

УДК.621.315.592

ОПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТОНКИХ ПЛІВОК $Cd_xZn_{1-x}O$, ВИРОЩЕНИХ ВИСОКОЧАСТОТНИМ МАГНЕТРОННИМ РОЗПИЛЮВАННЯМ

В. В. Хомяк⁺, М. М. Сльотов⁺⁺, О. М. Сльотов⁺⁺⁺

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича,
м. Чернівці, вул. Коцюбинського 2, 0(37)2244221
⁺v.khomyak@chnu.edu.ua, ⁺⁺mslyota@mail.ru, ⁺⁺⁺lslyota@rambler.ru

ОПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТОНКИХ ПЛІВОК $Cd_xZn_{1-x}O$, ВИРОЩЕНИХ ВИСОКОЧАСТОТНИМ МАГНЕТРОННИМ РОЗПИЛЮВАННЯМ

В. В. Хомяк, М. М. Сльотов, О. М. Сльотов

Анотація. Наводяться результати досліджень оптичного пропускання і відбивання тонких плівок $Cd_xZn_{1-x}O$. Використано метод λ -модуляції з метою виявлення особливостей енергетичної структури $Cd_xZn_{1-x}O$ в центрі зони Бріллюена.

Ключові слова: тонкі плівки $Cd_xZn_{1-x}O$, магнетронне розпилення, оптичне пропускання, оптичне відбивання, λ -модуляція

OPTICAL PROPERTIES OF $Cd_xZn_{1-x}O$ THIN FILMS, GROWTH BY HIGHFREQUENCY MAGNETRON SPUTTERING

V. V. Khomyak, M. M. Slyotov, O. M. Slyotov

Abstract. The results of $Cd_xZn_{1-x}O$ thin films optical transmission and reflection are examined. λ -modulation method was used. The energy structure peculiarities of $Cd_xZn_{1-x}O$ thin films in center Brilluen zone were determined.

Keywords: $Cd_xZn_{1-x}O$ thin films, magnetron sputtering, optical transmission, optical reflection, λ -modulation

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЁНОК $Cd_xZn_{1-x}O$, ВЫРАЩЕННЫХ ВЫСОКОЧАСТОТНЫМ МАГНЕТРОННЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ

В. В. Хомяк, М. М. Слёттов, О. М. Слёттов

Аннотация. Приведены результаты исследований оптического пропускания и отражения тонких плёнок $Cd_xZn_{1-x}O$. Использован метод λ -модуляции с целью установления особенностей энергетической структуры $Cd_xZn_{1-x}O$ в центре зоны Бриллюэна.

Ключевые слова: тонкие плёнки $Cd_xZn_{1-x}O$, магнетронное распыление, оптическое пропускание, оптическое отражение, λ -модуляция

В теперішній час велика увага дослідників приділяється створенню і дослідженню тонких плівок твердих розчинів $Cd_xZn_{1-x}O$. Це зумовлено перспективністю їх практичного використання в різних пристроях функціональної електроніки — оптоелектроніка, фотоелектро-

ніка, спінтроніка, а також для створення активних і пасивних елементів сенсорних систем. Вирощування плівок з різним вмістом оксиду цинку і кадмію дозволяє ефективно керувати шириною забороненої зони, а отже істотно розширити функціональні можливості напів-

провідникових пристроїв. Проведений аналіз літературних результатів свідчить про багаточисельність методів, що використовуються для формування тонких плівок $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$, які за своїми структурними, електричними і оптичними параметрами істотно відрізняються одна від одної [1,2,3]. Тому актуальним залишається як проблема вдосконалення технології вирощування плівок твердих розчинів $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$, так і дослідження їх властивостей з використанням сучасних експериментальних методик.

Вирощування тонких плівок $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$ проводилося на сапфірові підкладки на промисловій установці ВУП-5 М методом високочастотного розпилювання з використанням аргону як робочого газу. Для розпилювання використовувалися мішені, які виготовлялися у вигляді дисків круглого перерізу діаметром 40 мм із дрібнодисперсних порошоків оксиду цинку і оксиду кадмію. Тиск Ar в робочій камері становив $\sim 0,1$ Па. Відстань мішень підкладка становила 40 мм. Товщина плівок знаходилася в межах від 300 до 1500 нм залежно від технологічних умов осадження.

X-променеві дифракційні дослідження (XRD) з використанням $\text{Cu } K_\alpha$ випромінювання показали, що плівки $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$ для $0 \leq x \leq 0,4$ є однофазними з структурою вюрциту, в той час як плівкам чистого CdO була притаманна кубічна структура.

Попередні дослідження спектрів оптичного пропускання показали, що отримані плівки характеризуються досить високою прозорістю у видимій ділянці спектра ($T \sim 65\text{--}90\%$) і в області краю фундаментального поглинання залежність коефіцієнта поглинання α від енергії фотона $\hbar\omega$ добре описується відомим виразом для прямих міжзонних переходів [4]

$$\alpha(\hbar\omega) = \alpha_0(E_g - \hbar\omega)^{1/2}, \quad (1)$$

де E_g — ширина забороненої зони, α_0 — параметр, що не залежить від $\hbar\omega$.

Визначені на основі (1) величини E_g змінюються в межах від 2,31 до 3,3 еВ для CdO і ZnO відповідно.

Відомо, що чутливість оптичних методів досліджень та точність визначення за ними параметрів зонної структури істотно зростають при використанні модуляційної спектроскопії, оскільки диференціальні криві експериментальних спектрів характеризуються сингулярностями, які дозволяють визначити особливості

оптичних переходів за участю енергетичних зон та різного типу центрів [5, 6]. Тому для вивчення оптичних властивостей плівок $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$ було використано метод λ -модуляції.

Основними складовими експериментальної установки є дифракційний монохроматор МДР-23, фотопомножувач ФЕП-79 і галогенна лампа ELC/C з монотонним гладким спектром. Оптичне випромінювання реєструвалося системою синхронного детектування на частоті модуляції Ω , що відповідає спектральній залежності першої похідної вихідного спектра [5, 6].

Диференціальні криві оптичного пропускання T'_ω шарів $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$ представлені на рис. 1.

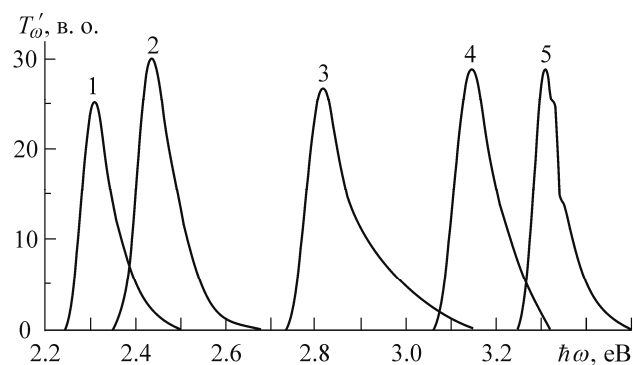


Рис. 1. Диференціальні спектри оптичного пропускання $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$: 1 — $x = 1$; 2 — $x = 0,85$; 3 — $x = 0,5$; 4 — $x = 0,25$; 5 — $x = 0$.

Положення відповідних максимумів добре узгоджується зі значеннями E_g , отриманими по апроксимації довгохвильового краю поглинання $\alpha^2 \sim f(\hbar\omega)$ спектрів, виміряних за класичною методикою. За визначеними значеннями ширини забороненої зони для кожного із досліджених складів x побудована залежність $E_g = f(x)$, яка наведена на рис. 2. Виявлена близька до лінійної залежність величини E_g від зміни складу твердих розчинів. Для порівняння на цьому ж рисунку наведені значення E_g для плівок $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$, отримані іншими авторами [2, 3].

Спостерігається добра узгодженість значень E_g для $0 \leq x \leq 0,5$ плівок $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$, отриманих різними методами. Разом з тим, в області малих концентрацій цинку при $x \geq 0,8$ має місце розбіжність величин E_g . Як показано [7], навіть при отриманні шарів молекулярно-променевою епітаксією за результатами досліджень їх структури дифракцією X-променів виявлено мікроскопічні флуктуації компо-

нентів, які пояснюються тим, що для CdO характерна кубічна структура, а у ZnO — гексагональна [2,6]. Проведені дослідження λ -модульованого оптичного відбивання, отриманих магнетронним розпиленням шарів $Cd_xZn_{1-x}O$, виявили залежність форми спектрів від співвідношення компонентів рис. 3.

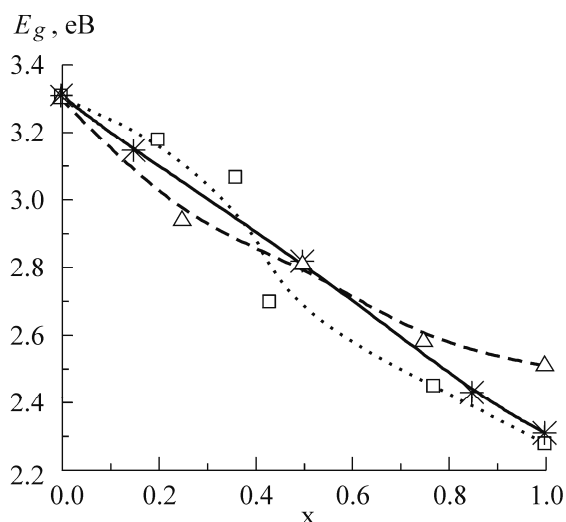


Рис. 2. Залежність ширини забороненої зони плівок $Cd_xZn_{1-x}O$ від вмісту компонентів CdO і ZnO. * — наші результати; □ — результати роботи [2]; △ — результати роботи [3].

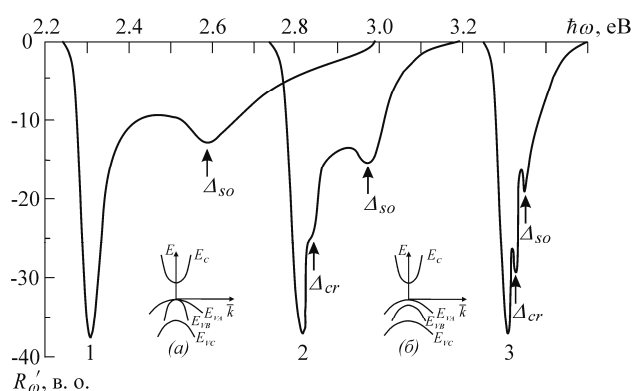


Рис. 3. Диференціальні спектри оптичного відбивання $Cd_xZn_{1-x}O$: 1 — $x = 1$; 2 — $x = 0,5$; 3 — $x = 0$; а, б — структури енергетичних зон сфалериту і в'юрциту.

Для CdO на диференціальній кривій спостерігається екстремум, положення якого відповідає $E_g = 2,31$ еВ. Також проявляє себе смуга на $\hbar\omega = 2,57$ еВ. Остання зумовлена оптичними переходами за участю валентної підзони, відщепленої внаслідок спін-орбітальної взаємодії. Відповідно до отриманих значень положення максимумів, величина енергії спін-

орбітальної взаємодії $\Delta_{so} \approx 0,25$ еВ. На відміну від CdO для плівок ZnO спостерігаються три піки. Зважаючи на гексагональну будову кристалічної ґратки можна вважати, що вони зумовлені оптичними переходами за участю підзон, відщеплених як спін-орбітальною взаємодією Δ_{so} , так і дією кристалічного поля Δ_{cr} . Визначені за положеннями екстремумів величини Δ_{cr} і Δ_{so} складають 8,2 меВ і 43 меВ відповідно. При вмісті $x = 0,5$ на диференціальних кривих відбивання плівок $Cd_xZn_{1-x}O$ окрім основного екстремума при $\hbar\omega \approx 2,82$ еВ спостерігаються також дві сингулярності, характерні для гексагональної структури. Це очевидно може бути пов'язано з початком процесу перебудови кристалічних ґраток з присутністю як кубічної, так і гексагональної структури. Більш детальні висновки про дані особливості можна буде зробити на основі проведення додаткових XRD досліджень.

Отже, отримані результати свідчать про ефективність використання методу височастотного магнетронного розпилювання для осадження плівок потрійного твердого розчину $Cd_xZn_{1-x}O$, що дає можливість цілеспрямовано керувати його властивостями за рахунок зміни ширини забороненої зони і енергетичної структури. На основі дослідження оптичних властивостей, з використанням модуляційної спектроскопії, виявлена залежність форми спектрів відбивання від співвідношення компонентів в $Cd_xZn_{1-x}O$ і визначено основні параметри зонної структури.

Література

1. Caglar Y., Caglar M., Ilican S., Ates A., Morphological, optical and electrical properties of CdZnO films prepared by sol-gel method // J. Phys.D: Appl. Phys., 2009. — 42. — P.1–8.
2. Ma D. W., Ye Z. Z., Chen L. L. Dependence of structural and optical properties of $Zn_{1-x}Cd_xO$ films on the Cd composition // Phys. Stat. Sol. (a), 2004. — 201, № 13. — P. 2929–2933.
3. Vignal O., Vaillant L., Cruz F., Santana G., Morales-Aceved A., Contreras-Puente G. Spray pyrolysis deposition of cadmium-zinc oxide thin films // Thin Solid Films, 2000. — 361–362. — P. 53–55.
4. Панков Ж. Оптические процессы в полупроводниках. — М.: Мир. — 1973. — 456 с.
5. Георгобиани А. Н., Озеров Ю. В., Тигиняну И. М. Исследование фундаментальных переходов в широкозонных полупроводниках ме-

- тодами модуляционной спектроскопии / В сб. Модуляционная спектроскопия широкозонных полупроводников. — М.: Наука. — Труды ФИАН. — 1985. — 163. — С. 3–38.
6. Makhniy V. P., Slyotov M. M., Stets E. V., Tkachenko I. V., Gorley V. V., Horley P. P. Application of modulation spectroscopy for determination of recombination center parameters // Thin Solid Films. — 2004. — 450. — P. 222–225.
7. Sakurai K., Takage T., Kubo T., Rajita D., Nanabe T., Takasu H., Fujita S. Spatial composition fluctuation in blue-luminescent ZnCdO semiconductor grown by molecular beam epitaxy // J. Cryst. Growth, 2002. — 237–239. — P. 514–517.