

ГЕТЕРОПЕРЕХОДИ НА ОСНОВІ ВЛАСНИЙ ОКСИД-*p*-InSe

Досліджено основні електричні, фотоелектричні властивості та спектральні залежності відносно квантової ефективності гетеропереходів власний оксид-*p*-InSe. З аналізу прямих і обернених вольт-амперних характеристик встановлено механізми струмопереносу у структурах. При прямому зміщенні домінуючим механізмом визначено дифузійний. Форма спектрів фото-струму свідчить про їх широкосмуговий характер.

Basic electrical and photoelectric properties and relative quantum efficiency spectral dependencies of intrinsic oxide-*p*-InSe heterojunctions are investigated. From the analysis of the forward and reverse current-voltage characteristics we have established mechanisms of charge transfer in the structures. At forward bias the dominant mechanism is diffusive one. The photocurrent spectra shape is evidence of their wideband character. The received values $U_{oc} \approx 0.5$ V and $J_{sc} \approx 11$ mA/cm² of the photoelectric parameters are promising and stimulate investigations these structures.

Вступ

Шаруваті кристали A^3B^6 привертають увагу як нові матеріали для інтегральної фотоелектроніки. На основі InSe і GaSe створюються ефективні бар'єри Шотткі [1], МОН-структури [2], гомо- [3] і гетеропереходи (ГП) [4,5].

Сполука InSe характеризується значною анізотропією властивостей через її багат шарову структуру, де в межах шарів діють переважно ковалентні зв'язки між атомами, тоді як взаємодія між шарами є слабкою (ван-дер-ваальсовою). Кожен окремих шар володіє ромбодринною симетрією і включає чотири атомні площини Se-In-In-Se. Кристали легко розколоти паралельно до шарів і, як результат, отримана поверхня є дзеркальною і має низьку густину поверхневих станів.

Експериментальна частина

Для виготовлення ГП використовувався монокристалічний *p*-InSe<Cd>, вирощений вертикальним методом Бріджмена. Концентрація та рухливість основних носіїв складала $p=10^{14}$ см⁻³ і $\mu \approx 10^2$ см²/(В·с).

Сколоти пластинки з середніми розмірами $12 \times 5 \times 0,4$ мм³ окислювались на повітрі при температурі 450°C упродовж 96 годин. Такі режими були вибрані на основі результатів тестування і відбору зразків з найкращими фотоелектричними параметрами, виготовлених у різних температурно-часових режимах: 200-500°C і 24-120 годин.

Після окислення грані та одна з поверхонь зразка звільнялися від окислу. Для струмових контактів використовувався індій, причому для усунення небажаної неомічності з *p*-InSe паяна поверхня механічно пошкоджувалась.

Результати й обговорення

ГП оксид-InSe володіють чітко вираженими діодними характеристиками. Коефіцієнти випрямлення, визначені на серії структур, при зміщенні 1 В та кімнатній температурі сягають не менше $2,5 \cdot 10^3$.

Початкова ділянка ВАХ (рис.1) за прямих зміщень $kT/q \ll U < U_b$ (через U_b позначено величину бар'єра) зростає за експоненціальним законом [6]:

$$J = J_s \left[\exp\left(\frac{qU}{nkT}\right) - 1 \right]. \quad (1)$$

J_s , як екстраполяційна величина густини струму при нульовій напрузі, дорівнює $4,5 \cdot 10^{-9}$ А·см⁻². Діодний коефіцієнт n складає 1,34, що вказує на надбар'єрне проходження носіїв заряду.

При напругах більших 0,5 В спостерігається відхилення експериментальної ВАХ від теоретичної, що описується (1). Це пов'язано з існуванням досить великого послідовного опору R_s і, як наслідок, частина напруги падає не на самому бар'єрі, а на R_s .

Обернена вітка, як видно з рис.1, підкоряється закону $J \sim U^m$ в усьому діапазоні напруг і характеризується двома чіткими ділянками. В інтервалі

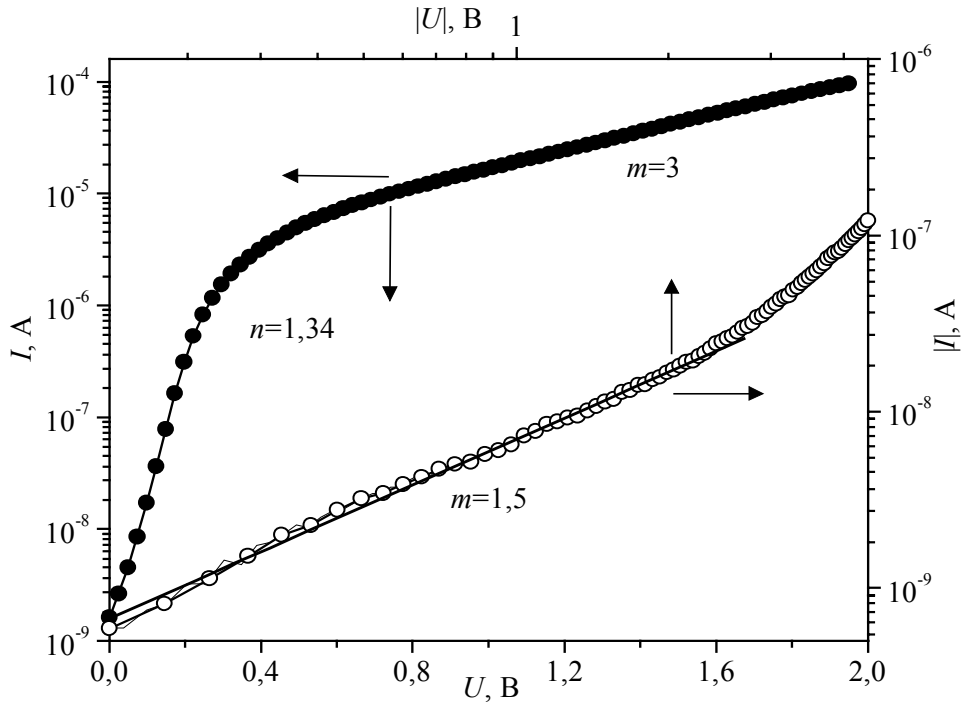


Рис.1. Прямі та обернені вітки вольт-амперних характеристик ГП власний оксид-*p*-InSe побудовані у напівлогіарифмічному та логарифмічному масштабах відповідно. $T=293$ К.

напруг $0 < U < 2$ В крива $\log I - \log U$ задається степеневу залежністю $J \sim U^{1,5}$. При більших обернених зміщеннях показник степеня m зростає до 3. Обидві степеневі залежності свідчать про присутність струмів, обмежених просторовим зарядом.

При освітленні ГП зі сторони оксиду чітко спостерігається фотовольтаїчний ефект, причому знак фотонапруги збігається із типом провідності в оксиді і напівпровіднику. Спектр фотовідгуку свідчить, що збіднена область розміщена в *p*-InSe, а широкозонним вікном служить оксид. Напруга холостого ходу при освітленні світлом потужністю $P=100$ мВт/см² сягала $U_{xx} \approx 0,5$ В, а струм короткого замикання дорівнював $I_{K3} \approx 11$ мА/см² (рис.2).

На рис.3 приведено спектральну залежність відносної квантової ефективності фотоперетворення η . Довгохвильовий край залежності $\eta(h\nu)$ ГП при $h\nu \leq 1,2$ еВ експоненційний і характеризується великою крутизною $S = d(\ln \eta) / d(h\nu) \approx 10$ еВ⁻¹, тому що визначається екситонними переходами. Енергетичне положення вузького піка при енергії фотонів $h\nu = 1,25$ еВ відповідає основному екситонному поглинанню і є близьким до величини ширини забороненої зони InSe E_g [7].

Короткохвильовий спад η відповідає поглинанню світла в плівці оксиду і в нашому випадку носить складний характер. Слід відмітити, що при короткотривалому окисненні (5–15 хвилин) формується оксид In₂O₃ [8], а при довготривалому – оксид In₂(SeO₄)₃ [9], який є проміжним між *p*-InSe та In₂O₃. Цей проміжний шар має однорідний склад і достатню товщину, що проявляється в чіткому високоенергетичному спаді $\eta(h\nu)$ при 2,0 еВ. З цієї причини, повна ширина спектра квантової ефективності фотоперетворення на напіввисоті – невелика і дорівнює $\delta_{1/2} > 0,53$ еВ.

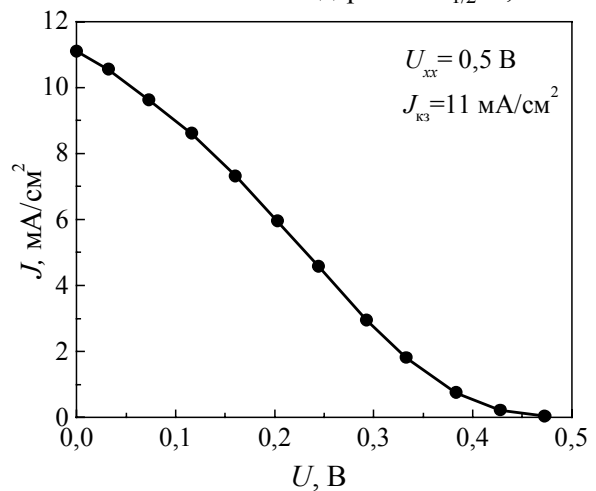


Рис.2. Навантажувальна характеристика ГП власний оксид-*p*-InSe при $T=293$ К.

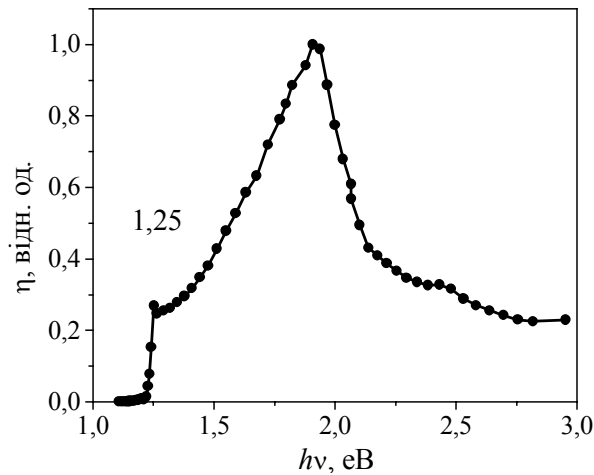


Рис.3. Спектральна залежність фотовідклику η для ГП власний оксид-*p*-InSe при $T=293$ К.

Висновки

Показано, що на основі ГП власний оксид-*p*-InSe можливе виготовлення фоточутливих структур із задовільними характеристиками. Очевидно, що технологічна розробка даних гетероструктур може привести до створення високоефективних і радіаційно-стійких сонячних перетворювачів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Giulio M.D., Micocci G., Rizzo A., Tepore A. Photovoltaic effect in gold-indium selenide Schottky barriers // J. Appl. Phys. – 1983. – **54**, No.10. – P.5839-5843.
2. Курбатов Л.Н., Баличенко А.А., Бакуменко В.Л., Морозов В.А., Чишко В.Ф., Махиджанов С.С. МОП-структуры на основе GaSe // ЖТФ. – 1978. – №4. – С.1110-1114.
3. Катеринчук В.Н., Ковалюк М.З. P-n-гомогенные InSe-фотодиоды // ФТП. – 1991. – **25**, №11. – С.954-957.
4. Бакуменко В.Л., Ковалюк З.Д., Курбатов Л.Н., Тагаев В.Г., Чишко В.Ф. Исследование гетеропереходов InSe-GaSe, приготовленных посадкой на оптический контакт // ФТП. – 1980. – **14**, №6. – С.1115-1119.
5. Dawar A.L., Joshi J.C. Semiconducting transparent thin films: their properties and application // J. Mater. Sci. – 1984. – **19**. – P.1-23.
6. Зи С. Физика полупроводниковых приборов: В 2 т. - М.: Мир, 1984. Кн. 2.
7. Landolt-Bornstein. Numerical data and functional relationships in science and technology new ser. group III: Crystal and solid state physics. **17**, sv. F / Ed. by Madelung O. – Berlin: Springer, 1983.
8. Balitskii O.A., Berchenko N.N., Savchyn V.P., Stakhira J.M. Characteristics of phase formation during indium selenides oxidation // Mater. Chem. Phys. – 2000. – **19**. – P.130-136.
9. Balitskii O.A., Savchyn V.P., Yukhymchuk V.O. Raman investigation of InSe and GaSe single-crystals oxidation // Semicond. Sci. Technol. – 2002. – **17**. – P. L1-L7.