

О.П. Крегель, Б.І. Турко, М.Р. Панасюк, Ю.Г. Дубов,
В.Б. Капустяник, Г.О. Лубочкова.

Фотоелектричні характеристики гетероструктур ZnO/CuO

*Науково-технічний і навчальний центр низькотемпературних досліджень Львівського
Національного університету імені Івана Франка, вул. Драгоманова, 50, Львів, 79005*

Методом височастотного магнетронного розпилення отримано гетероперехід n -ZnO/ p -CuO. Вперше досліджено фоточутливість такої гетероструктури у діапазоні довжин хвиль від 600 до 2000 нм. Встановлено, що фотодіод має максимальну чутливість на довжинах хвиль 900-1100 нм. Крім цього, виявлено помітну чутливість в області довжин хвиль 1400 - 1600 нм, яку було пов'язано з фотодесорбцією кисню з верхнього шару ZnO. Виготовлений на основі структури n -ZnO/ p -CuO фотодіод може бути використаний для детектування фотонів інфрачервоної ділянки спектру.

Ключові слова: Гетероструктури, оксид цинку, фотоелектричні характеристики.

Стаття поступила до редакції 02.11.2012; прийнята до друку 15.12.2012.

Вступ

Оксид цинку - перспективний матеріал для створення УФ-випромінювачів, сонячних батарей, газових сенсорів, пристроїв прозорої електроніки, приладів на поверхневих акустичних хвилях тощо [1]. Такі переваги як велике значення енергії зв'язку екситона (близько 60 меВ), радіаційна стійкість та дешевизна дозволяють вважати цей матеріал реальною альтернативою нітриду галію GaN [2].

Оксид міді CuO – це напівпровідник з моноклінною структурою, який володіє низкою потенційно важливих для практичного вико-ристання властивостей, таких як високо-температурна надпровідність та ефекти електронної кореляції і динаміки спіну [3, 4]. CuO – напів-провідник з p -типом провідності, який широко використовується в газових сенсорах, батареях, ката-лізаторах, надпровідниках, конвекторах сонячної енергії та польових емітерах [5].

Гетероструктури на основі n -типу ZnO реалізовано з використанням таких матеріалів з p -типом провідності як: Si, GaN, AlGaIn, Cu₂O, NiO, ZnTe, CdTe, SiC, Sr₂Cu₂O₂, Cu(InGa)Se₂, ZnRh₂O₄, GaAs [6]. У публікаціях, присвячених гетеро-переходу n -ZnO/ p -CuO основну увагу приділяли дослідженням вольт-амперних характеристик, що зумовлено зокрема можливістю використання такої гетероструктури в газових сенсорах [7, 8]. Ця робота присвячена дослідженню фотоелектричних характеристик гетероструктур ZnO/CuO.

I. Методика експерименту

Гетероструктури були отримані методом височастотного магнетронного почергового напылення полікристалічних плівок ІТО (90 % In₂O₃, 10 % SnO₂), ZnO та CuO на скляні підкладки в атмосфері аргону при тиску робочого газу 10⁻³ мм.рт.ст. і потужності генератора ВЧ-коливань 100 Вт. Для розпилення використовувалися мішені зі спресованого порошку ІТО, ZnO та CuO марок ЧДА. Товщина отриманих плівок ІТО, ZnO та CuO оцінювалась еліпсо-метричним методом, і становила приблизно 300 нм. Температура при осадженні плівок підтримувалася стабільною (T = 300 °C). В ролі омичних контактів до плівки ZnO було використано електроди з алюмінію товщиною 0,5 мкм, які наносилися методом термічного випаровування у вакуумі (рис. 1, вставка).

Спектри фоточутливості досліджувалися із застосуванням монохроматора типу МДР-12 з нормуванням спектра з допомогою "червоного" люмогена для області 560 - 600 нм і термобатарей в області 600 - 2000 нм. Фотострум реєструвався електрометром типу В7-39. Джерелом фотозбудження слугувала галогенна лампа. Сканування спектром здійснювалося в автоматичному режимі з використанням комп'ютера і відповідного програмного забезпечення.

Вимірювання вольт-амперних характеристик проводились мультиметром Keithley Model 2401 Low Voltage SourceMeter (Keithley Instruments Inc., Огайо, США).

II. Результати експерименту та їх обговорення

На основі вимірювання термо-ерс було встановлено, що напилені плівки ZnO мають *n*-тип провідності, а плівки CuO – *p*-тип. Концентрація носіїв у плівках ZnO та CuO згідно з даними дослідження ефекту Холла складала $n \sim 10^{16} \text{ см}^{-3}$ та $p \sim 4 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, відповідно. Випрямляючі властивості отриманої гетероструктури *n*-ZnO/*p*-CuO підтверджуються отриманими стаціонарними вольт-

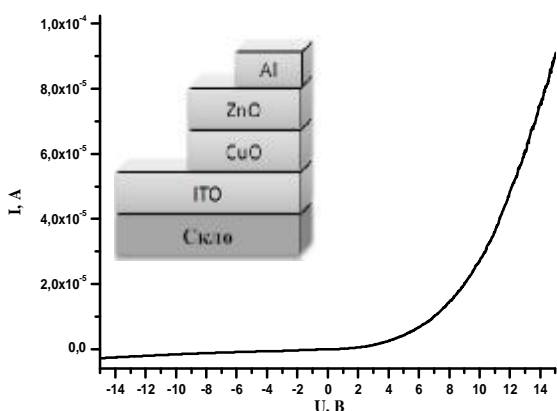


Рис. 1 – Стаціонарна ВАХ гетероструктури ZnO/CuO при $T = 300 \text{ K}$. На вставці – схематичне зображення фотодіода.

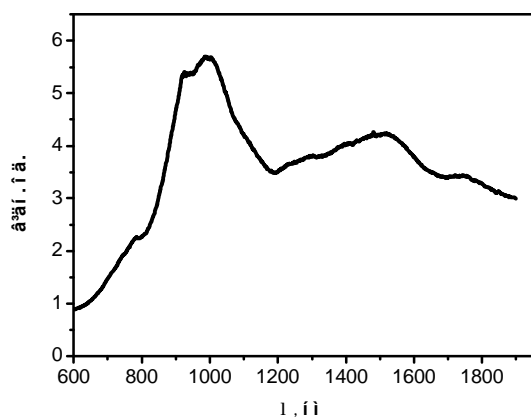


Рис. 2. Спектральна залежність фоточутливості ZnO/CuO, отримана у вентиляльному режимі і

амперними характеристиками (рис. 1).

На рис. 2 зображена спектральна залежність приведеної до однакового квантового виходу спектральної фоточутливості гетероструктури *n*-ZnO/*p*-CuO, виміряна у вентиляльному режимі. Отримані гетероструктури володіють фоточутливістю в широкій ділянці спектру – від 800 нм до 1800 нм з двома ділянками максимальної чутливості в області 1000 нм і 1575 нм (рис. 2). Смуга фоточутливості при 1000 нм обумовлена міжзонним поглинанням у плівці CuO.

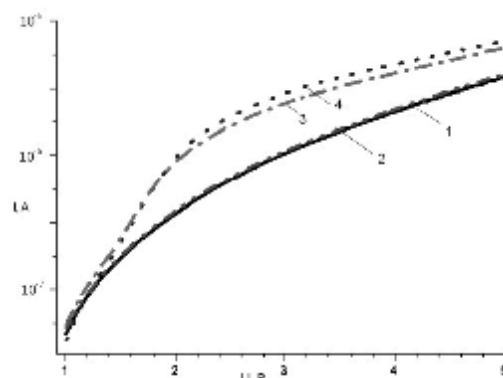


Рис. 3. Залежності фотоструму від прикладеного зворотного зміщення при освітленні гетероструктури ZnO/CuO монохроматичним світлом потужністю 1 мВт: 1 – темновий струм; 2 - 1575 нм; 3 - 925 нм; 4 – 1000 нм.

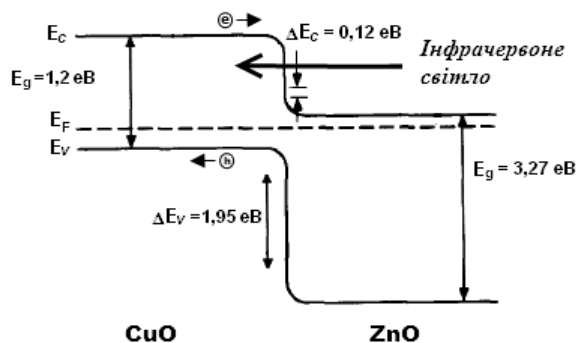


Рис. 4. Діаграма енергетичних зон при зворотному зміщенні для структури *n*-ZnO/*p*-CuO.

На рис. 3 наведено залежність фотоструму від прикладеного зворотного зміщення при освітленні діода ZnO/CuO монохроматичним світлом. Наведені результати корелюють з висновком про те, що отриманий діод має максимум фоточутливості у спектральній області 1000 нм.

Для пояснення отриманих залежностей доцільно використати схематичну зонну діаграму для гетеропереходу *n*-ZnO/*p*-CuO (рис. 4), де значення енергій зон для *p*-CuO та *n*-ZnO взяті з робіт [9, 10]. Фотони, що відповідають інфрачервоній області спектру, проходять через плівку ZnO і в основному поглинаються у збідненому шарі *p*-CuO, створюючи пари електрон-дірка, які генерують фотострум при зворотному зміщенні.

Поглинання фотонів, що відносяться до інфрачервоної області спектру, відбувається у збідненій області *p*-CuO шару, при цьому фотогенеровані дірки захоплюються при русі у напрямі до нейтральної по відношенню до заряду області в *p*-CuO, що контактує з ITO-електродом. Фотогенеровані електрони рухаються в напрямі до алюмінієвого контакту через збіднений шар *n*-ZnO.

З літературних даних відомо, що енергія розриву цинку з молекулярним киснем складає $\sim 0.8\text{eV}$ [11], тому виявлена помітна фоточутливість з максимумом при 1575 nm (0.78eV) може бути пояснена фотодесорбцією кисню O_2^- в першу чергу внаслідок нагрівної дії інфрачервоного опромінення [12].

Висновки

Таким чином, методом височастотного магнетронного розпилення отримано гетероперехід n-ZnO/p-CuO . Виміряна вольт-амперна характеристика та вперше – спектральна фоточутливість у діапазоні довжин хвиль $600 - 2000\text{ nm}$ даної гетероструктури. На основі отриманих результатів зроблено висновок, що фотодіод, виготовлений на основі структури n-ZnO/p-CuO , може бути використаний

для детектування фотонів ближньої інфрачервоної ділянки спектру.

Робота виконана за підтримки Державного Фонду фундаментальних досліджень України та Міністерства освіти і науки України.

Крегель О.П. – інженер кафедри фіз. твердого тіла.
Турко Б.І. – завідувач лабораторії НТНЦНД.
Панасюк М.Р. – інженер НТНЦНД.
Дубов Ю.Г. – мол. наук. співробітник
Капустяник В.Б. – доктор фіз.-мат. наук, директор Науково-технічного і навчального центру низько-температурних досліджень (НТНЦНД), завідувач кафедри фізики твердого тіла.
Лубочкова Г.О. – інженер НТНЦНД.

- [1] S. Pearton, D. Norton. J. Vac. Sci. Technol, 22, 932 (2004).
- [2] C. Klingshirn. ZnO: Phys. Stat. Sol. (b). 244 B, 3027 (1975).
- [3] R. Cava. Science, 247, 656 (1990).
- [4] J. Tranquada, B. Sternlieb, J. Axe, Y. Nakamura, S. Uchida. Nature, 375 (1995).
- [5] J.W. Xu, Z. Shen, S. Tang, X. Ye, D. Jia. J. Solid State Chem., 147, 516 (1999).
- [6] U. Ozgur, Y. Alivov, C. Liu. Journal of Applied Physics. 98, 041301-103 (2005).
- [7] B.M. Vermichev, O.L. Lisickij, M.E. Kumeikov, E.I. Terukov, S.Zh. Tokmoldin. Fizika i tehnika poluprovodnikov 41(3), 298 (2007).
- [8] M. Miyayama K. Hikita, G. Uozumi, H. Yanagida. Sensors and Actuators B. 24, 383 (1995).
- [9] K.H. Yoon, W.J. Choi, D.H. Kang. Solid Films. 372, 250 (2000).
- [10] M.R. Panasyuk, D.L. Voznjuk, V.B. Kapustjanik, B.I. Turko, V.S. Cibul's'kij, G.O. Lubochkova, Ju.G. Dubov. Fizika i himija tverdogo tila. 1, 244 (2010).
- [11] M.M. Mihajlov, V.V. Nishhemenko. Poverhnost'. Rentgenovskie, sinhrotronnye i nejtronnye issledovannija, 8, (2009)
- [12] A.N. Terenin. Spektroskopija adsorbirovannyh molekul i poverhnostnyh soedinenij (AN SSSR: Nauka. Leningrad, 1975).

О.П. Крегель, Б.І. Турко, М.Р. Панасюк, В.В. Капустяник,
Ю.Г. Дубов, Г.О. Лубочкова

Photoelectric Properties of ZnO / CuO Heterostructures

Scientific-Technical and Educational Center of Low Temperature Studies, Ivan Franko National University of Lviv 50, Dragomanova Str., Lviv, 79005, Ukraine

n-ZnO/p-CuO heterojunction was obtained by high frequency magnetron sputtering method. This was the first investigation of the photosensitivity of such a structure in the wavelength range from 600 to 2000 nm . It was established that the photodiode has a maximum sensitivity at wavelength range $900 - 1100\text{ nm}$. In addition, revealed a significant sensitivity in the wavelength range $1400 - 1600\text{ nm}$, which was due to the phodesorption of oxygen from the upper layer of ZnO. A structure prepared on the n-ZnO/p-CuO basis can be used as a photodiode for detecting photons of infrared spectral region.

Keywords: heterojunction, zinc oxide, photovoltaic characteristics.