

УДК 537.312

Л.В. Ящинський<sup>1</sup>, С.А. Федосов<sup>2</sup>, Ю.В. Коваль<sup>1</sup>,  
Д.А. Захарчук<sup>1</sup>, Л.В. Коваль<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Луцький національний технічний університет

<sup>2</sup>Волинський національний університет імені  
Лесі Українки

## **ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МОНОКРИСТАЛІВ АНТИМОНІДУ КАДМІЮ В ПОЛЯХ ЕФЕКТИВНОГО ЗОВНІШНЬОГО ВПЛИВУ**

*Досліджено вплив освітлення,  $\gamma$ -опромінення, електричного та магнітного полів, а також неоднорідностей в розподілі легуючих домішок на фізичні властивості монокристалів антимоніду кадмію. Виявлено, що наявність шарових періодичних неоднорідностей в напрямку росту кристала призводить до появи в даному напрямку градієнта питомого опору, а відповідно зумовлює утворення внутрішніх електричних полів. Відмічено вплив інтенсивності освітлення на величину порогових значень напруженості електричного поля. Виявлено різке збільшення значення рухливості носіїв заряду в  $\gamma$ -опроміненних монокристалах.*

Монокристали антимоніду кадмію, що використовуються у мікроелектроніці та приладобудуванні, суттєво змінюють свої фізичні характеристики під дією різних фізико - активних впливів, таких як механічні навантаження, швидкозмінні температурні режими, радіація, світло та інші. В свою чергу, наявність в об'ємі напівпровідників домішкових атомів та нерівномірність їх розподілу призводить до існування в реальних кристалах неоднорідностей за

електричними, рекомбінаційними, оптичними та іншими характеристиками.

Неоднорідності в кристалах бувають як стійкими (тобто органічно зв'язаними з ними), так і нестійкими, що виникають, наприклад, у результаті зовнішніх впливів у вигляді нерівномірних опроміньень, нагрівів, тисків і т. ін. Обидва різновиди неоднорідностей становлять інтерес як об'єкти досліджень не тільки тому, що реальні кристали, як правило, повністю не досконалі, а також і тому, що самі умови практичного використання напівпровідників (навіть якби вони були повністю однорідними у вихідному стані), як правило, пов'язані з необхідністю створення нестійких градієнтів їх властивостей шляхом неоднорідного освітлення, неоднорідного підігріву і т. ін. [1].

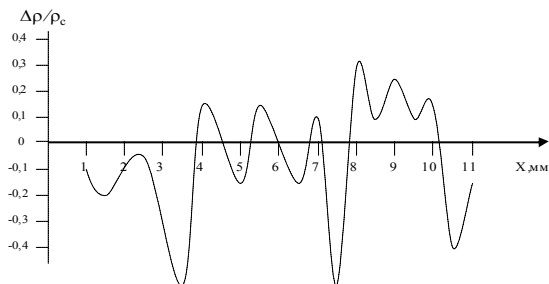
Саме тому метою нашої роботи було дослідити вплив освітлення,  $\gamma$ -опромінення, електричного та магнітного полів, а також неоднорідностей в розподілі легуючих домішок на кінетичні ефекти в монокристалах антимоніду кадмію. Для досягнення поставленої мети проводились вимірювання провідності, розподілу питомого опору по довжині зразків, ефекту Холла та ефекту перемикання з високоомного в низькоомний стан при різних фізико - активних впливах.

В ході досліджень виявлено вплив неоднорідностей в розподілі домішок  $In$  та  $Te$  на градієнти питомого опору в монокристалах  $CdSb$ . Зразки вирізались паралельно і перпендикулярно до осі росту кристала. Вимірювання проводились двоухондовим компенсаційним методом при кімнатній температурі. За результатами вимірювань побудовані експериментальні криві розподілу питомого опору по довжині зразків (рис. 1 та 2).

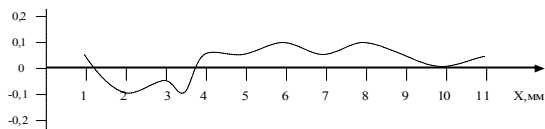
На одержаних залежностях  $\Delta\rho/\rho_c=f(X)$  для досліджуваних кристалів виявлено значно більші відносні відхилення питомого опору від середнього значення  $\rho_c$  у

зразках, вирізаних вздовж осі росту кристала, ніж у зразках, вирізаних перпендикулярно до даної осі.

Різкі зміни градієнтів питомого опору  $\Delta\rho$  в напрямі росту кристала пояснюються існуванням в даному напрямі значних градієнтів концентрації носіїв заряду  $\Delta n$ .



$\Delta\rho/\rho_c$  а)

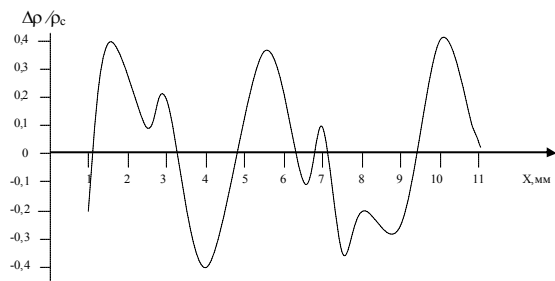


б)

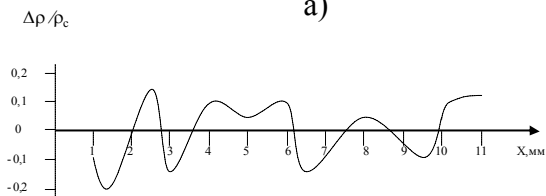
Рис. 1. Відносні відхилення питомого опору від середнього значення для зразків  $CdSb(In)$ , вирізаних: а) паралельно; б) перпендикулярно до осі росту кристала

Відомо [2], що наявність градієнта концентрації носіїв заряду  $\Delta n$  в деякому напрямі, а відповідно і градієнта питомого опору  $\Delta\rho$ , може призводити до утворення внутрішнього електричного поля. Наявність внутрішніх електричних полів між шарами росту в монокристалах  $CdSb(Te)$  виявлена нами при дослідженні ефекту перемикування з високоомного в низькоомний стан. При цьому знімалися ВАХ при температурі 77 К для

зразків, вирізаних паралельно (І група) і перпендикулярно до осі росту кристала (ІІ група), при різних інтенсивностях освітлення.



а)

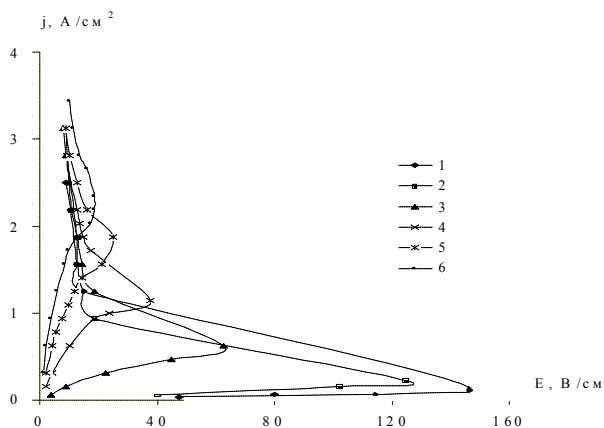


б)

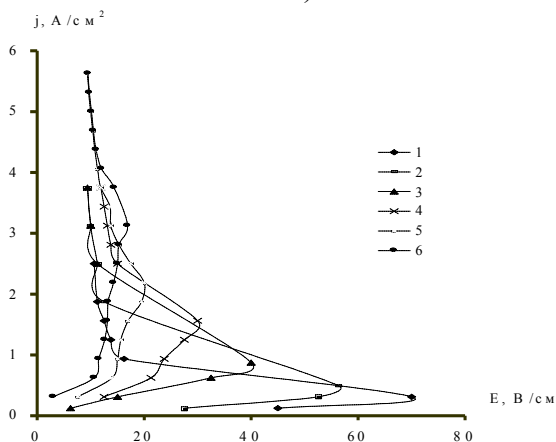
Рис. 2. Відносні відхилення питомого опору від середнього значення для зразків CdSb(Te), вирізаних: а) паралельно; б) перпендикулярно до осі росту кристала

За одержаними експериментальними даними розраховувалися залежності густини струму від напруженості електричного поля ( $j = f(E)$ ) (рис. 3). Необхідно зазначити, що для неосвітлених зразків обох груп зростання напруженості електричного поля відбувається до значень, при яких джоулева теплота, що виділяється на зразках, стає достатньою для іонізації донорного рівня телуру  $E_c - 0,12 \text{ eV}$ . При цьому відбувається лавиноподібний перехід електронів у зону провідності, що приводить до стрибка густини струму.

Із зростанням інтенсивності освітлення, як для зразків вирізаних паралельно (рис. 3, а), так і перпендикулярно до осі росту кристала (рис. 3, б), спостерігалось зменшення



а)



б)

Рис. 3. Залежності  $j=f(E)$  при 77 К для зразків CdSb(Te), вирізаних паралельно (а) та перпендикулярно (б) до осі росту кристала, при різній інтенсивності освітлення  $I$ , відн.од.: 1 – 0; 2 – 0,25; 3 – 0,5; 4 – 1; 5 – 2; 6 – 4

порогових величин напруженості електричного поля, що пов'язується із зростаючою фотоіонізацією домішкового рівня телуру. Зростання фотоструму дозволяє досягнути необхідного для розігріву зразка значення густини струму при менших електричних полях.

Виявлено суттєву різницю порогових значень напруженості електричного поля для зразків з різних груп. Порогові значення напруженості електричного поля у зразках, вирізаних паралельно до осі росту кристала, приймають набагато більші значення, ніж у зразках, вирізаних перпендикулярно до даної осі. Це пов'язується з існуванням внутрішніх електричних полів між шарами росту кристала.

Необхідно також зауважити, що зростання інтенсивності освітлення призводить до поступового наближення порогових значень напруженості поля в зразках першої групи до значень напруженості для зразків другої групи, що може бути пов'язано зі зміною (при освітленні) амплітуди ( $\delta$ ) потенціального рельєфу, утвореного шаруватими періодичними неоднорідностями в напрямі росту кристала.

Згідно [3], амплітуда потенціального рельєфу рівна:

$$\delta = \frac{e^2 \cdot N_{\text{д}}^{\frac{2}{3}}}{\chi \cdot n_{\text{екр}}^{\frac{1}{3}}}, \quad (1)$$

де  $\chi$  - діелектрична проникність,  $n_{\text{екр}}$  і  $N_{\text{д}}$  - концентрації екрануючих носіїв заряду і заряджених дефектів відповідно.

З виразу (1) слідує, що при збільшенні концентрації екрануючих носіїв заряду  $n_{\text{екр}}$ , яке, в свою чергу, зумовлюється фотоіонізацією домішкового рівня телуру при освітленні, амплітуда потенціального рельєфу зменшуватиметься, що і спостерігається на досліді.

Окрім того, нами проведено дослідження впливу  $\gamma$ -опромінення на явища переносу в монокристалах

антимоніду кадмію. Зокрема, з приведених на рис. 4 залежностей концентрації носіїв заряду від дози опромінення в монокристалах  $CdSb(In)$  видно, що при кімнатній температурі зміни концентрації практично відсутні (рис. 4, а, залежність 1), проте при азотних температурах (рис. 4, а, залежність 2) концентрація носіїв заряду різко зменшується зі збільшенням дози опромінення, тобто відбувається видалення електронів з зони провідності, що спричиняється утворенням радіаційних дефектів з глибокими рівнями в забороненій зоні кристала. З аналізу температурних залежностей концентрації носіїв заряду  $n=f(10^3/T)$  в опроміненіх кристалах  $CdSb(In)$  знайдено, що за видалення носіїв відповідає енергетичний рівень  $E_c - 0,3 \text{ eV}$ .

Існує припущення, що будь-які порушення ґратки (що виникають, наприклад, при  $\gamma$ -опроміненні), які зумовлюють появу точкових центрів протилежної зарядності (по відношенню до іонних залишків) в межах взаємодії кулонівських перерізів розсіяння розглядуваних центрів, можуть призводити до зростання рухливості. Правильність даного припущення експериментально доведена на кристалах кремнію [4]. Тому природно у нас виникло бажання дослідити вплив дози  $\gamma$ -опромінення на рухливість носіїв заряду ( $\mu=f(\Phi)$ ) в монокристалах антимоніду кадмію.

Експериментально виявлено наявність максимумів на залежностях  $\mu=f(\Phi)$  (рис. 4, б) при дозі  $\Phi \sim 4 \cdot 10^{18} \text{ кв/см}^2$ . Для пояснення даного явища запропонована наступна модель, а саме: спостережуване збільшення рухливості носіїв заряду пов'язується з радіаційним введенням акцепторних (від'ємно заряджених) центрів "нейтралізації", які генеруються поблизу додатньо заряджених іонів домішки (в даному випадку  $In$ ), де ймовірність їх виникнення вища із-за мікроскопічних

механічних напружень ґратки поблизу домішкових центрів, в результаті чого і відбувається часткова нейтралізація іонів домішки, що й приводить в кінцевому рахунку до зниження розсіяння на частково нейтралізованих центрах.

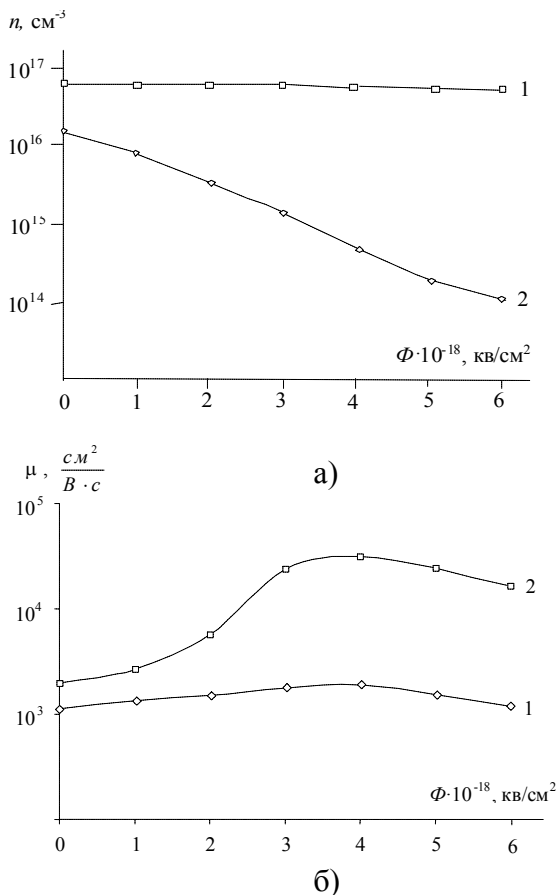


Рис. 4. Дозові залежності концентрацій (а) та рухливості (б) носіїв заряду в монокристалах CdSb(In): 1 – T = 293 К; 2 – T = 77 К



Таке пояснення може мати місце у зв'язку з тим, що ймовірність появи радіаційних дефектів в механічно напружених областях кристала суттєво вища, ніж для ненапружених областей. Тому природно чекати, що при малих дозах опромінення введення дефектів відбувається переважно в локально напружених областях ґратки, тобто поблизу атомів легуючої домішки.

При подальшому збільшенні дози опромінення ( $\Phi > 4 \cdot 10^{18}$  кв/см<sup>2</sup>) починає проявлятися розсіювання на радіаційних дефектах, яке не тільки обмежує ріст, але і зменшує значення рухливості (рис. 4, б).

Крім того, необхідно відмітити факт відносно незначних змін  $\mu$  зі збільшенням дози опромінення при кімнатній температурі (рис. 4, б, крива 1) порівняно зі зміною  $\mu$  при 77 К (рис. 4, б, крива 2). Така поведінка залежності  $\mu=f(\Phi)$  в даному випадку, на нашу думку, пояснюється тим, що при більш високих температурах радіаційні дефекти іонізовані та практично не створюють нейтралізаційного впливу на іони домішки.

Таким чином, в результаті проведених в даній роботі досліджень ми прийшли до наступних висновків:

1. Наявність шарових періодичних неоднорідностей в напрямку росту монокристалів *CdSb* призводить до появи в даному напрямку градієнта питомого опору, а відповідно зумовлює утворення внутрішніх електричних полів.

2. Суттєва різниця порогових значень напруженості електричного поля перемикаання із високоомного в низькоомний стан для зразків з різних груп при однакових умовах підтверджує існування компенсуючих електричних полів між шарами росту.

3. Із збільшенням інтенсивності освітлення відбувається зменшення порогових значень напруженості електричного поля, що пов'язується із зростаючою фотоіонізацією домішкового рівня телуру.

4. В монокристалах  $CdSb$ , легованих індієм, при невеликих дозах опромінення спостерігається збільшення значення рухливості носіїв заряду, що пояснюється зниженням ефективності розсіяння носіїв заряду на домішкових юнних залишках при частковій нейтралізації заряду протилежним за знаком зарядом радіаційних дефектів.

Вивчення даних особливостей створює передумови для врахування згаданих вище ефектів при конструюванні різного роду напівпровідникових приладів, а також забезпечить реальні шляхи мінімізації проявів цих ефектів там, де вони можуть виявитись досить небажаними.

### **Література:**

1. Баранський П. І. Неоднорідності напівпровідників і актуальні задачі міждефектної взаємодії в радіаційній фізиці і нанотехнології / П. І. Баранський, А. В. Федосов, Г. П. Гайдар. – Луцьк : Надстир'я, 2007. – 323 с.

2. Семенюк А. К. Радіаційні ефекти в багатодолинних напівпровідниках / А. К. Семенюк. – Луцьк : Надстир'я, 2001. – 323 с.

3. Шкловский Б.И. Примесная зона и проводимость компенсированных полупроводников / Б.И. Шкловский, А.Л. Эфрос // ЖЭТФ. – 1971. – Т. 60, № 4. – С. 867–878.

4. Видалко Е.Н. Подвижность носителей тока в гамма-облученных кристаллах кремния / Е.Н. Видалко, Г.П. Гайдар, В.А. Гирий // Изв. АН СССР. Неорганические материалы. – 1986. – Т. 22. – С. 533–535.