

Використання електрохімічного і гідрохімічного методів для виготовлення напівпрозорого сонячного елемента на основі гетеропереходу $p\text{-NiO}/n\text{-ZnO}$

Н.П. Клочко¹, В.Р. Копач¹, Д.О. Жадан¹, К.С. Клепікова¹, Г.С. Хрипунов¹,
С.І. Петрушенко², В.М. Любов¹, С.В. Дукаров², М.В. Кіріченко¹

¹Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Україна, 61002, м. Харків, вул. Кирпичова, 2

Тел.: +380-577-315691, +380-990-545256 E-mail: klochko.np16@gmail.com

²Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна, Україна, 61022, м. Харків,
площа Свободи, 4

Прозорі та напівпрозорі сонячні елементи (СЕ) здатні створити нові можливості для перетворення на електрику сонячної енергії, що поглинається стінами і вікнами будівель, електронними пристроями та автомобілями. Сучасні технології напівпрозорих СЕ неселективного типу зорієнтовані на використанні тонкоплівкового гідрогенізованого аморфного кремнію та його сплаву з германієм, надтонких плівок телуриду кадмію, фотоактивних плівок органічних, сенсibilізованих барвниками та перовскитних сонячних елементів, які поглинають видиме світло лише частково. Інший підхід – це створення неселективних напівпрозорих СЕ шляхом сегментації непрозорих (наприклад, кремнієвих) сонячних елементів. Селективні прозорі та напівпрозорі СЕ використовують матеріали, що є фотоактивними по відношенню до ультрафіолетового (УФ) або ближнього інфрачервоного спектру, але пропускають видиме світло. Наприклад, деякі органічні сонячні матеріали та перовскити можуть застосовуватися для утилізації інфрачервоного сегменту, однак питання стабільності органічних і гібридних речовин у складі таких СЕ не вирішене остаточно. Використання широкозонних неорганічних матеріалів є перспективним способом реалізації напівпрозорих сонячних елементів, які пропускають видиме світло, але активно поглинають ультрафіолетові промені, перетворюючи їх енергію на електрику і одночасно усуваючи небажаний вплив УФ на людей і оточуюче середовище. Наприклад, останнім часом створено ультрафіолетові напівпрозорі сонячні елементи з нітриду галію та нітриду індію-галію. Серед різноманітних неорганічних широкозонних матеріалів оксид цинку n -типу і оксид нікелю p -типу, а також гетеропереходи $p\text{-NiO}/n\text{-ZnO}$ є основою високопродуктивних світлодіодів і високочутливих УФ фотодетекторів. Перевагою використання гетероструктур $p\text{-NiO}/n\text{-ZnO}$ в напівпрозорих СЕ здатних поглинати УФ є доступність, стабільність, невисока ціна та можливість виготовлення за допомогою різноманітних технологій.

У даній роботі ми представляємо експериментальні зразки гетероструктур $p\text{-NiO}/n\text{-ZnO}$, які було виготовлено за допомогою двох методів вирощування із водних розчинів за умов атмосферного тиску. Ми використовували електрохімічне осадження в імпульсному режимі

для виготовлення на прозорих електропровідних підкладках FTO нанострижневих масивів 1-D ZnO, оскільки цей метод є недорогим і пристосованим для широкомасштабного виробництва наноструктур, що є придатними для виготовлення сонячних елементів та УФ фотодетекторів. Нанокристалічні плівки NiO були синтезовані за допомогою гідрохімічної технології послідовної адсорбції і реакції іонних шарів (Successive Ionic Layer Adsorption and Reaction, SILAR). Як показав рентген-дифрактометричний аналіз (XRD), безпосередньо після осадження методом SILAR плівки не виявляли характерних піків, ймовірно тому що склалися з дуже маленьких кристалітів NiO та/або Ni(OH)₂. За допомогою відпалу на повітрі при 550 °C протягом 2 год. було здійснено успішну перекристалізацію із перетворенням плівок на NiO із характерною кубічною структурою кам'яної солі (JCPDS 47-1049) без будь-яких домішкових фаз. В роботі детально досліджено кристалічну структуру масивів 1-D ZnO із довжиною нанострижнів 1.1 мкм і плівок NiO із товщинами в інтервалі від 420 до 1050 нм. За даними скануючої електронної мікроскопії (SEM), плівки NiO мають тріщини, які створюються під час їх перекристалізації шляхом відпалу, отже кожна окрема ділянка плівки NiO лежить на поверхні декількох десятків нанострижнів ZnO. Аналіз оптичних властивостей методом спектрофотометрії показав, що плівки NiO мають характерні для цього матеріалу значення ширини забороненої зони для прямих оптичних переходів в діапазоні 3.6-3.8 eV. Прозорість композицій NiO/ZnO щодо видимого світла істотно обмежується оптичним поглинанням в масиві 1-D ZnO. Для вивчення електронних параметрів гетеропереходів *p*-NiO/*n*-ZnO як до, так і після відпалу NiO були створені смужкові мідні омичні контакти шляхом вакуумного осадження Cu крізь тіньову маску під кутом 25 ° до поверхні з метою уникнення шунтування. Тестові зразки Cu/NiO/ZnO/FTO/Cu та Cu/NiO/FTO/Cu були використані при дослідженні темнових і світлових вольт-амперних (*I-U*) характеристик та кривих фотовідгуку під впливом ультрафіолетового та видимого світла. Аналіз кривих фотовідгуку відносно опромінення із довжинами хвиль 365-470 нм показав придатність виготовлених гетероструктур *p*-NiO/*n*-ZnO для створення ефективних УФ фотодетекторів діодного типу. За допомогою темнових вольт-амперних характеристик *p*-NiO/*n*-ZnO було визначено, що фотоелектричні характеристики досліджуваних зразків є обмеженими надто великими значеннями послідовних опорів та коефіцієнтів ідеальності діодів, які пов'язані із дефектами в межах гетеропереходу та недосконалим дизайном гетероструктур NiO/ZnO, що заважили створенню на їх основі ефективних напівпрозорих SE, які, у разі усунення цих проблем, можуть виготовлятися за допомогою недорогих і придатних для широкомасштабного виробництва електрохімічного і гідрохімічного методів.