

© 2000р. Т.А.Волянська, Б.М.Грицюк, Т.С.Мошкова, І.М.Раренко,
В.М.Стребежев, Т.В.Паламар

Чернівецький державний університет ім. Ю.Федьковича, Чернівці

ФОТОЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЕПІТАКСІЙНИХ ГОМО- І ГЕТЕРОСТРУКТУР НА ОСНОВІ $\text{In}_4(\text{Se}_3)_{1-x}\text{Te}_{3x}$

Методом рідинної епітаксії отримані *p-n*-переходи і гетеропереходи на основі кристалів $\text{In}_4(\text{Se}_3)_{1-x}\text{Te}_{3x}$, чутливі до випромінювання у близькій ІЧ-області спектра (1,0÷2,5 мкм). Показана можливість керування положенням довгохвильової границі fotocутливості. Виміряні основні параметри fotocутливих елементів у діапазоні температур 150÷293 К. Виготовлені фотоелементи мають високу виявну здатність, відрізняються малою постійною часу і незначною зміною її у широкому температурному інтервалі.

On the base of $\text{In}_4(\text{Se}_3)_{1-x}\text{Te}_{3x}$ single crystals *p-n*-junctions and heterojunctions sensible to the irradiation in the near IR-spectrum (1,0÷2,5 μm) are obtained by liquid phase epitaxy. A possibility to control the long wave photosensitive limit is shown. Main parameters of photosensitive elements in the temperature region 150÷293 K are measured. Constructed photoelements have high reveal ability, low time constant that practically does not change in a wide temperature range.

Селенід індію – перший анізотропний напівпровідник, у якому експериментально виявлено поперечний ефект Дембера (ПЕД). На його основі виготовлені fotocутливі елементи з максимумом fotocутливості (ФЧ) при $\lambda_{\text{max}}=1,6$ мкм. Використання кристалів твердих розчинів $\text{In}_4(\text{Se}_3)_{1-x}\text{Te}_{3x}$ дозволило розширити область fotocутливості у довгохвильову область спектру. Незважаючи на переваги фотоелементів на основі ПЕД, їх fotocутливість на порядок менша, ніж фоторезисторів, виготовлених з цього ж матеріалу. Фотоелементи на основі ПЕД можливо виготовити тільки з матеріалів тих складів, з яких можна виготовити однорідні кристали, без включень інших фаз і значної розорієнтацій блоків, які зменшують анізотропію електропровідності. Крім цього, для виготовлення фотоелементів на основі ПЕД необхідно вирізати зразки з анізотропного матеріалу під певними кутами до головних кристалографічних напрямків, а зумовлює ускладнення процесу виготовлення і зменшення механічної стійкості фотоелементів.

Використання *p-n*-переходів і гетеропереходів (ГП) дозволяє виготовити фотоелементи з більшою чутливістю і меншою інерційністю. Необхідними умовами для виготовлення таких елементів є наявність матеріалів з різним типом провідності, а також сумісність інших параметрів, з яких основні – однакова кристалічна структура

і постійні кристалічних ґраток. Напівпровідникові матеріали In_4Se_3 , In_4Te_3 і тверді розчини на їх основі $\text{In}_4(\text{Se}_3)_{1-x}\text{Te}_{3x}$ задовольняють ці умови. Кристали In_4Se_3 можна вирощувати як *n*- так і *p*-типу провідності, а $\text{In}_4(\text{Se}_3)_{1-x}\text{Te}_{3x}$ і In_4Te_3 тільки *p*-типу провідності. Ці матеріали відносяться до ромбічної сингонії з незначною невідповідністю постійних ґратки. Важлива перевага цих матеріалів для виготовлення фотоелементів – висока fotocутливість при кімнатній температурі. Отже використання зазначених гетеропереходів дозволяє виготовити fotocутливі прилади, які працюють без охолодження.

Важливою умовою для виготовлення таких приладів є шаруватість матеріалів. Це дозволяє виготовляти методом сколювання по площині спайності (100) досконалі поверхні з малою густиною поверхневих станів, тобто усунути цілий ряд додаткових технологічних операцій.

Сполука In_4Se_3 має більшу ширину забороневої зони (0,67 eV) у порівнянні з In_4Te_3 (0,48 eV), і відповідно більшу fotocутливість. Нанесення In_4Se_3 на поверхню In_4Te_3 або $\text{In}_4(\text{Se}_3)_{1-x}\text{Te}_{3x}$ може використовуватись для розширення області спектральної чутливості фотоприймача і виготовлених на їх основі гетеропереходів. Шари *p*-типу провідності In_4Se_3 , $\text{In}_4(\text{Se}_3)_{1-x}\text{Te}_{3x}$ та In_4Te_3 вирощувались на монокристалічних підкладках *n*- In_4Se_3

методом рідинної епітаксії (РЕ). У якості металів розчинників використовувалися індій і вісмут. В якості підкладок використано шайби діаметром 8-10 мм, сколоті у площині (100) товщиною біля 1 мм. Концентрація носіїв струму у шайбах знаходилась у межах $(2-6) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$.

Епітаксія проводилась у замкнутому об'ємі заповненому спектрально чистим воднем. Шари In_4Se_3 вирощувались у температурному інтервалі $800 \div 780 \text{ K}$ зі швидкістю охолодження 1 K/хв , а шари $\text{In}_4(\text{Se}_3)_{1-x}\text{Te}_{3x}$ і In_4Te_3 в інтервалі $740 \div 730 \text{ K}$ зі швидкістю охолодження $0,5 \text{ K/хв}$. Товщина шарів, вирощених у таких умовах, складала $20-30 \text{ мкм}$. Топографія поверхні нарощених шарів і їх склад досліджувались методами растрової електронної мікроскопії та електронно-зондового мікроаналізу. У результаті проведених досліджень встановлено відповідність складу нарощених шарів вихідному матеріалу. На поверхні шарів спостерігались морфологічні нерівності у вигляді уступів, витягнутих у напрямку (001).

Після виготовлення фоточутливих елементів проводилось травлення бокових граней. Це дозволило підвищити чутливість у 5-6 разів. Травник складався з 19 частин оцтової кислоти, насиченої лимонною кислотою, та 1-ї частини бромиду. Травник використовувався для $\text{In}_4(\text{Se}_3)_{1-x}\text{Te}_{3x}$ при $x=0,20$. Перед промиванням зразки заливалися насиченим розчином лимонної кислоти в оцтовій. Промивка проводилась у декількох ванночках зі спиртом. Швидкість травлення $0,5-0,8 \text{ мкм/хв}$. Перед травленням робочі поверхні фотоелементів захищалися хімічно стійким лаком ХВ-784, який знімали після травлення. Контакти отримувалися пайкою індію на сколоту поверхню і осадженням міді з розчину CuSO_4 у присутності індію з наступною пайкою на нанесений шар. Вольт-амперна характеристика (ВАХ) вимірювалась на постійному і змінному струмі. Коефіцієнт випрямлення для $p-n$ -переходів на основі In_4Se_3 при кімнатній температурі невеликий ($K=2-4$). При охолодженні коефіцієнт випрямлення K збільшується і складає максимальну величину при $250-260 \text{ K}$. Для фоточутливого елемента $n\text{-In}_4\text{Se}_3-p\text{-In}_4(\text{Se}_3)_{0,98}(\text{Te}_3)_{0,02}$ $K=9,2$ при 257 K (вимірювання проводилося в інтервалі температур $225 \div 293 \text{ K}$).

Спектральний розподіл ФЧ отриманих фоточутливих елементів досліджувався за допомогою установки на основі однопроменевого ІЧ-спектрометра. Випромінювання модулювалося з час-

тотою 370 Гц і фокусувалося на зразку лінзою з LiF . Приконтактні області екранувалися. Для низькотемпературних вимірів використовувався азотний кріостат з вікнами із CaF_2 . Вимірювання проводилися селективним мікрвольтметром у режимі генерації фото-е.р.с. Параметри фоточутливих елементів визначались на установці К54.410 із джерелом А при частоті модуляції випромінювання 800 Гц .

Фоточутливі елементи, виготовлені на основі отриманих РЕ гомо- і гетеропереходів з використанням кристалів In_4Se_3 , In_4Te_3 , $\text{In}_4(\text{Se}_3)_{1-x}\text{Te}_{3x}$, чутливі до ІЧ-випромінювання у спектральному діапазоні $1,0 \div 2,5 \text{ мкм}$ при кімнатній температурі (рис.1). Найбільший зсув ФЧ у довгохвильову область (до $\lambda=2,5 \text{ мкм}$), у порівнянні з фоторезисторами і фотоелементами на основі ПЕД із In_4Se_3 , спостерігається для гетеропереходів $p\text{-In}_4\text{Te}_3-n\text{-In}_4\text{Se}_3$. Спектральна залежність фото-е.р.с. у цьому випадку – більш складна з трьома максимумами: при $\lambda=1,4 \text{ мкм}$, $\lambda=1,8 \text{ мкм}$ і $\lambda=2,2 \text{ мкм}$ (дивись роботу [1]).

Вимірювання у кріостаті на установці К54.410 з джерелом випромінювання А дозволили визначити температурну залежність відношення сигналу фото-е.р.с. до напруги шуму. На рис.2 зображена температурна залежність відношення $V_c/V_{ш}$ для РЕ гетеропереходу, отриманого нанесенням на $p\text{-In}_4(\text{Se}_3)_{0,98}(\text{Te}_3)_{0,02}$ шару $n\text{-In}_4\text{Se}_3$ при різних напругах зміщення. Незначне охолодження

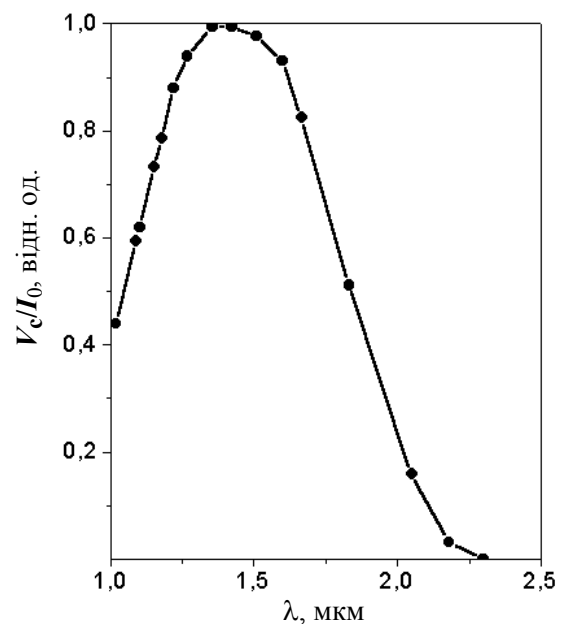


Рис.1. Спектральна залежність фоточутливості $p-n$ -переходу, отриманого РЕ $n\text{-In}_4\text{Se}_3$ на $p\text{-In}_4\text{Se}_3$.

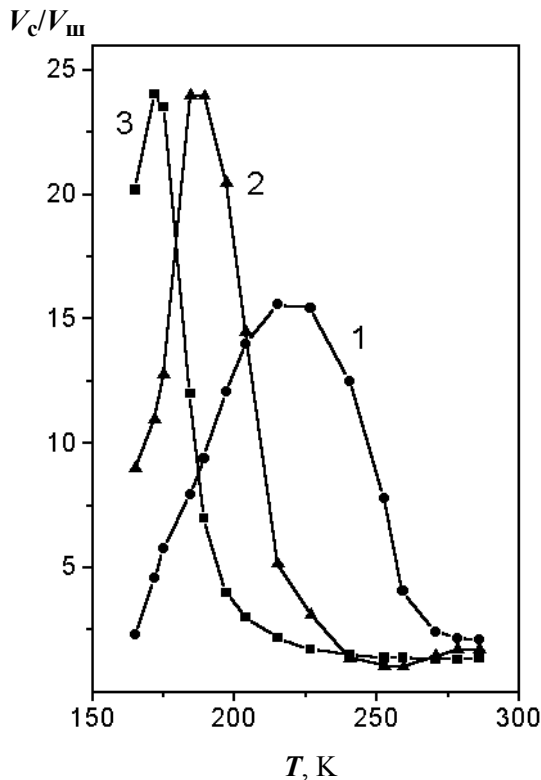


Рис.2. Температурна залежність відношення напруги сигналу фото-е.р.с. до напруги шуму для РЕ гетеропереходу, отриманого нанесенням шару $n\text{-In}_4\text{Se}_3$ на $p\text{-In}_4(\text{Se}_3)_{0,98}(\text{Te}_3)_{0,02}$, при різних напругах зміщення: 0 В (1), 2 В (2), 5 В (3).

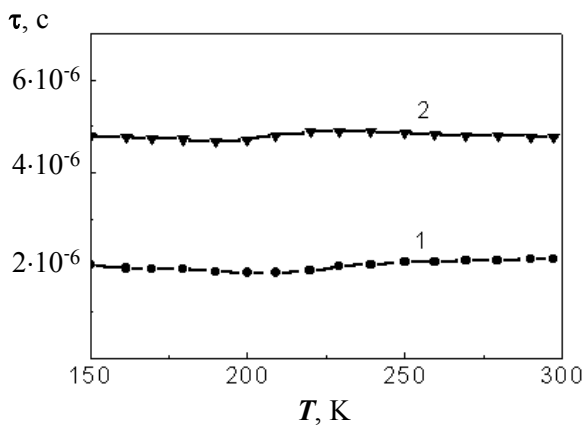


Рис.3. Температурна залежність часу наростання τ_n (1) і спаду фоточутливості $\tau_{сп}$ (2) для $p\text{-}n$ -переходу $n\text{-In}_4\text{Se}_3\text{-}p\text{-In}_4\text{Se}_3$.

приводить до зростання ФЧ більш ніж на порядок. Величина відношення $V_c/V_{ш}$ збільшується при зростанні напруги зміщення на $p\text{-}n$ -переході, проте для отримання максимального відношення потрібне охолодження до більш низької температури (рис.2, крива 3). В режимі генерації фото-е.р.с. максимальне значення $V_c/V_{ш}$ досягається при температурі 230 К, яку можливо отримати при використанні термоелектричного охолоджувача. Відзначимо, що для $p\text{-}n$ -переходів на основі CdSb , які чутливі приблизно у цьому ж спектральному діапазоні, отриманих за допомогою освітлення лазером, для досягнення такої чутливості необхідне охолодження до 90 К.

Постійні часу наростання і спаду фоточутливості вимірювались у температурному інтервалі 290÷150 К. Вони відрізняються малою величиною і незначною зміною із температурою (рис.3). Вимірювання проводилися при освітленні фотоелементів імпульсами тривалістю 20-30 мкс від світловода АЛ 107. Висока стійкість поверхні до дії навколишнього середовища дозволяє використовувати ФЕ без герметизації і без захисту поверхні. Для них характерна стабільність параметрів упродовж тривалого часу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Волянська Т.А., Мошкова Т.С., Огородник А.Д., Раренко І.М., Стребезев В.М. Особливості фотоелектричних властивостей анізотропних кристалів радіаційностійкої групи $\text{In}_4(\text{Se}_3)_{1-x}\text{Te}_{3x}$, пов'язані з умовами вирощування і структурою // Науковий вісник ЧДУ. Вип. 30: Фізика. - Чернівці: ЧДУ, 1998. - С.200-205.