour type of this impurity in InSb depends on the doping conditions. Au acts as donor at the monoatomic doping. Under the complex doping of InSb with tin and gold the last impurity leads to electron concentration decrease and more than 2 times reduces spread in electrophysical parameters with respect to the microcrystal length.

1. Вступ

Завдяки своїм унікальним властивостям отримані за методом хемічних транспортних реакцій ниткоподібні кристали антимоніду індію здобули широке застосування. Однією зі сфер використання цих мікрочастин є створення на їх основі чутливих елементів мікромініатюрних сенсорів магнетного поля, що застосовуються, наприклад, у магнетних виконавчих органах систем керування космічними супутниками на орбіті [1]. Специфічні умови експлуатації накладають певні вимоги щодо геометричної форми мікрочастин, їх електрофізичних параметрів та радіаційної стійкості.

Відомо, що одним із найефективніших засобів модифікації геометричної форми ниткоподібних кристалів напівпровідникових сполук $A^{III}B^V$ може слугувати введення спеціальних легуючих домішок [2, 3]. З погляду підвищення радіаційної стійкості мікрочастин InSb особливої уваги заслуговує використання домішки золота (Au). Однак до цього часу ще немає в літературі відомостей про її вплив на геометрію та електрофізичні властивості ниткоподібних кристалів. З огляду на це метою роботи було встановлення характеру електричної поведінки домішки Au у ниткоподібних кристалах InSb та дослідження її впливу на зростання і геометричну форму цих мікрочастин.

2. Експеримент

Вирощування ниткоподібних кристалів InSb проводилось за методом хемічних транспортних реакцій у закритому реакторі ампульного типу. Вихідним матеріалом слугував нелегований InSb марки ИСЭ 498-2 з концентрацією носіїв заряду $1\div 3 \times 10^{16} \text{ см}^{-3}$, а роль газу-носія відігравала суміш J_2/Br_2 зі співвідношенням компонентів 2:1. Склад шихти розраховувався по відношенню до об'єму реактора і типово становив $\text{InSb} : \text{J}_2 : \text{Br}_2 = (25 : 2.5 : 1.2) \text{ мг/см}^3$. Для легування використовували Au (99,999), вміст якого з розрахунку на реакційний об'єм змінювався у діапазоні від 0,001 до 0,05 мг/см^3 . Для комплексного легування поряд із домішкою Au використовували також домішку Sn (ОСЧ) з фіксованим упродовж усіх експериментів вмістом (1 мг/см^3). Після завантаження шихтою ампульний реактор відкачувався до тиску 1×10^{-5} мм рт. ст. Зростання мікрокристалів InSb проводили у характерному температурному профілі з температурою зони джерела 780 °С та температурою зони кристалізації 450 °С. Типова тривалість зростання становила 26 год. Дослідження електрофізичних властивостей легованих Au мікрокристалів InSb ґрунтувались на вимірюваннях холлівської напруги.

2.1. Вплив домішки Au на зростання і геометричну форму мікрокристалів InSb

На першому етапі досліджень з вирощування ниткоподібних кристалів InSb<Au> встановлено вплив домішки Au на інтенсивність зростання та форму поперечного перерізу цих мікрокристалів. При введенні домішки Au та зі збільшенням її вмісту зростає кількість центрів кристалізації. Максимальне збільшення кількості кристалів, придатних для створення магнетних сенсорів, спостерігається для концентрації Au $\sim 0,01 \text{ мг/см}^3$ (рис.1). За цих умов кількість придатних мікрокристалів порівняно з типовим процесом без введення домішки Au зростає з 10...15 % до 16...23 %.

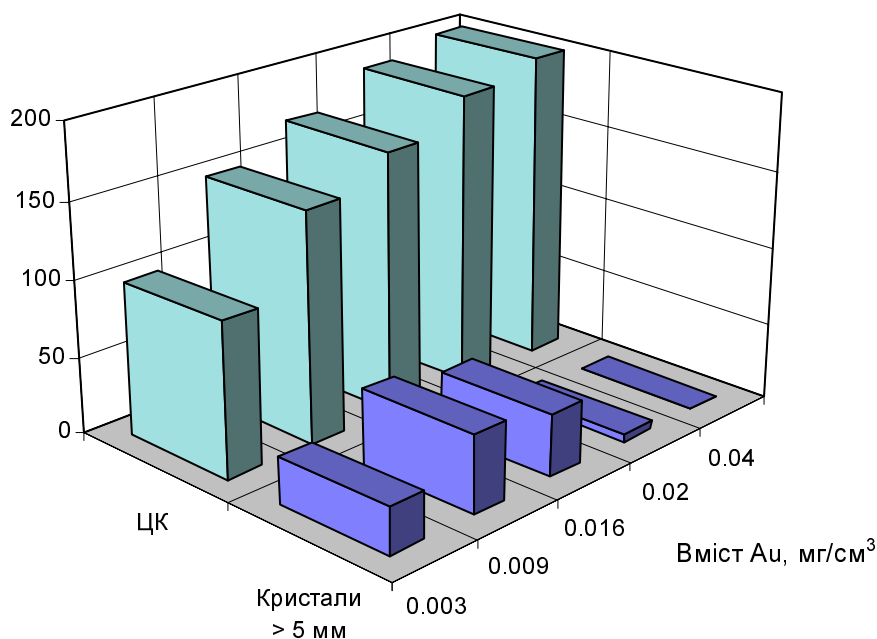


Рис.1. Вплив домішки Au на кількість центрів кристалізації (ЦК) та кристалів InSb, вирощених за методом хемічних транспортних реакцій.

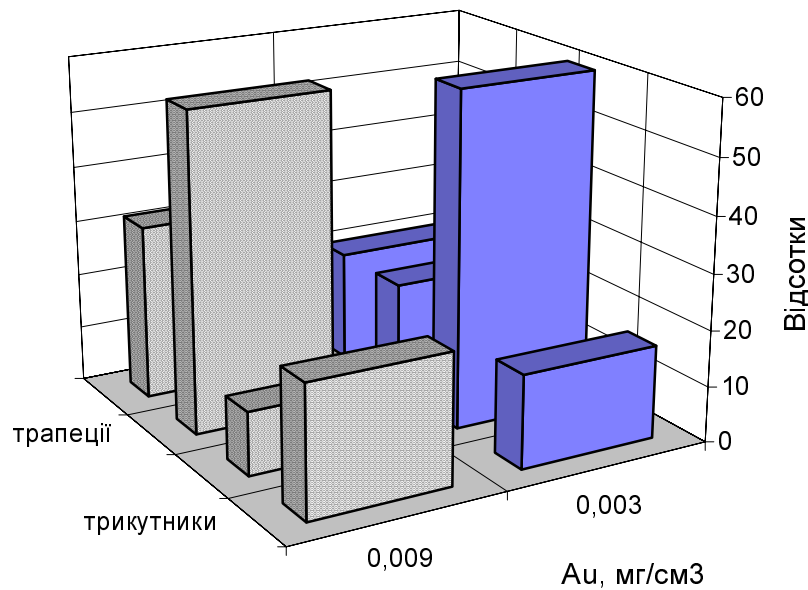


Рис.2. Вплив домішки Au на форму поперечного перерізу ниткоподібних кристалів InSb.

Окрім того суттєвий вплив домішка Au здійснює також і на форму кристалів InSb (рис.2). Згідно з результатами статистичного аналізу при концентрації Au $\sim 0,003$ мг/см³ домінуючою формою зростання є стрічки з прямокутною формою поперечного перерізу. Зі збільшенням вмісту домішки Au до 0,009 мг/см³ переважають кристали з формою поперечного перерізу у вигляді трапеції. Власне такі геометричні форми мікрокристалів є оптимальними для практичного використання, оскільки завдяки великому коефіцієнту співвідношення ширини до висоти кристала забезпечують мінімізацію чутливості магнетосенсора до тангенційної складової магнетного поля. Легування з вмістом домішки Au, що виходить за межі діапазону 0,003...0,009 мг/см³, має наслідком зростання мікрокристалів з малопритатними для практичного використання геометричними формами у вигляді трикутних та п'ятигранних призм.

2.2. Влив домішки Au

на електрофізичні властивості мікрокристалів InSb

Результати з дослідження впливу домішки Au на концентрацію носіїв у кристалах InSb зображені на рис.3. Як бачимо, зі збільшенням вмісту Au у вихідному матеріалі концентрація вільних електронів у мікрокристалах InSb, що збільшуються, що свідчить про донорний характер електричної поведінки Au в InSb. Експерименти з комплексного легування InSb Au та донорною домішкою Sn дають протилежний результат. У цьому випадку за умов незмінної концентрації Sn та зі зростанням вмісту Au у мікрокристалах InSb спостерігається зменшення концентрації носіїв заряду. Цей результат свідчить про те, що характер електричної активності Au в мікрокристалах InSb залежить від умов легування.

Дослідженням концентраційної залежності рухливості носіїв заряду у мікрокристалах InSb, легуваних Sn та Au, не виявлено типового для ефекту компенсації зменшення рухливості носіїв (Рис. 4). Очевидно, що як і в умовах комплексного легування Sn+Au, так і при легуванні InSb тільки домішкою Au, ми маємо справу зі складнішим ефектом, в основі яко

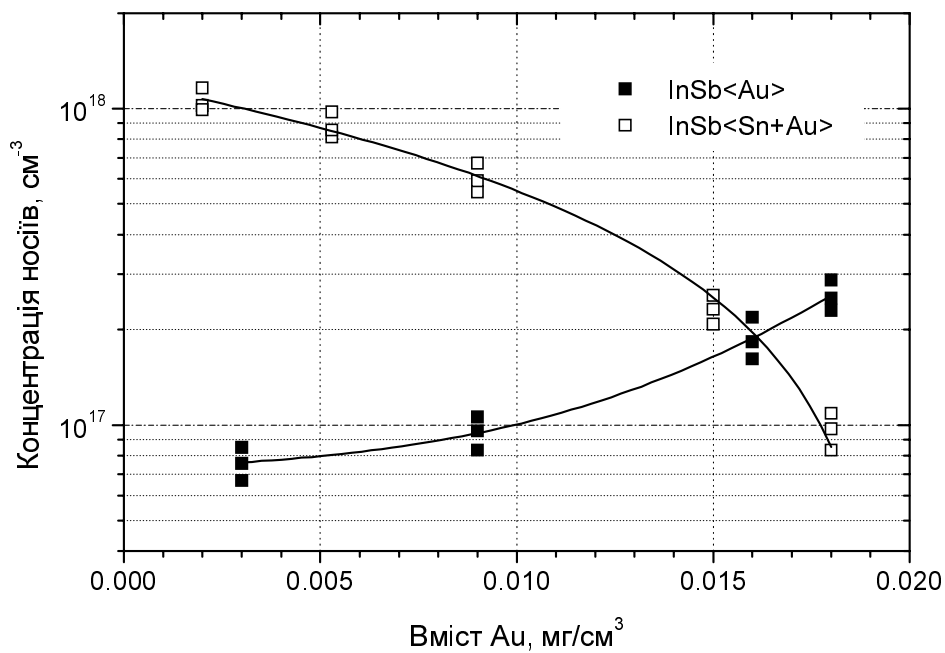


Рис.3. Вплив домішки Au на концентрацію носіїв заряду у нелегованих та легуваних Sn мікрокристалах InSb

го, очевидно, лежить висока активність домішки Au у мікрокристалах InSb. Підтвердженням цієї високої активності домішки Au у InSb може слугувати також експериментально встановлений факт перерозподілу домішок в об'ємі мікрокристалів, що проявляється у зменшенні більше ніж у два рази розкиду значення концентрації по довжині легуваних Au мікрокристалів порівняно із нелегованими.

3. Обговорення результатів

Інтерпретація результатів дослідження впливу домішки Au на властивості мікрокристалів InSb свідчить на користь високої хемічної та електричної активності цієї домішки у досліджуваному матеріалі. Підтвердженням цього може бути як і сильний вплив легування Au на геометричні форми мікрокристалів, так і на їх електрофізичні властивості. Механізм цього впливу на підставі отриманих експериментальних результатів може пояснюватись різними моделями і для однозначної ідентифікації потребує ще подальших досліджень. Як гіпотетичну можна, наприклад, розглядати таку модель. Згідно із нею під час легування атоми Au пріоритетно входять у міжвузля кристалічної ґратки InSb. Опиняючись в оточенні чотирьох атомів In чи Sb, атом Au віддає один електрон, виступаючи донором. Це пояснює кореляцію збільшення концентрації електронів у InSb<Au> зі збільшенням вмісту домішки Au (рис.3). В умовах комплексного легування, коли поряд з домішкою Au вводиться донорна домішка Sn, їх взаємодія призводить до перерозподілу домішок по вузлах і міжвузлях кристалічної ґратки, що своєю чергою зумовлює зменшення концентрації вільних електронів. Цей ефект проявляється сильніше зі зростанням вмісту Au, що і можна спостерігати на рис.3.

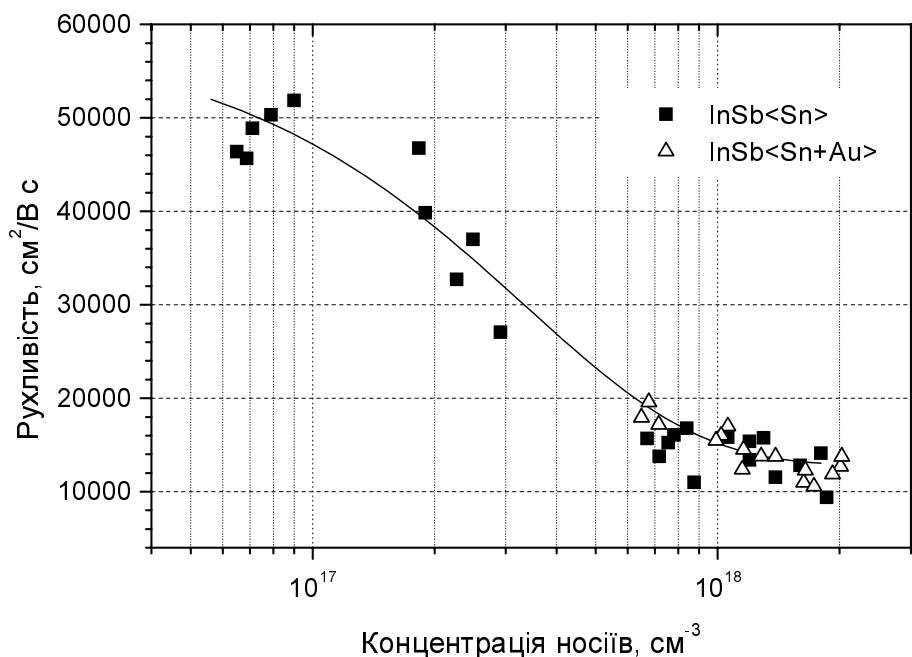


Рис.4. Концентраційна залежність рухливості носіїв заряду у кристалах InSb, легованих Sn, та у кристалах InSb, легованих Sn і Au.

Запропонована модель не входить у протиріччя із іншими експериментальними результатами, а навпаки може слугувати їх поясненням. Зокрема, виходячи з наведених міркувань про поведінку домішки Au в умовах комплексного легування Sn+Au, можна пояснити експериментально встановлений факт зменшення в два рази розкиду електрофізичних параметрів по довжині мікрочастинки InSb<Sn: Au> порівняно з властивостями мікрочастинки без домішки Au. Очевидно, що цей ефект пов'язаний з перерозподілом амфотерної домішки Sn по підґратках InSb і може спричинятись витісненням домішкою Au атомів Sn з підґратки In.

4. Висновки

Дослідженням впливу домішки Au на геометричні форми та електрофізичні властивості ниткоподібних кристалів InSb, отриманих за методом хемічних транспортних реакцій, встановлено вплив легування Au на інтенсивність зростання та геометричні форми мікрочастинки. Оптимальною з погляду отримання ниткоподібних кристалів з плоскопаралельними поверхнями є концентрація Au у діапазоні 0,003...0,01 мг/см³. Дослідження електрофізичних властивостей мікрочастинки InSb, легованих Au з концентрацією 0,003...0,01 мг/см³, свідчить про донорний характер поведінки цієї домішки в InSb. В умовах комплексного легування, коли поряд з домішкою Au вводиться донорна домішка Sn, Au

змінює характер електричної поведінки і спричиняє зменшення концентрації електронів у мікрокристалах. Sn. Експериментально доведено, що легування Au зумовлює зменшення розкиду електрофізичних параметрів по довжині мікрокристалів InSb більше ніж у два рази.

Автори висловлюють свою вдячність д-ру фіз.-мат. наук, професорові Д.М.Зячуку за допомогу в інтерпретації отриманих у роботі експериментальних результатів.

[1] Bolshakova I. Improvement of radiation resistance of magnetic field microsensors // Sensor & Actuators: A. Physical. 1999. Vol.76. P.152–155.

[2] Хилсум К., Роуз-Инс А. Полупроводники типа $A^{III}B^V$ / Пер. с англ. М.М.Горшкова, А.Э.Наджиба. М., 1963.

[3] Ивлева В.С., Ольховская Т.И., Слободина Е.Н., Хашимов Ф.Р. Влияние легирующих примесей на изменение свойств монокристаллов антимонида индия // Электрон. Тех. Сер.6. Материалы. 1982. Вып.2 (883). С.1–43.