

ОТРИМАННЯ ФОТОСЕНСОРІВ НА ГЕТЕРОШАРАХ СПОЛУК II–VI

Д. ф.-м. н. М. М. Сльотов¹, к. ф.-м. н. О. В. Кінзерська¹,
д. т. н. О. М. Сльотов¹, О. О. Мельничук¹, Г. В. Поцілуйко-Григоряк²

¹Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича,

²Чернівецький індустріальний фаховий коледж

Україна, м. Чернівці

m.slyotov@chnu.edu.ua

Наводяться результати досліджень виготовлення шарів сполук II–VI і впливу на їхні властивості ізовалентних домішок. Вперше отримано гетерошари нетипових модифікацій із стабільними у часі та в умовах дії зовнішніх факторів електрофізичними й оптичними властивостями. Виготовлено низку чутливих до поляризації оптичного опромінення фотосенсорів з широкою спектральною чутливістю. Встановлено високу квантову ефективність випромінювання легованих шарів і досліджено можливість виготовлення оптронів.

Ключові слова: гетерошари, нетипова модифікація, фотосенсори, ізовалентна домішка.

Елементною базою сучасної фотоелектроніки є сенсори з бар'єрами різного типу. В таких приладах функціональної електроніки як активні області широко використовуються гетерошари. Відповідно, для них важливим є методи їх отримання і конструкції, що використовуються за їх участі, а значить актуальним постає пошук і вдосконалення як технологій отримання матеріалів, так і цілеспрямованої зміни їхніх властивостей, що необхідно для створення сенсорів з розширеними функціональними можливостями. У сполуках II–VI існує низка особливостей, які обмежують широке базове використання кристалів, отриманих методом Бріджмена — Стокбаргера. Разом з тим, прямозонність і велика ширина забороненої зони, особливо сульфоселенідів цинку, є важливою передумовою їх використання у короткохвильовій оптоелектроніці, а особливо у системах відображення оптичної інформації. Проте існує низка особливостей, серед яких необхідно відзначити одностороннє відхилення від стехіометрії власних точкових дефектів матеріалів та схильність до самокомпенсації, що зумовлюють в них переважно монополярну провідність і значні труднощі при варіації її типу та величини. Також залишається невирішеною проблема отримання гетерошарів нетипових кристалічних α - і β -модифікацій зі стабільними властивостями.

Метою представленої роботи було отримання тонких шарів сполук II–VI, комплексні дослідження їхніх властивостей і встановлення можливості виготовлення фотосенсорів на їх основі.

В [1] показано, що легування ізовалентними домішками (ІВД) сполук II–VI забезпечує можливість широкої варіації типу провідності базового матеріалу. Зокрема, у випадку телуриду кадмію і селеніду цинку ІВД Mg та Ca дозволяють отримати шари досконалого матеріалу p -типу провідності, які формують ефективний p – n -перехід з базовим нелегованим напівпровідником. Такий бар'єр характеризується високою фоточутливістю, включно з фіолетовим діапазоном $\Delta\lambda = 0,375 - 0,479$ мкм.

Також легування зазначеними ІВД обумовлює формування на оберненій поверхні кристалів випромінювання з високою інтенсивністю. Його спектр добре узгоджується з діапазоном фоточутливості p – n -структур. До того ж високі ефективності випромінювання і фоточутливості дозволяють отримувати оптрони на їх основі. Зазначимо, що для контролю базових оптичних властивостей отриманого матеріалу використовувалася модуляційна спектроскопія, зокрема неруйнівний метод λ -модуляції [2].

Отримані внаслідок легування ізовалентною домішкою матеріали характеризуються високою досконалістю кристалічної структури. Це підтверджується високою квантовою ефективністю люмінесценції у крайовій області: $\eta = 12\%$ (для широко використовуваних кристалів ZnSe $\eta = 0,1 - 0,4\%$). Проведені дослідження властивостей легованих ІВД матеріалів показали, що ефективно домінують випромінювання формується внаслідок анігіляції зв'язаних на ІВД екситонів при 300 К. Випромінювання аналогічної природи й утворення фоточутливого p – n -переходу також отримується у

випадку ZnSe внаслідок легування дифузією рідкоземельного елемента Yb [3]. Визначені технологічні режими легування дозволяють отримувати поверхневі шари *p*-типу електропровідності з високою квантовою ефективністю випромінювання $\eta = 10\text{—}15\%$.

Встановлено, що ізотермічний відпал базових матеріалів II–VI у парах ізовалентних елементів дозволяє отримати гетерошари нетипової кристалічної модифікації, а саме гексагональної, для $\alpha\text{-ZnSe}$, $\alpha\text{-ZnS}$ і твердого розчину $\alpha\text{-ZnSe}_x\text{S}_{1-x}$ [4]. Перехідні шари відповідних твердих розчинів між компонентами гетероструктури ліквідують неузгодженості кристалічних і термічних параметрів матеріалів внаслідок низької концентрації дефектів ґраток. Їхня висока структурна досконалість підтверджується високою квантовою ефективністю люмінесценції: $\eta = 15\%$ у крайовій синьо-фіолетовій області $\Delta\lambda = 0,375\text{—}0,480$ мкм. На основі отриманих матеріалів нетипової кристалічної модифікації були виготовлені фоточутливі поверхнево-бар'єрні структури, зокрема Ni– $\alpha\text{-ZnS}$ з $\Delta\lambda = 0,248\text{—}0,364$ мкм. Вперше отримано фотодетектори поляризованого випромінювання на гексагональних гетерошарах $\alpha\text{-ZnSe}$, $\alpha\text{-ZnS}$, $\alpha\text{-ZnSe}_x\text{S}_{1-x}$ [5]. Виготовлено на основі гетерошарів сульфоселенідів цинку лабораторні зразки фотоприймачів, зокрема Ni– $\alpha\text{-ZnSe}$ зі зміною фотоструму відповідно до поляризації оптичного випромінювання з коефіцієнтом $P \approx 33\%$. Вперше на халькогенідах цинку отримано наноструктуровані поверхні (ПНС) в результаті спеціального хімічного травлення. Їхні спектри випромінювання характеризуються ефективністю $\eta = 15\text{—}20\%$, яка визначається квантово-розмірними процесами на модифікованій поверхні. На виготовлених сенсорах утворена ПНС дозволяє приблизно на два порядки збільшити фоточутливість, розширити спектральну область і значно покращити інші фотоелектричні параметри, оскільки істотно зменшуються поверхневі струми втрат і рівень шумів.

Отримано фотодіоди на виготовлених ізотермічним відпалом гетеропереходах *n*-CdTe – *p*-ZnTe зі спектральною чутливістю у діапазоні 0,38—0,82 мкм. Вони характеризуються великим діапазоном лінійності при експлуатації в режимі короткого замикання і виявляючою здатністю не меншою ніж $10^{13} \text{ В}^{-1}\cdot\text{см}\cdot\text{Гц}^{0,5}$ при 300 К. Виявлено можливість зміни положення максимуму фоточутливості $\hbar\omega_m$ гетероструктур *n*-CdTe – *p*-ZnTe від $\lambda_m = 0,775$ мкм (1,6 еВ) до $\lambda_m = 0,590$ мкм (2,1 еВ) при варіації температури відпалу у діапазоні 800—1100 К. Положення $\hbar\omega_m$ визначається зміщенням області максимальної генерації фотоструму у гетеропереходах у напрямку від CdTe до ZnTe.

Встановлені переваги методу ізовалентного заміщення виділяють його в самостійний напрям як за технологією отримання шарів, так і за можливостями отримання на їх основі приладів функціональної електроніки, зокрема фотосенсорів.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Сльотов М.М., Герман І.І., Сльотов О.М., Косолювський В.В. Вплив ізовалентної домішки Са на властивості ZnSe<Al>. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2013, 6/12 (66), ч. 1, с. 26–29.
2. Makhniy V.P., Slyotov M.M., Stets E.V. et al. Application of modulation spectroscopy for determination of recombination center parameters. *Thin Solid Films*, 2004, no. 450, p. 222–225.
3. Махний В.П., Кинзерская О.В., Сенко И.М., Слетов А.М. Высокотемпературная люминесценция кристаллов ZnSe:Yb. *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*, 2016, №2–3, с. 37–40.
4. Сльотов М.М., Сльотов О.М. Спосіб отримання гетерошарів ZnSe гексагональної модифікації, №134166, Україна, 2019.
5. Slyotov M.M., Slyotov O.M. Preparation and luminescent properties of zinc sulfoselenide thin films. *Physics and Chemistry of Solid State*, 2019, vol. 20, no. 4, p. 354–359.

M. M. Slyotov, O. V. Kinzerska, O. M. Slyotov, O. O. Melnychuk, G. V. Potsiluiko-Hryhoriak

Obtaining of photosensors on heterolayers of II–VI compounds

The study establishes the possibility of obtaining layers of II–VI compounds with high quantum radiation efficiency and photosensitivity of structures based on them. The important role of the method of isovalent substitution (IVS) and the influence of isovalent impurities Mg and Ca on the parameters, characteristics and properties of sources and detectors of optical radiation is shown. For the first time, heterolayers of atypical hexagonal modification of $\alpha\text{-ZnSe}$, $\alpha\text{-ZnS}$ and $\alpha\text{-ZnSe}_x\text{S}_{1-x}$ solid solution are obtained and photodetectors with stable sensitivity to polarized radiation are made on their basis. The authors use the IVS method to obtain *n*-CdTe–*p*-ZnTe photodiodes with a large range of linear sensitivity and a detection ability of at least $10^{13} \text{ V}^{-1}\cdot\text{cm}\cdot\text{Hz}^{0,5}$ in a wide spectral range of 0.38–0.82 μm .

Keywords: heterolayers, atypical modification, photosensors, isovalent impurity.