

Б.В. Кушнір¹, З.Р. Кудринський¹, В.М. Камінський¹, В.В. Хомяк²

Топологія поверхні тонкої оксидної плівки ZnO, сформованої на поверхні шаруватого кристалу GaSe

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

²Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича, вул. Коцюбинського, 2, Чернівці, 58000

Методом магнетронного напилення створено гетероструктуру n-ZnO – p-GaSe. Досліджено топологію поверхні тонкої оксидної плівки ZnO, що сформована на свіжосколотій поверхні шаруватого кристалу GaSe; встановлена область спектральної чутливості. Показано, що плівка ZnO має гексагональну структуру. Методом АСМ-зображень встановлено, що тонка оксидна плівка ZnO має зернисту структуру; виявлені багаточисленні канали, що свідчать про складний характер змочування підкладки оксидом цинку.

Ключові слова: селенід галію, ZnO, тонка плівка, гетероперехід, АСМ-зображення.

Стаття поступила до редакції 15.08.2014; прийнята до друку 15.09.2014.

Вступ

Оксид цинку є широкозонним напівпровідником ($E_g = 3,37$ eV) з енергією зв'язку екситона 60 меВ при кімнатній температурі. Підвищений інтерес до тонкопліткових шарів оксиду цинку (ZnO), а також CdO і їх твердих розчинів ZnO-CdO[1-3], викликаний унікальною комбінацією його оптичних і електрофізичних властивостей. Плівки ZnO, що володіють високою хімічною інертністю і стійкістю до атмосферного впливу, застосовуються у якості прозорого покриття у видимій та інфрачервоній (ІЧ) областях спектру для електричних контактів і буферних шарів тонкопліткових сонячних елементів і пристроїв відображення інформації [4].

Плівки оксиду цинку володіють хорошими п'єзоелектричними і електролюмінесцентними характеристиками і можуть застосовуватися в якості функціональних шарів в джерелах і детекторах ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювання, оптичних затворах, елементах нелінійної оптики.

Моноселенід галію (GaSe) належить широкому класу шаруватих сполук A^3B^6 , гексагональна структура яких складається з шарів щільноупакованих моноатомних площин, що взаємодіють між собою за допомогою Ван-дер-Ваальсових сил. Характерною особливістю шаруватих кристалів є можливість отримання шляхом сколення підкладок з атомарно-дзеркальною поверхнею і малою кількістю обірваних зв'язків без використання механічної чи хімічної обробки

поверхні. Ця обставина робить моноселенід галію перспективним матеріалом для використання в якості підкладок при виготовленні різного роду фоточутливих діодних структур шляхом нанесення тонких плівок.

І. Зразки та методика експерименту

Монокристали GaSe вирощувались методом Бріджмена. Концентрація дірок складала $p \approx 10^{14}$ см³, а рухливість $\mu_p \approx 50$ см²/В·С. Вони володіли яскраво вираженою шаруватою структурою. Тонкі оксидні плівки ZnO були напилені на ван-дер-ваальсові поверхні GaSe методом магнетронного розпилення за методикою, описаною в роботі [5].

Кристалічна структура гетероструктур n-ZnO – p-GaSe досліджувалась на установці ДРОН-3, що зібрана за схемою Брегг-Брентано, в монохроматичному $\text{CuK}\alpha$ випромінюванні ($\lambda = 1,5418$ Е). Для обробки отриманих дифрактограм використовували програмне забезпечення LATIK-KARTA.

Поверхневу топологію тонких плівок ZnO досліджували 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/нм. Спектральний розподіл відносної квантової ефективності фотоструму визначався відношенням фотоструму до числа

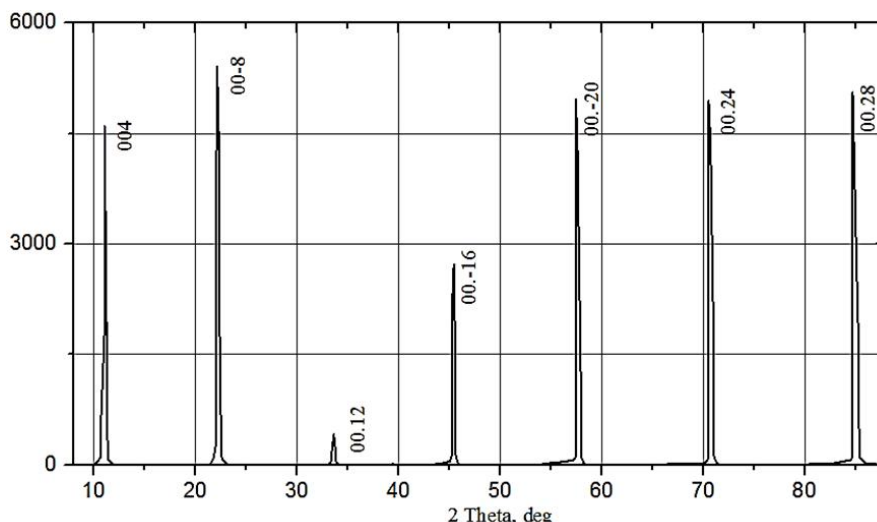


Рис. 1. Рентгенограма гетероструктури ZnO/GaSe.

падаючих фотонів і нормування до одиниці.

II. Результати та їх обговорення

Дифрактограма гетероструктури n-ZnO – p-GaSe показана на рис. 1.

Результати зйомки аналізували методом Рітвельда. Із приведеного аналізу встановлено, що структура підкладки відповідає структурі політипу ε-GaSe, а параметри ґратки наступні: $a = 3,755 \text{ \AA}$, $c = 15,9 \text{ \AA}$.

Зарєстровані також лінії слабкої інтенсивності структури ZnO. Індеси дифракційних ліній ZnO, перераховані на 100% інтенсивності ліній ($I/|I|$), їх структурні амплітуди $|F(hkl)|$ множин повторюваності еквівалентних площин (Mn) та півширин дифракційного профілю (FWHM, рад.) приведені в таблиці.

Із приведених вимірів встановлено, що плівка ZnO має гексагональну структуру, просторова група $R\bar{6}3m$ (№186), періоди ґратки $a = 3,242 \text{ \AA}$, $c = 5,188 \text{ \AA}$ [4-5].

На рис. 2 показана двовимірна топологія поверхні ZnO на підкладці GaSe. Видно, що плівка має зернисту структуру. Їх орієнтація хаотична. Кожне зерно може представляти собою впорядковану кристалічну структуру ZnO. В спектрах фотовідгуку гетеропереходу n-ZnO – p-GaSe, які відображають поглинання світла як в підкладці, так і в плівці, повинен спостерігатися різкий край fotocутливості у високоенергетичній області, що відповідає значенню поглинання світла в ZnO.

На рис. 3 показано тривимірне зображення поверхні ZnO. На даному АСМ-зображенні є світлі та темні ділянки. Зародкові молекули оксиду об'єднуються в асоціації часток куполоподібної форми. Щільність подібних агломератів досить висока, а їх розміри лежать в межах 10 - 100 нм. Подібні наноутворення свідчать про слабе змочування ZnO підкладки GaSe. В плівці також появляються багаточисельні канали, викликані



Рис. 2. Двовимірна топологія поверхні ZnO на підкладці GaSe.

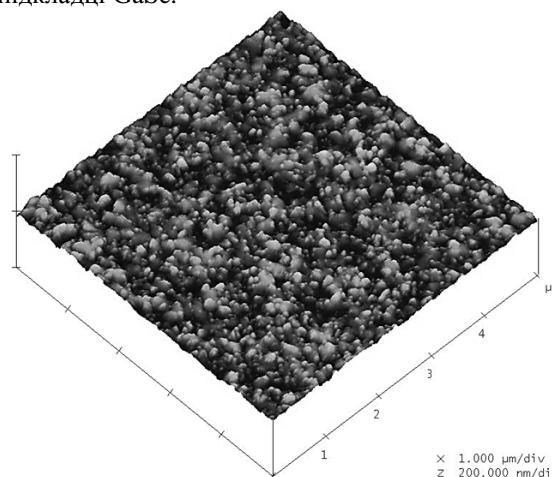


Рис. 3. Тривимірне АСМ-зображення поверхні ZnO на підкладці GaSe.

нерівномірністю нарощування оксиду ZnO.

На рис. 4 представлена спектральна fotocутливість гетеропереходу n-ZnO – p-GaSe.

Таблиця

Індекси дифракційних ліній ZnO, їх структурні амплітуди множин повторюваності еквівалентних площин та півширин дифракційного профілю

h	k	l	2Theta, deg	d/E	I/rel.	F(hkl)	Mu	FWHM
1	0	0	31,847	2,80765	54,5	31,56	6	0,175
0	0	2	34,55	2,594	40,74	51,54	2	0,1749
1	0	1	36,354	2,46925	100	34,82	12	0,1748
1	0	2	47,694	1,9053	24,16	22,99	12	0,1753
1	1	0	56,745	1,621	37,37	48,86	6	0,1768
1	0	3	63,087	1,47244	35,34	37,6	12	0,1787
2	0	0	66,558	1,40383	5,49	22,14	6	0,1801
1	1	2	68,161	1,37466	31,21	38,2	12	0,1808
2	0	1	69,284	1,35509	16,26	28,01	12	0,1813
0	0	4	72,87	1,297	2,79	29,76	2	0,1832
2	0	2	77,205	1,23462	5,33	17,66	12	0,1859
1	0	4	81,72	1,17744	3,07	13,97	12	0,1894
2	0	3	89,942	1,08992	12,4	29,59	12	0,1974
2	1	0	93,084	1,06119	4,22	17,47	12	0,2012
2	1	1	95,618	1,03967	14,59	23,09	24	0,2047

Добре видно, що вона обмежена з двох сторін і відповідає поглинанню світла в шаруватому кристалі GaSe ($E_g = 2,0$ eV) і більш широкозонному ZnO, що є характерним для форми спектрів гетеропереходів.

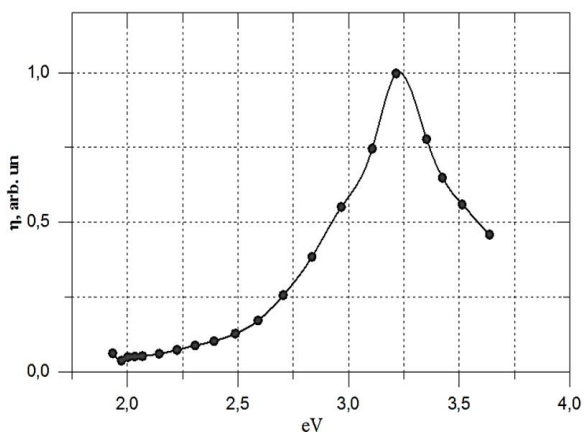


Рис. 4. Спектральна фоточутливість гетеропереходу n-ZnO – p-GaSe.

Висновки

Створені гетеропереходи n-ZnO – p-GaSe, в яких провідний оксид відіграє роль широкозонного «вікна» гетеропереходу. Встановлена область спектральної чутливості.

Методом АСМ-зображень виявлено, що плівка ZnO має зернисту структуру. В плівці виявлені багаточисленні канали, що свідчать про складний характер змочування підкладки оксидом цинку.

Встановлено, що плівка ZnO має гексагональну структуру, просторова група $R\bar{6}3m$ (№186) та періоди ґратки $a = 3,242$ Е, $c = 5,188$ Е.

Кушнір Б.В. – аспірант;
Кудринський З.Р. – молодший науковий співробітник;
Камінський В.М. – кандидат фізико-математичних наук, науковий співробітник;
Хомяк В.В. – кандидат фізико-математичних наук, доцент.

- [1] L.A. Kosyachenko, G.V. Lashkarev, V.M. Sklyarchuk, A.I. Levtusenko, O.F. Sklyarchuk, V.I. Lazarenko, A. Ulyashin, Phys. Dtatus Solidis. 207(8), 1972 (2010).
- [2] V.V. Brus, M.I. Ilashuk, V.V. Hom'jak, Z.D. Kovaljuk, P.D. Mar'janchuk, K.S. Uljanickij, FTP 46(9), 1175 (2012).
- [3] K. Chopra, S. Das, Tonkoplenochnye solnechnye jelementy (Mir, Moskva, 1986).
- [4] S. Karatas, F. Yakuphanoglu, Journal of alloys and compounds. 537, 6 (2012).
- [5] Z.R. Kudrynski, Z.D. Kovalyuk, V.N. Katerynychuk, V.V. Khomyak, I.G. Orleysky, V.V. Netyaga. Acta Physica Polonica. 124(4), 720 (2013).

B.V. Kushnir¹, Z.R. Kudrinskiy¹, V.M. Kaminskiy¹, V.V. Homyak²

Topology of Surface of ZnO thin Oxide Film Formed on GaSe Layered Crystal Surface

¹*Chernivetske viddilennya Institutu problems materialoznavstva IM. I. M. Frantsevich NAS of Ukraine, Vul. I. Vilde, 5, Chernivtsi, 58001, E-mail: chimps@ukrpost.ua*

²*Chernivetsky natsionalny universitet IM. Fedkovych, Vul. Kotsyubinskogo, 2, Chernivtsi, 58000*

Heterostructure n-ZnO – p-GaSe was prepared by the magnetron sputtering method. Topology of surface of ZnO thin oxide film formed on freshly cleaved surface of GaSe layered crystal was investigated; sensitivity spectral areas was identified. It is shown that the ZnO film has a hexagonal structure. The method of AFM images has revealed that ZnO thin oxide film has a granular structure; numerous channels indicating the complex nature of the substrate wetting zinc oxide were identified.

Keywords: gallium selenide, ZnO, thin film, heterojunction, AFM images.