

### Морфологічні, оптичні властивості та елементний склад наночастинок $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$ отриманих колоїдальним методом

Доброжан О.А.<sup>1</sup>, *асп.*; Шаповаленко А.О.<sup>1</sup>, *студ.*; Опанасюк А.С.<sup>1</sup>, *проф.*; Ібаньєс М.<sup>2</sup>, *проф.*

<sup>1</sup> Сумський державний університет, м. Суми

<sup>2</sup> Каталонський інститут енергетичних досліджень, м. Барселона

Сполука  $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$  (CZTSe) є одним з перспективних напівпровідникових матеріалів для використання як поглинаючий шар сонячних елементів (СЕ). В порівнянні з традиційними сполуками CdTe та  $\text{CuInGa(S,Se)}_2$ , які використовуються в геліоенергетиці, цей матеріал не містить малопоширених (Te, In, Ga) та токсичних елементів (Cd). Крім того, CZTSe є прямозонним напівпровідником з оптимальною для поглинання сонячної енергії ( $E_g = 1,5$  eV) шириною забороненої зони (ЗЗ) та високим значенням коефіцієнту поглинання ( $10^5 \text{ см}^{-1}$ ). Серед багатьох безвакуумних технологій отримання CZTSe особливу увагу привертає колоїдальний метод, який не вимагає вакууму, технологічно простий, масштабований та дозволяє контролювати властивості синтезованого матеріалу.

Основною метою роботи був синтез наночастинок (НЧ) CZTSe та визначення впливу фосфонних кислот на їх розміри та форму. Морфологія НЧ досліджувалась за допомогою просвічуючої електронної мікроскопії (Jeol 1010). Елементний склад матеріалу визначався за допомогою енергодисперсійного рентгеноспектрального аналізу, з використанням скануючого електронного мікроскопу Zeiss Auriga. Оптичні властивості були досліджені з використанням методу оптичної спектроскопії. Морфологічні дослідження показали, що синтезовані НЧ CZTSe були монодисперсними з розмірами 15-30 нм, вони змінювали свою форму від округлої до трикутної та багатогранної в залежності від типу використаної фосфонної кислоти. ЕДРС аналіз показав, що НЧ мали не стехіометричний склад з малим вмістом цинку. Найкращі результати відносно стехіометрії були отримані при використанні *n*-тетрадецилфосфонної кислоти:  $\text{Cu}_{1,87}\text{Zn}_{0,43}\text{Sn}_{0,99}\text{Se}_4$ . Розраховані значення ширини ЗЗ сполуки лежать в інтервалі (0,88 – 1,50) eV. Отримані результати можуть бути використані при створенні поглинаючих шарів СЕ.