

SENSOR MATERIALS

МАТЕРІАЛИ ДЛЯ СЕНСОРІВ

PACS 61.43.Dg, 75.50.Pp, 75.60Ej; УДК 544.22, 537.623

ТОПОЛОГІЯ ПОВЕРХНІ ТОНКОЇ ОКСИДНОЇ ПЛІВКИ ZnCdO ГЕТЕРОПЕРЕХОДУ n-ZnCdO–p-GaSe

З. Д. Ковалюк¹, В. М. Катеринчук¹, З. Р. Кудринський¹, Б. В. Кушнір¹, В. В. Хомяк²

¹Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України,
Чернівецьке відділення, вул. І. Вільде, 5, Чернівці, 58001,
E-mail: chimsp@ukrpost.ua

²Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича,
вул. Коцюбинського, 2, Чернівці, 58012

ТОПОЛОГІЯ ПОВЕРХНІ ТОНКОЇ ОКСИДНОЇ ПЛІВКИ ZnCdO ГЕТЕРОПЕРЕХОДУ n-ZnCdO–p-GaSe

З. Д. Ковалюк, В. М. Катеринчук, З. Р. Кудринський, Б. В. Кушнір, В. В. Хомяк

Анотація. Методом високочастотного магнетронного напилення вперше створено гетероструктуру n-Zn_{0.5}Cd_{0.5}O–p-GaSe. Досліджено топологію поверхні тонкої оксидної плівки Zn_{0.5}Cd_{0.5}O, що сформована на свіжосколотій ван-дер-ваальсовій поверхні шаруватого кристалу GaSe. Встановлена область спектральної чутливості гетероструктури. Методом АСМ-зображень виявлено, що в плівці Zn_{0.5}Cd_{0.5}O формуються наскрізні канали різної топології і розмірів, які істотно впливають на шунтуючі опори гетеропереходу.

Ключові слова: селенід галію, ZnCdO, тонка плівка, гетероперехід, АСМ зображення, фотопровідність

THE TOPOLOGY OF THE SURFACE OF ZnCdO THIN OXIDE FILM OF n-ZnCdO–p-GaSe HETEROJUNCTION

Z. D. Kovalyuk, V. M. Katerynychuk, Z. R. Kudrynskyi, B. V. Kushnir, V. V. Khomyak

Abstract. Heterostructure n-Zn_{0.5}Cd_{0.5}O–p-GaSe was prepared by the method of high-frequency magnetron sputtering for the first time. Topology of surface of Zn_{0.5}Cd_{0.5}O thin oxide film formed on freshly cleaved van der Waals surface of GaSe layered crystal was investigated. Sensitivity spectral areas was identified. The method of AFM images has revealed that Zn_{0.5}Cd_{0.5}O thin oxide film has through channels of different topologies and sizes that significantly influence on the heterojunction shunt resistances.

Keywords: gallium selenide, ZnCdO, thin film, heterojunction, AFM images, photoconductivity

ТОПОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТИ ТОНКОЙ ОКСИДНОЙ ПЛЕНКИ ZnCdO ГЕТЕРОПЕРЕХОДА n-ZnCdO–p-GaSe

З. Д. Ковалюк, В. Н. Катеринчук, З. Р. Кудринский, Б. В. Кушнир, В. В. Хомяк

Аннотация. Методом высокочастотного магнетронного напыления впервые создано гетероструктуру n-Zn_{0.5}Cd_{0.5}O–p-GaSe. Исследовано топологию поверхности тонкой оксидной пленки Zn_{0.5}Cd_{0.5}O, которая сформирована на свежесколотой ван-дер-ваальсовой поверхности слоистого кристалла GaSe. Установлена область спектральной чувствительности гетероструктуры. Методом АСМ-изображений обнаружено, что в пленке Zn_{0.5}Cd_{0.5}O формируются сквозные каналы различной топологии и размеров, которые существенно влияют на шунтирующие сопротивления гетероперехода.

Ключевые слова: селенид галлия, ZnCdO, тонкая пленка, гетеропереход, АСМ-изображение, фотопроводимость

Вступ

Шаруваті напівпровідникові кристали типу А³В⁶, до яких належить моноселенід галію (GaSe), мають анізотропні властивості, які обумовлені наявністю двох видів зв'язків між атомами в кристалі. Інтерес до вивчення шаруватих кристалів пов'язаний з можливістю керувати їхніми фізичними властивостями за допомогою процесу інтеркаляції. Характерною особливістю шаруватих кристалів є можливість отримання шляхом сколу поверхні з малою кількістю обірваних зв'язків, що дозволяє використовувати моноселенід галію в якості підкладки при виготовленні різного роду діодних структур шляхом нанесення тонких плівок [1, 2].

ZnO і CdO - оксиди металів з напівпровідниковими властивостями, що прозорі в ши-

рокій області спектра (E_g = 3,4 еВ для ZnO і 2,6 еВ для CdO при T = 300K) та практично застосовуються в різних фоточутливих приладах: як широкозонний шар (вікно) в сонячних елементах, як детектори ультрафіолетового випромінювання, як прозорі контакти та ін [3, 4].

Створення твердих розчинів на основі оксиду цинку та оксиду кадмію дозволяє контролювано змінювати фізичні властивості і ширину забороненої зони тонких плівок для підвищення ефективності роботи в різних спектральних діапазонах [5].

У зв'язку з цим велика увага приділяється створенню та вивченню властивостей тонких плівок твердих розчинів Zn_xCd_{1-x}O. Відомо, що при збільшенні вмісту цинку у твердих розчинах Zn_xCd_{1-x}O відбувається збільшення

ширини забороненої зони. Ця особливість дозволяє розширити спектральну область фоточутливості сонячних елементів в сторону коротких хвиль.

Методика експерименту

Монокристали GaSe р-типу вирощували методом Бріджмена з розплаву стехіометричного складу. Кристали моноселеніду галію володіли яскраво вираженою шаруватою структурою, концентрація основних носіїв заряду і рухливість, перпендикулярна осі симетрії, складала $n = 10^{14} \text{ см}^{-3}$ та $\mu = 20 \text{ см}^2/(\text{В}\times\text{с})$ відповідно.

Плівки $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{O}$ були напилені на ван-дер-ваальсові поверхні GaSe методом високочастотного магнетронного розпилення за методикою, що описана в роботі [6].

Дослідження поверхневої топології тонких плівок $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{O}$ проводили методом атомно-силової мікроскопії (АСМ) на обладнанні Nanoscope IIIa Dimension 3000 SPM (Digital Instruments, USA).

Вимірювання спектрів фотовідгуку проводилось за допомогою монохроматора МДР-3 з роздільною здатністю 2,6 нм/мм. Спектральний розподіл відносної квантової ефективності фотоструму визначався відношенням фотоструму до числа падаючих фотонів і нормування до одиниці.

Результати та їх обговорення

Результати дослідження топології поверхні плівки окислу на поверхні GaSe зображені на рис. 1.

Світлі плями цього рисунка відображають сформовані острівці оксиду. Вони свідчать про різну взаємодію молекул напівпровідника і молекул оксиду, що призводить до виникнення приграничних деформаційних сил. В результаті цієї взаємодії не відбувається повного змочування однієї речовини на поверхні іншої.

Як видно з рис. 1 при збільшенні розмірів острівців оксиду відбувається їх злиття. Причому в плівці залишаються наскрізні канали різної топології і розмірів. Важливість таких досліджень полягає в тому, що ці канали можуть істотно впливати на шунтуючі струми гетеропереходу і визначати вид їх вольт-амперної характеристики. Для усунення різного роду каналів необхідні додаткові технологічні методи гомогенізації оксиду. Одним із методів впливу на структурні властивості плівок є їх відпал. Внаслідок зміни властивостей плівок, зокрема зменшення каналів закорочування на гетеромежі, можна впливати на величину шунтуючих струмів. З цією метою нами проводився відпал зразків гетеропереходів у вакуумі при температурі 150°C впродовж 4 годин.

На рис. 2 представлено двовимірне АСМ-зображення оксиду на поверхні GaSe і вертикальний профіль довільного перерізу дослідженої поверхні. Видно, що Z-розміри не перевищують 2 нм, а саме перетин нагадує чергування горбків і кратерів з латеральними розмірами, рівними 100 - 150 нм. Ці нерівності поверхні формують її шорсткість і можна зробити висновок, що шорсткість плівки незначна і близька до атомних розмірів.

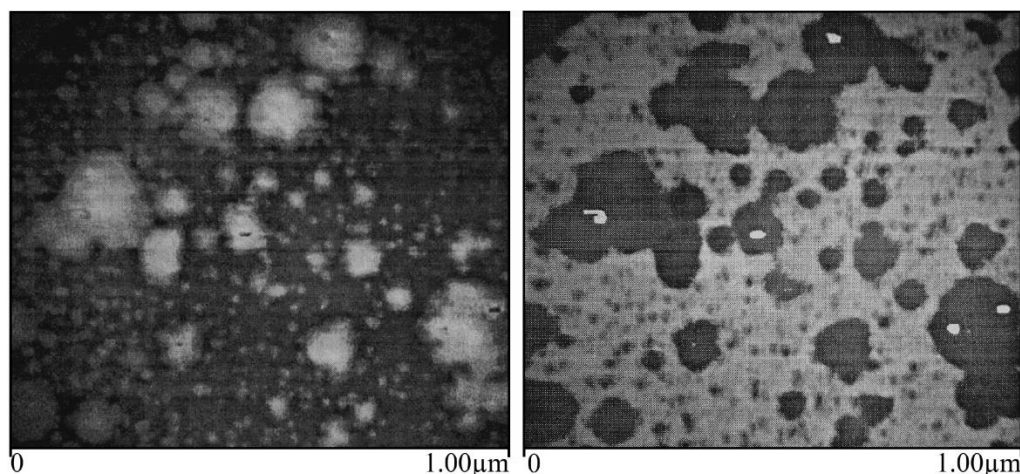


Рис. 1. Топологія поверхні плівки $\text{Zn}_{0.5}\text{Cd}_{0.5}\text{O}$ на поверхні GaSe.

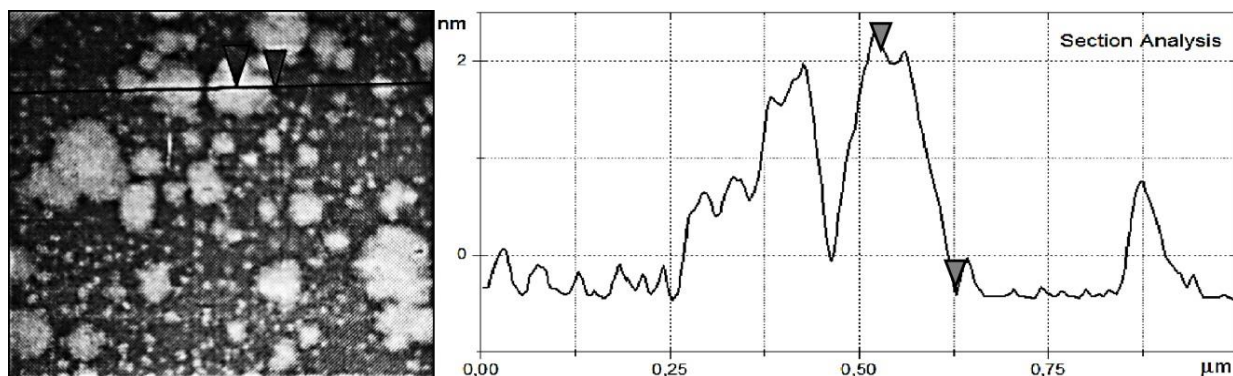


Рис. 2. АСМ-зображення плівки $Zn_{0.5}Cd_{0.5}O$ на поверхні GaSe і вертикальний профіль довільного перерізу дослідженої поверхні.

На рис. 3 представлена спектральна фоточутливість гетероструктури $n-Zn_{0.5}Cd_{0.5}O-p-GaSe$. Видно, що вона обмежена з двох сторін і відповідає поглинанню світла в шаруватому кристалі GaSe ($E_g = 2,0$ eV) і більш широкому $Zn_{0.5}Cd_{0.5}O$, що є характерним для форми спектрів гетеропереходів.

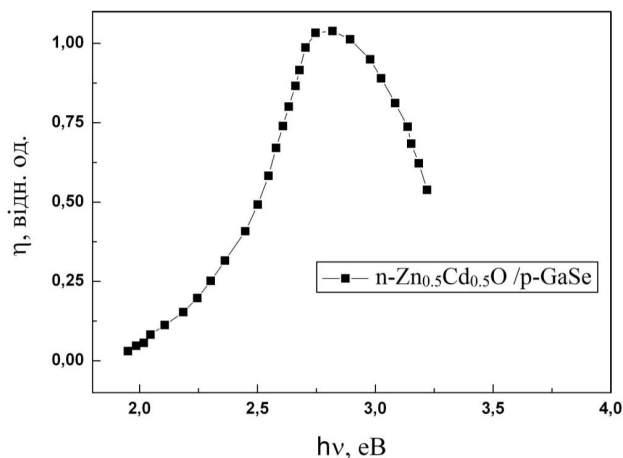


Рис. 3. Спектральна фоточутливість гетероструктури $n-Zn_{0.5}Cd_{0.5}O-p-GaSe$.

Висновки

Плівки $Zn_{0.5}Cd_{0.5}O$ були напилені на ван-дер-ваальсовій поверхні кристалів GaSe методом височастотного магнетронного розпилення.

Методом АСМ-зображень виявлено, що в плівці $Zn_{0.5}Cd_{0.5}O$ формуються наскрізні канали різної топології і розмірів, що свідчать про складний характер змочування підкладки. З профілю довільного перерізу виявлено, що латеральні розміри нерівностей становлять 100

– 150 нм та Z-розміри рівні 2 нм, тобто шорсткість поверхні незначна.

Показано, що спектральна фоточутливість $n-Zn_{0.5}Cd_{0.5}O-p-GaSe$ є характерною для форми спектрів гетеропереходів.

Список використаної літератури

- [1]. K.D. Tovstyuk. Poluprovodnykove materiyalovedenye. «Naukova dumka», K. 264 s. (1987).
- [2]. Z.D. Kovalyuk. Osobennosty fizycheskykh svoystv sloystykh krystallov// Fizycheskye osnovy poluprovodnykovo materiyalovedenyya. «Naukova dumka», K. 7 s. (1986).
- [3]. C. Jagadish, S.J. Pearton. Zinc Oxide bulk, thin films and nanostructures: processing, properties and applications. Elsevier, Amsterdam. (2006).
- [4]. I.I. Shteplyuk, H.V. Lashkar'ov, V.Y. Lazorenko, A.I. Yevtushenko. Tekhnolohichni ta materialoznavchi aspekty stvorennya svitlodiodiv na osnovi ZnO// PCSS 11 (2), 277 (2010).
- [5]. Z.R. Kudrynskyi, Z.D. Kovalyuk, V.M. Katerynchuk, V.V. Khomyak, I.G. Orletsky, V.V. Netyaga. Fabrication and Characterization of Photosensitive $n-CdO/p-InSe$ Heterojunctions. Acta Phys. Pol. A 124, 720 (2013).
- [6]. V.V. Brus, M.I. Plashchuk, V.V. Khomyak, Z.D. Kovalyuk, P.D. Maryanchuk, K.S. Ulyanytsky. Electrical properties of anisotype heterojunctions $n-CdZnTe/pCdTe$ // Semiconductors, 46 (9), pp. 1152-1157 (2012).

Стаття надійшла до редакції 14.05.2015 р.

ІНФОРМАЦІЯ ДЛЯ АВТОРІВ. ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ У ЖУРНАЛ

Журнал «Сенсорна електроніка і мікросистемні технології» публікує статті, короткі повідомлення, листи до Редакції, а також коментарі, що містять результати фундаментальних і прикладних досліджень, за наступними напрямками:

1. Фізичні, хімічні та інші явища, на основі яких можуть бути створені сенсори
2. Проектування і математичне моделювання сенсорів
3. Сенсори фізичних величин
4. Оптичні, оптоелектронні і радіаційні сенсори
5. Акустoeлектронні сенсори
6. Хімічні сенсори
7. Біосенсори
8. Наносенсори (фізика, матеріали, технологія)
9. Матеріали для сенсорів
10. Технологія виробництва сенсорів
11. Сенсори та інформаційні системи
12. Мікросистемні та нанотехнології (MST, LIGA-технологія та ін.)
13. Деградація, метрологія і сертифікація сенсорів

Журнал публікує також замовлені огляди з актуальних питань, що відповідають його тематиці, поточну інформацію — хроніку, персоналії, платні рекламні повідомлення, оголошення щодо конференцій.

Основний текст статті повинен відповідати вимогам Постанови Президії ВАК України від 15.01.2003 р. №7-05/1 (Бюлетень ВАК України 1, 2003 р.) і бути структурованим. Матеріали, що надсилаються до Редакції, повинні бути написані з максимальною ясністю і чіткістю викладу тексту. У поданому рукописі повинна бути обґрунтована актуальність розв'язуваної задачі, сформульована мета дослідження, міститися оригінальна частина і висновки, що забезпечують розуміння суті отриманих результатів і їх новизну. Автори повинні уникати необґрунтованого введення нових термінів і вузькопрофільних жаргонних висловів.

Редакція журналу просить авторів при направленні статей до друку керуватися наступними правилами:

1. Рукописи повинні надсилатися у двох примірниках українською, або російською, або англійською мовою і супроводжуватися файлами тексту і малюнків на CD. Рукописи, які пропонуються авторами з України або країн СНД до видання англійською мовою обов'язково доповнюються україномовною або російськомовною версією. Електронна копія може бути надіслана електронною поштою.

2. Прийнятні формати тексту: MS Word (rtf, doc).

3. Прийнятні графічні формати для рисунків: EPS, TIFF, BMP, PCX, WMF, MS Word і MS Graf, JPEG. Рисунки створені за допомогою програмного забезпечення для математичних і статистичних обчислень, повинні бути перетворені до одного з цих форматів.

4. На статті авторів з України мають бути експертні висновки про можливість відкритого друку.

Рукописи надсилати за адресою:

Лепіх Ярослав Ілліч, Заст. гол. редактора,
Одеський національний університет імені І. І. Мечникова, МННФТЦ (НДЛ-3),
вул. Дворянська, 2, Одеса, 65082, Україна.

Телефон / факс +38(048) 723-34-61,

E-mail: semst-journal@onu.edu.ua,

http://www.semst.onu.edu.ua

Здійснюється анонімне рецензування рукописів статей.

Правила підготовки рукопису:

Рукописи повинні супроводжуватися офіційним листом, підписаним керівником установи, де була виконана робота. Це правило не стосується робіт представлених авторами із закордону чи міжнародними групами авторів.

Авторське право переходить Видавцю.

Титульний аркуш:

1. PACS і Універсальний Десятковий Код Класифікації (УДК) (для авторів із країн СНД) — у верхньому лівому куті. Допускається декілька відділених комами кодів. Якщо ніякі коди класифікації не позначені, код(и) буде(-уть) визначено Редакційною Колегією.

2. Назва роботи (по центру, прописними літерами, шрифт 14pt, жирно).

3. Прізвище (-а) автора(-ів) (по центру, шрифт 12pt).

4. Назва установи, повна адреса, телефони і факси, e-mail для кожного автора, нижче, через один інтервал, окремим рядком (по центру, шрифт 12pt).

5. Анотація: до 1000 символів.

6. Ключові слова: їхня кількість не повинна перевищувати восьми слів. В особливих випадках можна використовувати терміни з двома — чи трьома словами. Ці слова повинні бути розміщені під анотацією і написані тією самою мовою.

П.п. 2,3,4,5,6 послідовно викласти українською, англійською і російською мовами.

Для авторів з закордону, які не володіють українською або російською мовами, пп. 2-5 викладаються англійською мовою.

7. До кожного примірника статті додаються реферати українською / російською (в залежності від мови оригіналу статті), та англійською мовами (кожен реферат на окремому аркуші). Особливу увагу слід приділяти написанню резюме статті англійською мовою. Для цього доцільно користуватися послугами кваліфікованих спеціалістів-лінгвістів з подальшим науковим редагуванням тексту автором(-ами). Перед словом «реферат» необхідно написати повну назву статті відповідною мовою, УДК, прізвища та ініціали авторів, назви установ. Реферат обсягом 200-250 слів має бути структурованим: мета (чітко сформульована), методи дослідження, результати дослідження (стисло),

узагальнення або висновки. Після тексту реферату з абзацу розміщуються ключові слова.

8. Текст статті повинен бути надрукований через 1,5 інтервали, на білому папері формату А4. Поля: зліва - 3см, справа - 1,5см, вверху і знизу - 2,5см. Шрифт 12pt. Підзаголовки, якщо вони є, повинні бути надруковані прописними літерами, жирно.

Рівняння повинні бути введені, використовуючи MS Equation Editor або MathType. Роботи з рукописними вставками не приймаються. Таблиці повинні бути представлені на окремих аркушах у форматі відповідних текстових форматів (див. вище), чи у форматі тексту (з колонками, відділеними інтервалами, комами, крапкам з комою, чи знаками табулювання).

9. У кінці тексту статті указати прізвища, імена та по батькові усіх авторів, поштову адресу, телефон, факс, e-mail (для кореспонденції).

10. Список літератури повинен бути надрукований через 1,5 інтервали, з літературою, пронумерованою в порядку її появи в тексті. Бібліографія друкується лише латиницею (кирилиця подається в транслітерації). Порядок оформлення літератури повинен відповідати вимогам ВАК України, наприклад:

[1]. I.M. Cidilkov skii. *Elektrony i dyrki v poluprovodnikah*. Nauka, M. 450 s. (1972).

[2]. J.A. Hall. *Imaging tubes*. Chap. 14 in *The Infrared Handbook*, Eds. W.W. Wolfe, G.J. Zissis, pp. 132-176, ERIM, Ann Arbor, MI (1978).

[3]. N. Blutzer, A.S. Jensen. *Current readout of infrared detectors // Opt. Eng.*, 26(3), pp. 241-248 (1987).

11. Підписи до рисунків і таблиць повинні бути надруковані в рукописі з двома пробілами після списку літератури. Виносок, якщо можливо, бажано уникати.

Приймаються тільки високоякісні рисунки. Написи і символи повинні бути надруковані усередині рисунку. Негативи, слайди, і діапозитиви не приймаються.

Кожен рисунок повинен бути надрукований на окремому аркуші і мати розмір, що не перевищує 160x200 мм. Для тексту на рисунках використовуйте шрифт 10pt. Одиниці виміру повинні бути позначені після коми (не в круглих дужках). Усі рисунки повинні бути пронуме-

ровані в порядку їх появи в тексті, з частинами позначеними як (а), (б), і т.д. Розміщення номерів рисунків і напису усередині малюнків не дозволяються. Зі зворотної сторони, напишіть олівцем назву, прізвище(а) автора(-ів), номер малюнка і позначте верх стрілкою.

Фотографії повинні бути оригінальними. Кольоровий друк можливий, якщо його вартість сплачується авторами чи їх спонсорами.

12. Стаття має бути підписана автором (усіма авторами) з зазначенням дати на останній сторінці.

Автори несуть повну відповідальність за бездоганне мовне оформлення тексту, особливо за правильну наукову термінологію (її слід звіряти за фаховими термінологічними словниками).

13. Датою надходження статті вважається день, коли до редколегії надійшов остаточний варіант статті після рецензування.

Після одержання коректури статті автор повинен виправити лише помилки (чітко, синьою або чорною ручкою неправильно закреслити, а поряд з цим на полі написати правильний варіант) і терміново відіслати статтю на адресу редколегії електронною поштою.

Підпис автора у кінці статті означає, що автор передає права на видання своєї статті редакції. Автор гарантує, що стаття оригінальна; ні стаття, ні рисунки до неї не були опубліковані в інших виданнях.

Відхилені статті не повертаються.