

Міністерство освіти і науки України
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича
Інститут фізико-технічних та комп'ютерних наук
Кафедра електроніки і енергетики

Фотоелектричні властивості гетероструктури $\text{Cu}_2\text{O}/\text{CdS}/\text{Si}$

**Дипломна робота
Рівень вищої освіти - перший (бакалаврський)**

Виконав: студент 4 курсу, групи 432
спеціальності 153 – мікро- та
наносистемна техніка

Мірка С.В.

Керівник:

Козярський І.П.

До захисту допущено:
протокол засідання кафедри № 20
від 18.06.2021 р.
Зав. кафедри _____ доц. Майструк Е.В.

Анотація

У нижче наведеній роботі зображені результати досліджень фотоелектричних та електричних властивостей гетероструктури $\text{Cu}_2\text{O}/\text{CdS}/\text{Si}$.

Перший розділ даної роботи містить огляд літератури, присвяченої фізико-хімічним особливостям гетероструктури $\text{Cu}_2\text{O}/\text{CdS}/n\text{-Si}$ та її складових частин і компонентів, теоретичним основам електропровідності та фотопровідності напівпровідників широкозонних сполук.

Другий розділ описує технології створення гетероструктур, обладнання яке використовувалось при дослідженні фотоелектричних властивостей гетероструктури, також способи вимірювань та аналізу характеристик.

В третьому розділі представлені результати досліджень фотоелектричних властивостей гетероструктури $\text{Cu}_2\text{O}/\text{CdS}/n\text{-Si}$ та проведено аналіз отриманих залежностей.

Дана робота написана українською мовою, містить 51 сторінок машинописного тексту, 8 рисунків, 1 додаток

Зміст

Всуп.....	4
Розділ 1. Літературний огляд.....	5
1.1 Застосування тонких плівок.....	5
1.2 Оксид міді у сонячних фотоелементах.....	6
1.3 Електропровідні властивості.....	8
1.4 Сульфід кадмію.....	8
1.5 Синтез та вивчення напівпровідникових наночастинок.....	10
1.6 Матеріали і методи.....	11
1.7 Реакції іонів.....	11
1.8 Вплив форми фотокаталізаторів CdS на виробництво водню.....	12
1.9 Матеріал і методи. Підготовка фотокаталізаторів.....	16
1.10 Характеристика фотокаталізаторів.....	18
1.11 Виділення водню.....	18
1.12 Застосування.....	24
Розділ 2 Обладнання для дослідження.....	25
2.1 Спектрофотометр СФ-2000.....	25
2.2 Вакуумна установка УВН-70.....	26
2.3 Деякі відомості про LabVIEW.....	28
2.4 Agilent 34410A Мультиметр.....	30
2.5 Петаомметр Keysight B2985A.....	32
Розділ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА.....	33
Висновки.....	41
Література.....	42
Додаток.....	45

ВСТУП

У природі оксид міді буває у вигляді такого мінералу як куприту, який містить до 88,8% цієї речовини, тобто Cu_2O .

Cu_2O як матеріал електротехніки використовується ще з 1920-х років, на їх основі збудовані перші випрямлячі. Досить недавно оксиди міді почали широко використовувати для сонячної енергетики. Перевагами цих оксидних плівок міді, матеріалу електротехніки та енергетики яка тісно пов'язана з сонцем, є нетоксичність для організму, багато способів отримання, дешевого отримання міді за рахунок широкого розповсюдження.

Останніми роками основним питанням залишалось розширення межі використання оксиду Cu_2O в сонячній електроніці та енергетичній промисловості є покращення оптичних і електричних характеристик цих оксидів. Важливо, що у відповідності з вмістом кисню Cu_2O сильно перемінює властивості (ширину забороненої зони та провідність).

Цікавим є дослідити відповідність електричних і оптичних властивостей утворення тонкошарових плівок оксиду міді від технічних методів їх отримання технологією ВЧ-магнетронного розпилення та визначити фотоелектричні властивості гетероструктур на основі кремнію із використанням цих тонкоплівкових оксидних шарів.

Розділ 1. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Застосування тонких плівок Cu_2O

Основною перевагою використання оксидів міді полягає в тому, що їх нетоксичність для людини мінімальна, якщо порівнювати з іншими елементами періодичної системи As, Cd, Pb, Co та іншими. Багато матеріалів які взаємодіють з оксидом міді дає можливість дуже великої кількості методів для дешевого синтезу тонких плівок, наприклад золь-гельметод. Якщо плівки Cu_2O мають великий інтерес, завдячуючи не маленькому потенціалу їх використання як основу газо чутливих датчиків утворених на основі діоксиду вуглецю (CO_2), також водню (H_2), і не менш популярного монооксиду вуглецю (CO), з діоксидом азоту (NO_2), і тому що вони мають широкий діапазон газових датчиків, велику чутливість в сенсорах малих концентраціях інертних газів, ще великою перевагою їх є те, що вони мають не великі розміри і дешеву вартість виготовлення, це і дозволило добитись тільки напівпровідникові окиси металів, SnO_2 , NiO , ZnO і інші. Це дозволило досягнути при високих температурах низького опору, тобто високої провідності, яку, вважають результатом деяких перестановок між атомами Cu і O. Дотого того, такі поєднання використали щоб сконструювати датчики, літєво-іонних акумуляторів, магнітної пам'яті і каталізаторів, але навіть при таких передбаченнях вони (тобто оксиди) є одні з небагатьох, які виявлені одні з найперших напівпровідників. Оксид міді є ідеальним матеріалом для оптично електронних пристроїв які мають високий коефіцієнту поглинання (до 85%) і в яких рухливість зарядів досить велика.

Мідний оксид - це високоефективний напівпровідник p-типу, який має досить високий коефіцієнт поглинання у видимій області, що робить його ідеальним для використання в якості фотокатодного матеріалу для реакції виділення водню. Однак теоретична ефективність оксиду купруму все ще недосяжна в практичних ситуаціях через сильну фотокорозію та високу швидкість рекомбінації фотогенерованих електронно-дірочних

пар. У цій роботі в якості захисного шару використовували надтонкий TiO_2 , осаджений атомним шаром (ALD), а $\text{rGO} / \text{NiFe-LDH}$ завантажували як прикрасу каталізатора на фотокатоді Cu_2O . Захисний шар призвів до придушення фотокорозії Cu_2O , а каталізатор сприяв кінетиці хімічної реакції. Щільність струму, що генерується фото, досягла $-3,71 \text{ mA} / \text{cm}^2$, а ефективність фотоелектричного перетворення досягла $0,41\%$. Детально досліджено також вплив каталізатора на вбудоване електричне поле фотокатода та транспортний механізм носія. Ця робота цим представляє нову ідею застосування Cu_2O в області фотоелектрохімічного (PEC) розщеплення води.

1.2 Оксид міді у сонячних фотоелементах

В час коли сонячні перетворювачі в основі яких є тонкі плівки аморфного кремнію забирають перші місця за обсягами виробництва серед інших тонко плівкових технологій - обсяг світового ринку тонко плівкових Si елементів сягає 76% , сонячних кристалів на основі телуриду кадмію – практично сягає 20% світового ринку. Будем це пояснювати з тим, що вартістю не висока і доступністю сировини на скільки це дозволяється, і також надто високої стабільності параметрів, ніж в інших багат шарових структурах. Оскільки кремній – являється одним з найбільш поширеним матеріалом в нашій планеті. Також Cu_2O представляє досить велику зацікавленість їх у потенційному застосуванню, що дозволить їх використання у сонячних панелях. Cu_2O і CuO є такими напівпровідниками, що мають високе оптичне поглинання у видимому та інфрачервоній областях спектрального аналізу. Практично не токсичний і сильно економний процес виготовлення роблять оксид міді альтернативою заміною кремнію, який зазвичай використовується для виготовлення сонцесприймаючих сенсорів. Тоді ми робим висновок, що тонкі плівки оксиду міді мають ймовірність використовуватись для виробництва сонячних елементів і фотоприймачів.

Для вирощування тонких плівок наноструктури Cu_2O на різних провідних підкладках застосовували недорогий метод електроосадження. Тут вперше досліджено вплив підкладки на морфологію, структурні та оптичні властивості тонкоплівкових електроплів, як активний шар для застосування сонячних елементів, за допомогою скануючої електронної мікроскопії, рентгенівської дифракції, Uv-vis спектроскопії та фотолюмінесценції. Результати свідчать про однофазне утворення полікристалічної кубічної структури тонкої плівки Cu_2O на трьох підкладках. Тільки площина дифракції з'явилася на підкладках ІТО та Au, що демонструє хорошу якість кристалів. Утворений Cu_2O на підкладці Au мають найменші розміри зерен і найбільшу площу поверхні. Оптичні результати показують, що виготовлені плівки Cu_2O мають ширину зазору 2,03, 2,03 та 1,93 eV для підкладок Au, ІТО та FTO відповідно. Вирощені кристали Cu_2O на підкладці Au мають найнижчу інтенсивність PL, що свідчить про більш високу ефективність розділення фотогенерованих носіїв і найнижчу швидкість рекомбінації, а також високу якість кристалів. ВАХ характеристичні криві виготовлених тонких плівок показали, що зразки мають нелінійну поведінку випрямлення, тоді як Cu_2O , нанесений на підкладку Au, має найбільший прямий струм. Результати ВАХ підтвердили та підтримали всі інші результати, отримані з використанням методів рентгенографії, методології рентгенографії та PL. Отже, результати вказують, що електроосаджений Cu_2O Тонка плівка на підкладці Au є найбільш сприятливою для застосування на сонячних елементах.

Оксид міді, має коричнево-червоний колір, і кристалічно кубічну структуру з шириною забороненої зони 2 - 2.2 eV.

Цей оксид є напівпровідниковим матеріалом і має характеристики р-типу, тому що має вільної вакансію в кристалічній структурі.

Обидва ці оксиди є напівпровідниковими матеріалами і виявляють характеристики р-типу, завдяки наявності у міді вільної вакансії в кристалічній структурі.

1.3 Електропровідні властивості

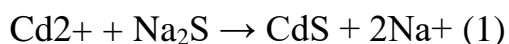
У спокійному стані всі вільні електрони будь-якого металу обертаються навколо ядра. При підключенні зовнішнього джерела впливу вони шикуються в певній послідовності і стають носіями струму. Ступінь здатності металу пропускати крізь себе останній і називається електропровідністю.

1.4 Сульфід кадмію — сполука з хімічною формулою CdS.

За звичайних умов являється твердою речовиною жовтого кольору. У природі має вигляд двох різних кристалічних структур, є більш поширеним як домішка в структурованих цинкових рудах, які є основними джерелами кадмію.

Сульфід кадмію не горить і не розчиняється у воді. У разі нагрівання на повітрі має місце його розкладання з утворенням оксиду кадмію та двоокису сірки.

Синтез CdS. Сульфід кадмію може бути отримано шляхом осадження із розчинних солей кадмію. Ця реакція використовується для гравіметричного аналізу й якісного неорганічного аналізу.



Одновимірні (1D) ієрархічно структуровані наночастинки CdS (NP) / NiO нановолокна (NF) гетероструктури з надзвичайною ефективністю видалення для діазофарбника Конго червоний (CR) були виготовлені в процесі поетапного синтезу, який включав хімічне осадження в купанні в поєднанні з прожарюванням і вологі хімічні реакції з мікрохвильовою

під час. Кристалічні фази, морфології, властивості оптичного поглинання та адсорбційна фотокаталітична активність готових продуктів досліджувались методами з високою роздільною здатністю, N₂ ізотермі адсорбції / десорбції, спектроскопія дифузного відбиваючого спектру (DRS) та УФ-спектру (ФЛ) відповідно. Експериментальні результати показали, що бінарні гетеропереходи CdS NP / NiO NFs із супутниковим ядром складаються з NPs CdS n-типу розміром 10–30 нм, декорованих 1D p-типом NiO NF діаметром 60–180 нм і довжиною до мікрон, які самостійно збираються наночастинками розміром 30–100 нм. Запропоновано можливий механізм формування гетеропереходу CdS/NiO із супутниковим ядром. Цікаво, що ефективність знебарвлення гетероструктур CdS / NiO досягала до 91,2% при видаленні водної CR при високій концентрації протягом 40 хв при опроміненні видимим світлом, що було приблизно в 5,2 та 3,8 рази вище, ніж у чистих нанокристалів CdS (NC) і суміш NiO NF і CdS NC. Крім того, також досліджувався можливий фотокаталітичний механізм. Розроблені гібридні CdS NPs / NiO NFs гетероструктури демонстрували покращену фотокаталітичну активність, що пояснюється посиленням адсорбції видимого світла, ефективним поділом фотогенерованих електронів і дірок та високою адсорбційною здатністю до молекул CR, демонструючи тим самим чудові видимі - фотодеградація CR з високою концентрацією у світлі. Ця робота може забезпечити зелену інженерну технологію гетеропереходу для розробки вдосконалених багатофункціональних нанокомпозитів для їх застосування в очищенні стічних вод. ефективне розділення фотогенерованих електронів і дірок і висока адсорбційна здатність до молекул CR, тим самим демонструючи чудову фотодеградацію CR з високим вмістом у видимому світлі. Ця робота може забезпечити зелену інженерну технологію гетеропереходу для розробки вдосконалених багатофункціональних нанокомпозитів для їх застосування в очищенні стічних вод. Ефективне розділення фотогенерованих електронів і дірок, а також висока адсорбційна здатність до молекул CR, тим самим

демонструючи чудову фотодеградацію CR, що управляється видимим світлом, у високій концентрації. Ця робота може забезпечити зелену інженерну гетероперехідну технологію для розробки вдосконалених багатофункціональних нанокомпозитів для їх застосування в очищенні стічних вод.

Синтез та електрофізичні властивості композиційних матеріалів на основі гетероструктур CuS/CdS, Cu₂O/CdS, Ag₂S/CdS Полімерні композиційні матеріали на основі CuS/CdS, Cu₂S / CdS та Ag₂S / CdS були отримані шляхом заміщення іонів Cd на іони Ag, Cu (II) та Cu (I) у стержнеподібному нанокристалічному CdS та досліджено їх електрофізичні властивості. Було встановлено, що електропровідність гетероструктура CuS/CdS на п'ять порядків вища порівняно до CdS. Було показано, що значення комплексу діелектрична проникність при однаковому вмісті наночастинок CuS та Cu₂S більше ніж на 40% для системи 0,3 Cu₂S / Cd порівняно з 0,3 CuS / CdS.

1.5 Синтез та вивчення напівпровідникових наночастинок.

Різні сульфіди металів швидко розвиваються завдяки унікальній фотоелектричній властивості та широке їх використання сполуки в різних областях. Через розвиток з нанокристалічних гетероструктур дослідники можуть досягти недорогого синтезу та можливості їх використання у різних галузях, особливо в конкретних біологічних маркерах, широкосмугові світлодіоди та високо ефективні сонячні батареї. Різні методи синтезу. Були наноструктури CuS з різною морфологією такі, як гідротермальні, мікрохвильові та синтез шаблону. Шляхом налаштування синтезу умови, наноструктури з різним номером аспекту можуть бути отримані такі як наночастинки, нанопровідники, наностержни, нановолокна. Тому синтез нових матеріалів з нанорозмірним гетеропереходом та вивчення їх електричних властивостей в широкому діапазоні частот і температура - важливе завдання.

1.6 Матеріали і методи

Напівпровідникові гетероструктури $\text{Ag}_2\text{S}/\text{CdS}$, CuS/CdS та $\text{Cu}_2\text{S}/\text{CdS}$ готували під час двоступеневого синтезу. Раніше нанодропи CdS синтезували кристалізацією. Після охолодження до температури навколишнього середовища, осад промивали дистильованою водою, центрифугували і сушили при 330 К. Залишковий вміст іонів міді в розчин визначали спектрофотометрично, використовуючи реакції комплексоутворення з Cu (I) та Cu (II).

Згодом такі гетероструктури, як $\text{Ag}_2\text{S}/\text{CdS}$, CuS/CdS і $\text{Cu}_2\text{S}/\text{CdS}$ отримували заміщенням іонів Cd на іони Ag , Cu (II) та Cu (I) відповідно.

1.7 Реакції іонів

Заміщення проводили при 295 К у розчинах AgNO_3 , $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ та Cu_2O відповідно до процедури. Полімерні композиційні матеріали готували шляхом змішування полівініліденфторид з напівпровідником. Порошок ($\text{Ag}_2\text{S}/\text{CdS}$, CuS/CdS та $\text{Cu}_2\text{S}/\text{CdS}$, отриманий в ця робота) подрібнювали на механічному млині з утворенням однорідна суміш, яка після цього була пресована при температура розплаву полімеру.

Кристалічну структуру визначали за допомогою рентгенівського аналізу (ДРОН-4-07, Ломо, СРСР) при викидах міді катод з нікелевим фільтром у геометрії Бреґга – Брентано.

Складна електропровідність на низьких частотах (0,1, 1 і 10 кГц) вимірювали за допомогою вимірювача іммітансу E7-14 двоконтактним методом у діапазоні температур від 295 до 355 К. Частотна залежність електропровідність вимірювали спектрометром Solortron SI 1260 в діапазоні частот 102–106 Гц.

Діелектричної проникності в діапазоні НВЧ (МВт) вимірювали за допомогою інтерферометра на частоті 9 ГГц.

Утворення наностержнів CdS в етилендіаміні було здійснюється згідно з рівнянням Іони Cd з розчину $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ реагують з етилендіамін-ліганди, утворюючи відносно стабільний комплекс (1), який за певних умов синтезу сприяє переростання кристалів у паличкоподібну структуру. ТЕМ-зображення гетероструктури CuS/CdS з 85-моль. Заміщення іонів Cd іонами Cu (0,85 CuS/CdS), що показує стрижні із середньою довжиною 150–200 нм, і товщиною приблизно 20 нм.

Ідентифікацію характеристик структури проводили за допомогою дифракційних картин. Рентгенограми показують дифракційні піки, які вказують на утворення гетероструктури CuS/CdS та $\text{Cu}_2\text{S}/\text{CdS}$. Гетероструктура $\text{Cu}_2\text{S}/\text{CdS}$ складається з наноструктури CdS з кубічним Cu_2S на поверхні.

1.8 Вплив форми фотокаталізаторів CdS на виробництво водню

Гранульований та пластинчастий структурований сульфід кадмію (CdS) з формою гілок, цвітної капусти та наностержнів, були синтезовані за допомогою гідротермічного процесу. Під час синтезу етилендіамін використовували як матрицю, а деіонізовану воду як координаційний агент. Експериментальні результати показують, що морфологія наночастинок CdS контролювалася концентрацією, концентрацією попередника CdS та молярним співвідношенням $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ до тіосечовини. Було виявлено, що ключовим етапом контролю форми є утворення ядер CdS шляхом розкладання комплексу кадмій-етилендіамін. На основі концентрацій EN у воді були отримані різні форми наночастинок CdS. Частинки CdS, синтезовані в чистій воді, мають зернисту та пластинчасту форму із сумішшю гексагональних та кубічних кристалічних структур. Коли концентрацію EN збільшували до 30%, спостерігали розгалужену морфологію частинок CdS. Нарешті, при синтезі в чистому розчині EN були розроблені частинки нанородів CdS з гексагональною структурою. Хоча концентрація EN відіграє важливу роль у формі частинок CdS, експериментальне спостереження показало,

що діаметр та співвідношення сторін наготовлених нанородів CdS визначаються концентраціями попередників CdS. В процесі фотокаталітичного виробництва водню майже 4,077 ммоль H_2 було продуковано за 0,05 г нанородів CdS за 4,0 год. Швидкість виділення водню над фотокаталізатором на основі CdS-нанородів була приблизно в 42,6 рази вищою, ніж у гранульованому та агломерованому пластинчастому CdS. Нанородільні частинки CdS з гексагональною структурою були розроблені при синтезі в чистому розчині EN. Хоча концентрація EN відіграє важливу роль у формі частинок CdS, експериментальне спостереження показало, що діаметр та співвідношення сторін наготовлених нанородів CdS визначаються концентраціями попередників CdS. В процесі фотокаталітичного виробництва водню майже 4,077 ммоль H_2 було продуковано за 0,05 г нанородів CdS за 4,0 год. Швидкість виділення водню над фотокаталізатором на основі CdS-нанородів була приблизно в 42,6 рази вищою, ніж у гранульованому та агломерованому пластинчастому CdS.

CdS розроблені як високоефективні фотокаталізатори для виділення водню в результаті фотокаталітичного розщеплення води з використанням видимого світла. Гетеропереходи, утворені на межі розділів Cu_2O/CdS , полегшують поділ заряду, що сприяє фотокаталітичному розщепленню води і тим самим помітно покращує виділення водню ефективність. Для наногранул CdS, оздоблених Cu_2O , питомий водень на мілімолярному рівні досягається швидкість виділення 4,76 ммоль/год г, що в 72 рази перевищує показник звичайних CdS NB під опромінення джерела світла потужністю 400 Вт з використанням суміші Na_2S та $NaSO_3$ в якості жертви реагент. Поліпшення в виділенні водню, отримані завдяки оздобленню Cu_2O для Nd CdS набагато більші, ніж досягнуті для наночастинок CdS (NP) та CdS нанодропи (C3). Успіх використання Nd CdS як основи хостингу для оздоблення Cu_2O є відносяться до набагато краще оголених поверхонь CdS після обробки, що дає можливість прямого контакту CdS з розчином реагенту для

виділення водню, поки Cu_2O повертається також піддаються контакту з реагентом для очищення отворів.

Основними джерелами енергії сьогодні є вичерпні матеріали, такі як нафта, вугілля та інші органічні матеріали, які виробляють вуглекислий газ і тим самим викликають парникові ефекти. Тому що обмежена доступність природних джерел енергії та проблема глобального потепління людство переживає наслідки енергетичних криз та ненормальних кліматичних змін. Тому шукали альтернативні чисті джерела енергії і розслідували протягом останніх двох десятиліть для пом'якшення негативних факторів. Водень, найчистіше паливо порівняно з паливом на основі вуглецю виробляє воду як єдиний продукт, і був предметом інтенсивних дослідницьких зусиль. Широке розмаїття способів отримання водню розроблений, включаючи електрохімічне розкладання, біологічні методи та риформінг метану.

Виділення водню шляхом фотокаталітичного розщеплення води проте багато дослідників розцінюють як привабливу засоби виробництва водню, оскільки він використовує переважно сонце світло і вода, як відновлювані, так і широко доступні.

Електронні властивості фотокаталізаторів визначають їх ефективність у виробництві водню. Відповідний фотокаталізатор для розщеплення води повинен мати зону провідності це більше негативно, ніж потенціал зменшення води, і валентна смуга, яка є більш позитивною, ніж окислення потенціал води. Щоб генерувати фотони, індуковані електронами, а фотокаталізатор повинен збуджуватися падаючим світлом. У воді розщеплюючись, фотокаталітична реакція відбувається на поверхні фотокаталізатора, тому бажана висока питома площа поверхні забезпечити більш активні сайти. Також платний транспорт критично важливий для ефективних фотокаталітичних реакцій. Розщеплення води потрібні електрони для зменшення H^+ для утворення водню. Однак індуковані фотонами електрони можуть рекомбінувати фотоіндуковані дірки, стаючи неактивними для розщеплення води.

Отже, було розроблено кілька підходів до запобігання рекомбінації пар дірка-дірка.

Наприклад, використані реагенти зазвичай використовуються як поглиначі отворів для сприяння поділу заряду для виробництва водню. Деякі дослідники прикрашали благородні метали на поверхонь фотокаталізаторів як електронних колекторів до посилити поділ заряду. Деякі створили гетеропереходи, що відповідають структурі смуги, такі як гетеропереходи типу II, щоб полегшити поділ заряду. Тип II гетеропереходи утворюються на межі розділу двох напівпровідників, які мають вирівнювання по смугах в шаховому порядку. До використовувати більш повно сонячну енергію для напівпровідникового фотокаталітичного розщеплення води, використання напівпровідників з малі зазори енергетичної зони є кращими для забезпечення виготовлення водню при освітленні видимим світлом, оскільки видиме світло є основною складовою сонячного світла. CdS - напівпровідник n-типу з шириною зазору близько 2,4 eV і може збуджуватися видимим світлом. Він має широкий асортимент добавки, включаючи фотокаталізатори, сонячні елементи, та п'єзоелектричні наногенератори. Завдяки малому енергетичному зазору та відповідній структурі зон, CdS також був застосовується у фотокаталітичній воді, що розщеплюється під видимим світлом підсвічування. Композитні фотокаталізатори, оздоблені благородними металами, привернули велику увагу. Мета посилення поділу заряду. Наприклад, Pt прикраса може помітно збільшити швидкість виділення водню покращуючи поділ заряду. Однак найбільш благородний метали є дефіцитними і дорогими. Більш ефективним підходом є створення гетеропереходів типу CdS II типу прикрасивши його недорогим оксидом, що відповідає структурі смуги напівпровідники. TiO₂ - один із популярних варіантів. Однак результуючі темпи виділення водню все ще є незадовільними ймовірно через низьку рухливість електронів TiO₂.

У цій роботі наноструктури CdS, оздоблені Cu₂O розроблені як високоефективні фотокаталізатори водню еволюція від фотокаталітичної води, керованої видимим світлом розщеплення. Підготовлено три наноструктури CdS, в тому числі нанопилюшки (NB), наночастинки (NP) та нанопровідники (NW). Щоб зрозуміти вплив наноструктур на їх ефективність розщеплення води, аналізуються та обговорюються фізико-хімічні властивості трьох наноструктур CdS. Cu₂O оформлений на поверхнях CdS наноструктури з використанням простого, швидкого та недорогого хімічного речовини

Процес осадження ванни. Cu₂O - напівпровідник р-типу з невеликим зазором в енергетичній зоні близько 2 eV та його зонна структура також задовольняє умови для фотокаталітичного розщеплення води.

Однак роль Cu₂O у цій роботі полягає у підвищенні заряду поділ через формування гетеропереходу типу II з хостинг наноструктури CdS. У декорованих Cu₂O композитах CdS - смуги провідності та валентності Cu₂O енергетично вищі, ніж у CdS, забезпечують ефективний заряд поділ, оскільки фотоіндуковані електрони та дірки мігрують у різні матеріальні сфери [29]. Прикраса Cu₂O значно покращує швидкість виділення водню для три наноструктури CdS, у 72, 7,8 та 5,9 рази більше, ніж досягнуті за допомогою звичайних CdS NB, CdS NP та CdS NW відповідно. Високий та мілімолярний рівень питомого водню швидкість виділення 4,76 ммоль/год г досягається з використанням окислених Cu₂O CdS NB.

1.9 Матеріал і методи. Підготовка фотокаталізаторів

Як Nd CdS, так і Nd CdS готуються гідротермально методами, використовуючи в якості автоклаву ємністю 100 мл реактор. Для одержання CdS NB, 0,389 г полівінілпіролідону (58 г/моль) розчиняють у 80 мл деіонізованої води, а потім 1,080 г Cd (NO₃) 2. 4H₂O і 0,266 г тіосечовини додаються. Потім отриманий розчин герметизують сталлю

емність для гідротермічної обробки. Гідротермальна обробка триває при $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ протягом 12 год. Потім осад збирають і двічі промивають водою і один раз з етанолом шляхом ультразвукової обробки та використання центрифуги.

Нарешті, порошки CdS NB отримують сушінням у печі при температурі $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ протягом 12 год. NP CdS готувались за тими самими процедурами, що і для підготовки CdS, за винятком того, що реагенти різні. Для реакції використовують Cd (CH₃COO) 2H₂O та 0,62 г Na₂S.

Cd (CH₃COO) 2H₂O і Na₂S функціонують як джерела Cd і S, відповідно. CdS виробляються після гідротермальної обробки і збираються, дотримуючись тих самих процедур для CdS NB. Для приготування CdS, 80 мл етилендіамін використовується як розчинник і як покриття реагент для спрямування одновимірного зростання CdS. Джерела Cd та S складають 1,85 г Cd (NO₃) 4H₂O та 0,38 г S порошоків відповідно.

Температура реакції та час реакції в сольвотермічному процесі такі ж, як і в гідротермічній процес, який був розроблений для підготовки CdS NB та CdS NP. Сушіння в печі при $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ протягом 12 год дало жовтий колір порошки як продукти. Для оздоблення Cu₂O 0,12 г готового зразка CdS спочатку добре розпорошується ультразвуком протягом 1 год у 10 мл 0,2 М. Розчин Cu (CH₃COO). Осади, які поглинули Cu. Потім іони збирають за допомогою центрифуги. Після цього осад поміщають у 0,2 М 5 мл розчину NaOH і утворена таким чином суспензія знову перемішується ультразвуком до утворюють добре розсіяний стан. Потім вводять суспензію тепла водяна баня, яка підтримується при температурі не менше $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ і перемішують до досягнення рівноважної температури. Після цього поступово додають 5 мл 0,2 М водної глюкози готову суспензію як відновлюючий реагент. перемішування продовжують протягом 10 хв. Нарешті, осади є двічі промивали водою DI і збирали за допомогою центрифуги, перед тим, як сушити на ніч у печі при $80\text{ }^{\circ}\text{C}$, щоб отримати продуктів.

1.10. Характеристика фотокаталізаторів

Для спостереження за морфологією та наноструктурою фотокаталізаторів використовується скануючий електронний мікроскоп з польовим випромінюванням (FESEM, S4700, Hitachi). Кристалографічна структура зразків досліджується за допомогою аналітичної передачі електронного мікроскопа. Рентгенівський порошок дифрактометр використовується для визначення кристалічної фази та фазової чистоти. Елементи та їх хімічний стан на поверхню фотокаталізатора аналізують за допомогою рентгенівського фотоелектронного спектрометра з високою роздільною здатністю. Мікроструктурні характеристики зразків визначають за допомогою аналізів адсорбції / десорбції N_2 , проведених при 77К. Характеристики випромінювання світла аналізують за допомогою спектроскопії фотолюмінесценції (PL) (F-4500, Hitachi) при довжині хвилі збудження 330 нм.

1.11. Виділення водню

Для фотокаталітичної реакції реактор оснащений внутрішнім компонент опромінення розроблений і використовується для ефективного використання світла. Температуру реакції підтримують при 20 ° C за допомогою а циркуляційна водяна сорочка. Ртутна лампа високого тиску потужністю 400 Вт (HL400EH-5, SEN-LIGHTS) використовується як джерело світла, випромінюване світло з довжиною хвилі менше 400 нм відфільтровується розчином $NaNO_2$. Потік енергії джерела світла як виміряна в нашій експериментальній установці становить 0,935 Дж/с cm^2 і діапазон довжин хвиль після фільтрації ультрафіолетового світла містить три основні піки при 437, 546, 579 нм. Для фотокаталітичної реакції:

0,175 моль Na_2S та 0,125 моль $NaSO_3$ додають до 500 мл DI

Вода як використаний реагент для сприяння відділенню отворів і тим самим виділення водню. Маса 0,05 г готові фотокаталізатори додають до реактора для індукції виділення водню. Суспензія підтримується

рівномірною з амагнітна мішалка. Перед проведенням вимірювань реактор є продувають азотом протягом 15 хв для видалення залишкового повітря і до забезпечити герметичність реактора. H_2 , вироблений з фотокаталітична реакція розщеплення води транспортується за допомогою циркуляційний насос до газової хроматографічної системи для виявлення водню з використанням Ag в якості газ-носій.

Спостерігається морфологія та мікроструктура трьох наноструктур CdS до і після оздоблення Cu_2O з використанням SEM. NB CdS будуються за

щільно агреговані наночастинки з утворенням однорідних, сферичних намистини з шорсткою поверхнею і середнім діаметром 135 нм. Після завантаження Cu_2O середній розмір CdS NB збільшується до 155 нм, при цьому Nd CdS зберігають свою індивідуальну сферичну форму без появи агломерації. Поверхня намистин стає ще більш грубою.

Оздоблення Cu_2O , менші ніж 20 нм, і частинки чітко розрізняються, Після осадження Cu_2O індивідуальність частинок значно знижується, і частинки сильно агрегують до утворюють великі шматки скупчень частинок мікронних розмірів.

Очевидно, наночастинки CdS пов'язані між собою депонованим Cu_2O . Поверхня CdS є гладка до обробки Cu_2O і шорстка після обробки Cu_2O . Ці нанопровідники мають довжину кілька мкм.

Після осадження Cu_2O кашцеподібні структури утворюються на поверхні CdS NW. Нанодроти CdS покриті відкладеннями Cu_2O , спостерігаються великі грудочки на вставці. Очевидно, деякі з нанодроток входять до комплекту з осадом Cu_2O , який служить в якості зв'язуючого матеріалу між нанодротоми. Складові елементи композитні фотокаталізатори аналізуються з енергією дисперсійна спектроскопія, що охоплює область порядку квадратних мкм. Усі композитні фотокаталізатори мають атомне відношення Cu до O приблизно 2 до 1, що підтверджує стехіометрію Cu_2O . Навантаження Cu_2O у трьох композитних фотокаталізаторах приблизно рівні при 5,4% мас.

Мікроструктура фотокаталізаторів додатково вивчається за допомогою ПЕМ і показана на. У Nd CdS, CdS наночастинки щільно агрегують, утворюючи досить щільні NB з середній діаметр 135 нм, що добре узгоджується з SEM-спостереження. Врізка у верхньому правому куті Це наночастинки які перекривають одна одну і оцінюють міжшарова відстань становить 0,36 нм, що відповідає величині d_s -простору в напрямку (100) гексагонального CdS. Отриманий малюнок кільця вказує на полікристалічність CdS NB. Слідом за Cu_2O . Оздоблення, поверхня CdS NB здається великою грубіше, ніж у звичайного CdS NB, як видно з порівняння. Однак кристалічний Cu_2O відсутній домен можна ідентифікувати за зображенням HRTEM у верхній частині лівий кут. Шаблон SAED для приурочених Cu_2O CdS NB знову є кільцевим, але з меншим кільця, що відрізняються від звичайних CdS NB, ймовірно через перешкоди від аморфного родошища Cu_2O .

Ці наночастинки мають добре розрішені решітчасті бахроми, і кожна наночастинка являє собою монокристалічний домен. Однак для кількох результатів використовується шаблон кільця.

Після завантаження Cu_2O індивідуальність цих наночастинок CdS значно послаблюється, і ці наночастинки виглядають як сильно агреговані скупчення частинок. Знову ж таки, жоден кристалічний домен Cu_2O бути не може ідентифіковані. Рівнинні CdS NPs, імовірно через наявність аморфного середовища Cu_2O навколо CdS.

Виявляє міжшарову відстань 0,33 нм за погодженням з d -інтервалом у (002) напрямку гексагонального кристала CdS. Точковий малюнок, отриманий з SAED, передбачає монокристалічність CdS NW. Поклади Cu_2O покриті поверхнею Cu_2O -декоровані CdS NW, роблячи їх поверхні більш грубими та спостерігаються решітчасті смуги CdS NW набагато гірше вирішені, ніж у звичайних CdS NW. Знову ж таки, ніяких зайвих сигналів, пов'язані з Cu_2O , спостерігаються в SAED. Структурні характеристики CdS та Cu_2O оформлені. Композити CdS додатково досліджують, виконуючи N_2 налізи адсорбції / десорбції. Записані

ізотерми є, що демонструє ізотерму типу IV та тип H3, петля гістерезису, типова для мезопористих матеріалів. Відповідні структурні параметри, включаючи питому поверхню площі та обсяги пір, щільна структура Nd CdS виявляється низькою питомою площею поверхні та малим об'ємом пор 6,3 м²/г і 0,028 см³/г відповідно. Відповідна адсорбція/десорбція ізотерми майже не демонструють очевидного циклу гістерезису. Після оздоблення Cu₂O, наночастинки Cu₂O генеруються на поверхні CdS NB, шорсткість їх поверхонь. Отже, специфічна площа поверхні Cu₂O-декорованих CdS NB є значною збільшено з 6,3 до 23 м²/г, тоді як об'єм пор становить лише незначно з 0,028 до 0,057 см³/г. Для CdS NP, питома поверхня різко падає з 81 до 41 м²/г, тоді як обсяг пор залишається майже незмінним. Після завантажування Cu₂O, осад Cu₂O обертається і з'єднується NP CdS утворюють великі скупчення частинок. Втрата індивідуальності частинок різко знижує питому область поверхні. Однак скупчення частинок залишаються пористими і демонструють однаковий рівень обсягів пор. У випадку з CdS NW, осад Cu₂O утворює тонкий шар на поверхнях CdS NW, такі, що ні питома поверхня поверхні, ні об'єм пор змінюється за допомогою оздоблення Cu₂O.

Всі ідентифіковано зразки, які мають гексагональний кристал CdS, і родовище Cu₂O не дає зайвих дифракційні піки. Таким чином, відкладення Cu₂O існують як аморфні домени в композитних фотокаталізаторах. Примітно, Вставки відповідають зображенням SEM із великим збільшенням. Склад композиції Cu₂O/CdS фотокаталізатори, визначені енергетично дисперсійними вимірювання спектроскопії (ЕЦП). Хоча CdS NW є монокристалічними зі специфічним напрямом росту, жодні конкретні кристалічні площини не виділяються в, оскільки CdS NW присутні випадково Навантаження Cu₂O послаблює дифракційні піки цих CdS матеріалів, ймовірно, тому, що вони покриті Cu₂O.

Аналізи проводяться для підтвердження наявності Cu₂O у зразках. Cu₂O замість CuO. Можливість того, що це Cu (II), може бути безпечно виключено, оскільки характерні енергії зв'язку.

Cu (II) для Cu 2p_{3/2} та Cu 2p_{1/2} дорівнюють 942,2 та 962 eV, відповідно, далеко не Cu (I) [40].

Це вказує на те, що зв'язок Cd і S залишається незмінною і після включення Cu₂O.

Результати, що стосуються виділення водню з використанням рівнинні та оздоблені Cu₂O фотокаталізатори CdS.

Примітно, що звичайний Cu₂O цього не робить генерувати водень під опроміненням видимого світла. Кількість виділення водню в першу годину, як правило, становить недооцінено, оскільки джерелу світла потрібно приблизно 15 хв розігріти, щоб досягти його повністю функціонального стану. Крім того, нелінійність кривих виділення водню передбачає виникнення деяких процесів активації. Однак лінійність встановлюється з другої години. Походження цих процеси активації незрозумілі і потребують подальшого дослідження. Nd CdS дають швидкість виділення водню лише 3,3 ммоль/год, ймовірно, через їх низьку питому площу поверхні. Що стосується CdS, їх велика питома поверхня призводить до вищого рівня

Швидкість виділення водню 9,6 ммоль / год. Виділення водню швидкість додатково збільшується до 12,4 ммоль / год для CdS, що пояснюється кращою кристалічністю і меншими пастками заряду в одиночній кристалічній CdS і, отже, менше центрів рекомбінації заряду для кращого використання заряду для водню Для композитних фотокаталізаторів CdS, оздоблених Cu₂O, швидкість виділення водню значно підвищується. Для CdS, швидкість виділення водню збільшується до 238 ммоль / год, що в 72 рази перевищує показник, отриманий за допомогою простих Nd CdS. Для CuO-оздоблені CdS NPs і NWs, виділення водню норми зростають до 74,3 і 73,3 ммоль / год, що становить лише 7,8 і в 5,9 разів більше, ніж у відповідних CdS, відповідно. Гетероперехід типу II на інтерфейсах Cu₂O / CdS, хоча і допомагає відокремлювати фотоіндуковані пари отворів, повинен бути сформований з відповідною структурою, щоб максимізувати

ефективність своїх функцій. Домен CdS повинен контактувати з розчином реагенту для підтримки.

Реакція виділення водню, тоді як домен Cu_2O повинен також піддавати дії розчину реагенту для виконання своєї функції вилучення отворів. У зв'язку з цим Nd CdS служать як найкраща база хостингу серед трьох наноструктур CdS розглядається тут для оздоблення Cu_2O . Після завантаження Cu_2O Cu_2O з'єднує CdS НЧ утворюють великі скупчення частинок і поверхні CdS СЗ покриті тонким шаром Cu_2O ; обидва ефекти зменшуються вплив доменів CdS на розчин реагенту та

тим самим зменшуючи ступінь поліпшення виділення водню. Однак поверхні Nd CdS стають більш шорсткими а їх питома поверхня значно збільшується. Оздоблення Cu_2O , маючи на увазі, що домен CdS в Nd CdS є краще піддається впливу розчину реагенту, ніж інші дві CdS. Кінцевим результатом є значно більший поліпшення виділення водню.

Основна роль Cu_2O у цій роботі полягає у забезпеченні типу II гетероперехід, щоб допомогти відокремити пару електроотворів і тим самим зменшити заряд рекомбінації для вдосконалення виділення водню показані спектри ФЛ рівнини та відповідні Cu_2O -декоровані фотокаталізатори CdS.

Завантаження Cu_2O помітно гасить їх екситонічні викиди від усіх трьох оздоблених Cu_2O CdS наноструктур, приблизно 70% від їх початкової пікової інтенсивності.

Це явище свідчить про успішне придушення рекомбінація заряду через утворення Cu_2O / CdS гетероперехід, що в свою чергу сприяє виділенню водню.

Очевидно, що фотоіндуковані електрони Cu_2O мають тенденцію до переходу в зону провідності CdS, тоді як фотоіндуковані отвори CdS мають тенденцію рухатися до валентної зони Cu_2O . Зрештою, електрони та дірки добре відокремлені.

У цій роботі Cu_2O вдало наноситься на поверхні наноструктур CdS простим хімічним осадженням у ванні процес формування

гетеропереходів типу II, що полегшують поділ фотоіндукованих пар отворів-отворів. Таким чином, досягаються суттєві поліпшення для видимого фотокаталітичного виділення водню в наноструктурах CdS. Cu₂O оздоблення CdS покращує кількість виділених водень у 72 рази, отримуючи мілімолярну питому вагу швидкість виділення водню 4,76 ммоль / год. Таким чином, наноструктури CdS, оздоблені Cu₂O, є, таким чином, перспективними фотокаталізаторами виробництва видимого світла на основі водню.

1.12 Застосування

Синтетичні пігменти кадмію на основі сульфіду кадмію цінуються за їхню хорошу стійкість до високих температур, світла та погодних умов, хімічну стійкість та високий ступінь непрозорості. Як пігмент CdS відомий як кадмій жовтий. Станом на 1982 рік вироблялося близько 2000 тонн жовтого пігменту щорічно, що становило близько 25 % від кадмію, обробленого на комерційній основі.

Також застосовується як пігмент у пластику. З екологічних причин промисловість виробляє нове покоління кадмієвих барвників для художніх фарб, які є надзвичайно хімічно стійкими.

Сульфід кадмію раніше використовувався у напівпровідниках, фоторезисторах або як люмінофори для кінескопів. На основі сульфіду кадмію створюють наноструктуровані матеріали (квантові точки, нанодротини, нанотрубки тощо), тобто звичайні сполуки, синтезовані у штучно створених кордонах «обмеженої геометрії». Такі матеріали знаходять застосування у медицині та біології як люмінесцентних міток. Також вони можуть використовуватися в оптоелектроніці, лазерах, світлодіодах, QD-LED дисплеях тощо.

Розділ 2 ОБЛАДНАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ЯКОГО ВИГОТОВЛЯЮТЬ ТА ДОСЛІДЖУЮТЬ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ СТРУКТУРИ І ТОНКІ ПЛІВКИ

Одним з представників таких установок є спектрофотометр
СФ-2000



Рис 2.1. Спектрофотометр СФ-2000

Спектрофотометр СФ-2000 – є спектрофотометром який має матрицю на основі діодів. Нові технологічні рішення в його конструкції, дозволяють отримати оптимальну рівновагу між компактністю, швидкодією та точністю роботи приладу.

Конструкція має таку особливість, що видимий та ультра фіолетовий канали працюють зовсім окремо, що не дозволяє їх взаємний вплив один на одного. Матеріали, які мають деякий вплив на утворення спектрального інтервалу, фокусування і дослідження індивідуально сформовані для кожного з каналів по різному.

У СФ-2000 використуються високорівневі оптичні елементи з кварцовим покриттям що дозволяють отримувати хороші характеристики пропускання з мінімальним розсіюванням світла.

Спектрофотометр СФ-2000 можна підключити до комп'ютера і миттєво скидати результати аналізу на жорсткий диск або флешку. Для підключення до ПК є USB. Якщо потрібно підключити СФ-2000 до старого комп'ютера або при відсутності USB, додатково є в наявності

СОМ-порт. При координації спектрофотометра з ПК швидкість обробки даних і робота в цілому йде швидше. Програмне забезпечення для взаємодії приладу з ПК йде в комплектації разом з приладом - на окремому диску.

Ще одна важлива перевага - компактні розміри. Якщо встановити на стіл і налаштувати прилад, підключити його до комп'ютера, додати принтер, то на столі ще залишиться місце для інших предметів, необхідних для роботи оператора. Створені всі оптимальні умови для роботи, наприклад, навіть кришка кюветного відділення відкидається під великим кутом, що полегшує доступ до кюветак. Для стандартної кювети К10 потрібно всього 1 мл зразка. Також виробник відмовився від великої кількості клавіш і перемикачів, що спрощує управління - на спектрофотометрі розташовані дійсно тільки потрібні кнопки.

Робота спектрофотометра СФ-2000 проводиться в таких основних режимах: вимір коефіцієнта пропускання, оптичної щільності, концентрації, швидкості реакції. Джерелом випромінювання служать дейтерієва лампи японської фірми Hamamatsu, в каналі видимого світла використовуються галогенові лампи фірми Philips. Такі лампи служать довго, в разі необхідності заміни пошук таких ламп не викличе особливих труднощів.

Вакуумна установка УВН-70

Вакуумна установка УВН-70 використовується для утворення та підтримки вакууму, який потрібний для того, щоб в робочій камері установки виконувався процес нанесення плівок.

Якщо не брати до уваги різноманіття, структурні схеми установок для напилення покриттів вакуумним методом магнетронного нанесення, складаються з наступних систем:

- вакуумна установка, в склад до якої входять: затвори, клапани, робоча камера для підтримання вакууму, вакуумні насоси та інші пристрої;

- розпилюючі і випаровуючі елементи - генератори потоку які напилують частинки;
- системи електроживлення;
- системи нагріву, водяна помпа для охолодження і накачка робочого газу;
- засоби керування і контролю;
- також інші засоби, пристрої і прилади.

Промисловість вакуумних пристроїв, які в певний час, за допомогою одноступінчатої технології вакуумного відкачування (один вакуумний насос) не може досягти необхідного вакуумного рівня, при якому можлива робота пристрою, і доводиться застосовувати системи з багатьма рівнями, що б забезпечували належний рівень залишкового тиску який утворився в результаті використання послідовно кількох різних технологій створення вакууму.

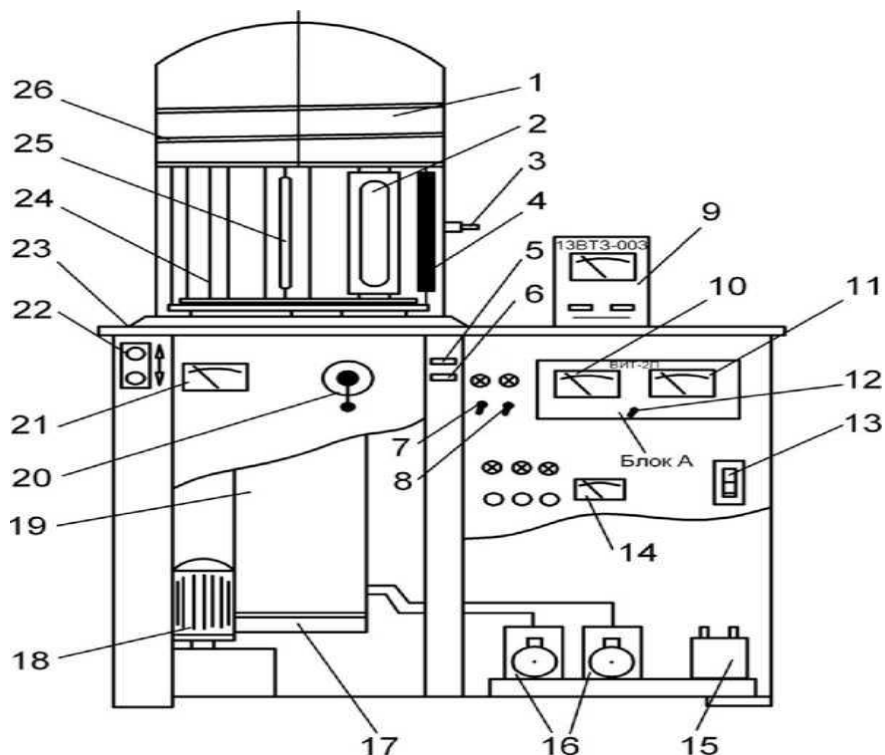


Рис 2.2 Вакуумна установка УВН-70

- 1 - ковпак;
- 2 - магнетрон;
- 3 - затікач;

- 4 - елемент;
- 5 - клапан форвакуумного насоса;
- 6 - клапан дифузійного насоса;
- 7 - ключ механічного насосу;
- 8 - ключ паромасляного насосу;
- 9 – вакууметричний монітор 13 ВТЗ-003;
- 10,11 - шкали вакуумметра ВІТ-2П;
- 12 – кнопка вмикання приладу “ВІТ -2П”;
- 13 – кнопка вимикання живлення;
- 14 - контроль параметрів нанесення;
- 15 - трансформатор;
- 16 - механічний насос;
- 17 - електронагрівник;
- 18 – масло насосний гідропривід;
- 19 - паромасляний насос;
- 20 - високовакуумний затвор;
- 21 - контроль вакууму;
- 22 - елемент керування гідроприводом ;
- 23 - базова панель;
- 24 - електроди іонізаційної очистки;
- 25 - лампа нагріву;
- 26 - змійовик.

Деякі відомості про LabVIEW

Що таке LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench – це середовище синтезу лабораторних віртуальних приладів) це є середовищем програмування, завдяки якій можемо створювати програми, додатки та інше, задіюючи графічне представлення всіх засобів алгоритму, що відрізняє її від звичайних мов програмування, зазвичай таких як С, С ++ або навіть Java, в яких програмують. Однак LabVIEW є однозначно більше, ніж просто алгоритмічна мова. Це середовище розроблення і використання програм, в основному призначене для

дослідження – що використовують науковці та інженери, для яких написання програм це лише частина роботи. Це середовище функціонує на ПК, що працюють під забезпеченням усіх поширених операційних систем програмування: Windows, MacOS, Linux, Solaris і HP-UX.

Досить потужне графічне середовище програмування LabVIEW дає можливість в сотні раз підвищити продуктивність роботи. Створення досконалого додатка з допомогою простих мов програмування віднімить дуже багато часу – але за допомогою LabVIEW потрібно тільки кілька годин, а все завдяки пакету спеціально розроблених для програмування різноманітних вимірів, аналізу даних і оформлення результатів. Так як LabVIEW має досить багатий графічний інтерфейс і не складний для програмування, LabVIEW також дуже добре підходить для моделювання різних процесів, презентацій, ідей для створення додатків загального характеру і вільного для навчання теперішнього програмування.

Вимірювальна система, створена в LabVIEW, має велику гнучкість в порівнянні зі стандартним лабораторним приладом, тому що вона використовує різноманіття можливостей сучасного програмного забезпечення. І саме ви, а не виробник обладнання, визначаєте функціональність створюваного приладу. Ваш комп'ютер, обладнаний вбудованої вимірювально-керуючої апаратною частиною, і LabVIEW складають повністю настроюється віртуальний прилад для виконання поставлених завдань. За допомогою LabVIEW допустимо створити необхідний тип віртуального приладу при дуже малих витратах в порівнянні зі звичайними інструментами. При необхідності ви можете внести в нього зміни буквально за хвилини.

LabVIEW створений для полегшення роботи з програмування ваших завдань. Для цієї мети є розширена бібліотека функцій і готових до використання підпрограм, які реалізують велику кількість типових задач

програмування і тим самим позбавляють нас від рутинної метушні з показниками, розподілом пам'яті та іншого шаманства, прісущего традиційним мовам програмування. У LabVIEW також містяться спеціальні бібліотеки віртуальних приладів для введення / виведення даних з вбудованих апаратних засобів (data acquisition - DAQ), для роботи з каналом загального користування (КОП, General Purposes Interface Bus - GPIB), управління пристроями через послідовний порт RS-232, програмні компоненти для аналізу, уявлення і збереження даних, взаємодії через мережі Internet. Бібліотека аналізу (Analysis) містить безліч корисних функцій, включаючи генерування сигналу, його обробку, різні фільтри, вікна, статистичну обробку, регресійний аналіз, лінійну алгебру і арифметику масивів.

Завдяки своїй графічній природі LabVIEW - це пакет ефективного відображення і представлення даних. Вихідні дані можуть бути показані в будь-якій формі, яку ви побажаєте. Діаграми, графіки стандартного виду, а також оригінальна призначена для користувача графіка (user-defined graphics) складають лише малу частину можливих способів відображення вихідних даних.

Agilent 34410A Мультиметр

Цифровий мультиметр Agilent 34410A з дозволом 6.5 розрядів представляють найновіше покоління мультиметрів компанії Agilent.

Створені на основі виключно вдалого мультиметра Agilent 34410A, що став стандартом серед промислових приладів, ці нові мультиметри мають більш високу точність, розширені вимірювальні можливості, істотно підвищену швидкість вимірювань і продуктивність, а також мають сучасні комп'ютерні інтерфейси, включаючи LAN і USB. Здвоєний екран індикатора виконує подвійну функцію, забезпечуючи відлік результатів вимірювання і полегшуючи установку параметрів і режимів при роботі з приладом. Всебічне вдосконалення мультиметра 34410A

забезпечило його перевага перед дуже хорошою попередньою моделлю як в лабораторних, так і системних застосуваннях.

Agilent 34410A цифровий мультиметр з дозволом 6.5 розрядів і високими технічними характеристиками

10500 відліків в секунду з розподільчою здатністю 5.5 розрядів при безпосередній передачі в ПК

1200 відліків в секунду з розподільчою здатністю 6.5 розрядів при безпосередній передачі в ПК

Основна похибка вимірювання напруги постійного струму 30×10^{-6} за рік

Інтерфейси LAN, USB і GPIB в стандартній комплектації

Вимірювання напруги постійного струму (DCV), напруги змінного струму (ACV), величини постійного струму (DCI), величини змінного струму (ACI), вимірювання опору по 2-провідний і 4-провідний схемами, вимірювання частоти, перевірка відсутності обриву в електричному ланцюзі і аналіз діодів

Вимірювання ємності конденсаторів і температурної залежності

Розширені межі вимірювань

Реєстратор даних який здатний на 50 K відліків в незалежній пам'яті

Agilent 34411A цифровий мультиметр з дозволом 6.5 розрядів і поліпшеними технічними характеристиками

Цей мультиметр зберігає всі властивості 34410A і додатково має такі можливості.

50000 відліків в секунду з роздільною здатністю 4.5 розряду при безпосередній передачі в ПК

Пам'ять на 1 мільйон відліків

Запуск по аналоговому рівню

Можливість завдання числа відліків до події запуску (PreTriggering)

Покращені властивості в порівнянні з попередньою моделлю

Петаомметр Keysight B2985A

Він же єдиний в світі вимірювач досить малих струмів з графічним дисплеєм, який дає вірні вимірювання сили струму з дозволом від 0,02 ФА (0,02x10⁻¹⁶ А), а також високого опору до 10 Ом (10x10¹⁶ Ом).

У приладі використовується графічний інтерфейс на основі Led екрана з діагоналлю 4,2 дюйма (10,8 см), який, показує результати вимірювань в числовому вигляді, також робить побудови графіка тренда і гістограми.

Такі унікальні можливості дають можливість захоплювати перехідні процеси і виконувати досить швидкий статистичний аналіз за допомогою вбудованого в інтерфейс функціоналу, і на іншому комп'ютері за допомогою програмного забезпечення Quick IV Measurement Software. Також присутня додаткова програма контролю стану схеми, яка дозволяє порівнювати інтенсивність шумів від кабельних з'єднань, що добре допомагає виявляти зовнішні джерела шумів.

Основні особливості петаомметра Keysight B2985A

Мінімальний дозвіл вимірюван сили струму: 0,02 фа

Максимальний опір, що вимірюється за допомогою джерела напруги 1100 В: 10 ПОм

Швидкодія вимірювання: 20 200 відліків / с

Внутрішнє падіння напруги: менше 18 мкВ

Подання сигналів у часовій області для захоплення перехідних процесів

Присутня програма контролю стану схеми

Досить проста у використанні автоматична навігація

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

Досліджено умови виготовлення анізотипних гетеропереходів p - $\text{Cu}_2\text{O}/\text{CdS}/n\text{-Si}$ методом ВЧ-магнетронного розпилення тонких плівок Cu_2O та CdS на кристалічні підкладки $n\text{-Si}$. За залежностями I - V -характеристик проаналізовані механізми струмопереносу. Визначено вплив освітлення на дані гетероструктури.

Основними перевагами плівок оксидів міді, як матеріалів електроніки та сонячної енергетики є їх нетоксичність для людини, велика кількість способів отримання, дешевизна міді за рахунок її широкого розповсюдження. Крім того оксиди міді можна використовувати в газочувливих сенсорах, літій-іонних батареях, фотоелементах та ін. В останні роки основним питанням розширення меж застосування оксидів міді в сонячній енергетиці та електроніці є поліпшення оптичних, електричних і структурних характеристик цих оксидів. Їх особливістю є те, що в залежності від вмісту кисню оксид міді сильно змінює свої властивості (тип провідності, ширина забороненої зони).

Сульфід кадмію вважається перспективним матеріалом для виготовлення сонячних елементів, зокрема в якості поглинача і буферного шару. CdS володіє високою світлочутливістю і адсорбцією, має ширину забороненої зони ($E_g = 2,4$ eV) і фотопровідність

($10^2 \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$) і не змінює своєї поверхневої природи.

Нанесення даних тонких плівок на кристалічні підкладки $n\text{-Si}$ є перспективним для створення ефективних фотоперетворювачів. Отже в роботі досліджуються умови створення випрямляючих і фоточувливих анізотипних гетеропереходів $p\text{-Cu}_2\text{O}/\text{CdS}/n\text{-Si}$ методом ВЧ-магнетронного розпилення та аналізуються їх електричні та фотоелектричні властивості.

Структури $\text{CdS}/n\text{-Si}$ виготовляли нанесенням на плоскопаралельні пластинки $n\text{-Si}$ тонких плівок CdS (товщиною $\sim 0,1$ мкм) методом високочастотного магнетронного розпилення мішені сульфиду кадмію.

Температура підкладки була рівною $T_S = 600$ К. Зауважимо, що значення T_S вибирали із врахуванням приведеної в літературі залежності опору тонких плівок CdS, нанесених застосованим методом, від температури підкладки [8]. У цитованій роботі було встановлено, що за такої умови отримуються плівки сульфїду кадмію з питомим опором $\rho = 10^8$ Ом·см.

Тонкі плівки Cu_2O (товщиною $\sim 0,1 - 0,15$ мкм) були нанесені методом високочастотного магнетронного розпилення мішені оксиду міді II (CuO) на, попередньо отримані, структури CdS/*n*-Si. Температура підкладки була рівною $T_S = 375$ К. Ширина оптичної забороненої зони плівок Cu_2O $E_g = 2,6$ еВ, питомий опір $\rho = 0,5$ Ом·см. Висновок, що отримані плівки саме Cu_2O , а не CuO дозволило зробити те, що оптична ширина забороненої зони отриманих плівок 2,6 еВ, що притаманно Cu_2O , в той час як ширина забороненої зони для CuO – 1,4-1,7 еВ.

Питомий опір плівок Cu_2O досліджувався за допомогою чотиризондового методу. Виготовлення омїчних контактів до плівок Cu_2O і підкладок *n*-Si проводили за допомогою струмопровідної пасти на основі срібла.

ВАХ характеристики гетероструктур вимірювали за допомогою апаратно-програмного комплексу реалізованого на базі платформи Arduino, цифрового мультиметра Agilent 34410A та програмованого джерела живлення Siglent SPD3303X, які керувались персональним комп'ютером за допомогою програмного забезпечення створеного у середовищі LabView.

Світлові вольт-амперні характеристики вимірювали при інтегральному світлі в стандартних умовах освітлення, близьких до AM1.5 (80 мВт/см^2).

ВАХ-характеристики гетеропереходів *p*- Cu_2O /CdS/*n*-Si при кімнатній температурі (рис.1) при прямих та зворотних зміщеннях вказують на їх випрямляючі властивості. Коефіцієнт випрямлення струму $RR \sim 3 \cdot 10^2$ при $T = 298$ К і напругах $|V| = 2$ В.

Висота потенціального бар'єру $q\phi_k$, яка відповідає стрімкому збільшенню прямого струму, оцінювалася екстраполяцією лінійних ділянок ВАХ-характеристики в області прямих зміщень до осі напруг. При кімнатній температурі $q\phi_k = 1,44$ еВ.

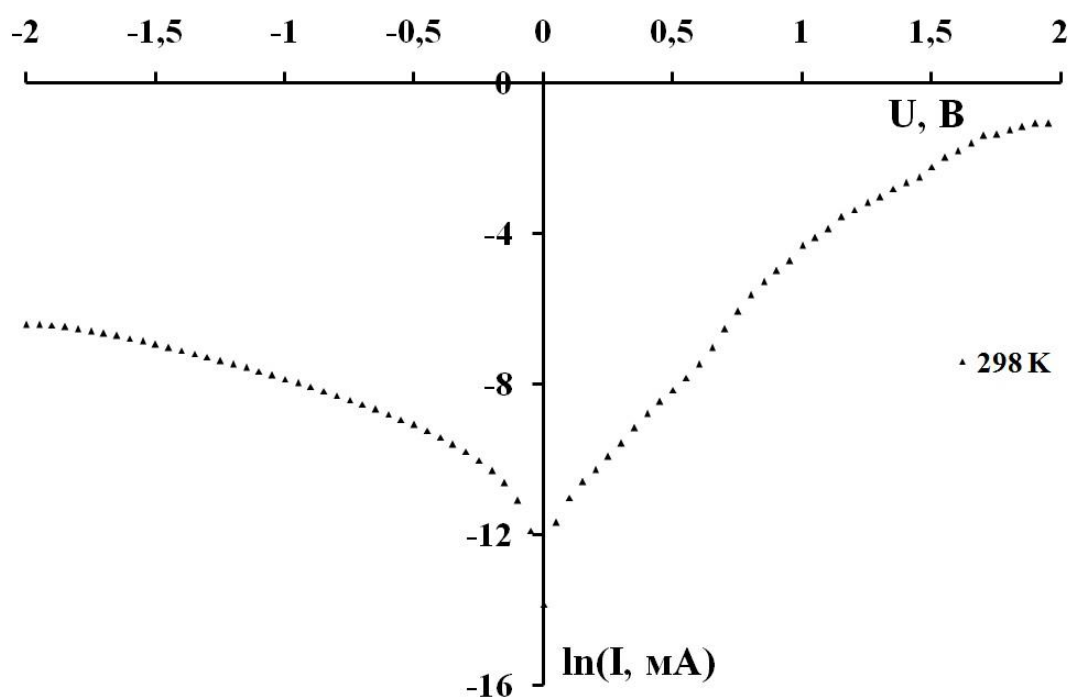


Рис 3.1 ВАХ анізотипної гетероструктури $p\text{-Cu}_2\text{O}/\text{CdS}/n\text{-Si}$

Зміна нахилу прямих гілок ВАХ-характеристик є наслідком зменшення опору підкладки R_S при збільшенні температури. Із залежності $\ln R_S = f(10^3/T)$ (рис.3) було визначено енергію активації провідності, яка дорівнює $E_a = 0.3$ еВ.

Для з'ясування механізмів протікання струмів крізь гетероструктуру $p\text{-Cu}_2\text{O}/\text{CdS}/n\text{-Si}$ при прямому зміщенні використовувалися ВАХ-характеристики, які побудовані в координатах $\ln I = f(V)$ (рис.3). При малих прямих зміщеннях $3kT/q < V < 0.1$ V нахил до осі напруг лінійних залежностей $\ln I = f(V)$ характеризується значенням коефіцієнта неідеальності $n \approx 1$, при 0.1 V $< V < 0.9$ V коефіцієнт $n \approx 5$, при 0.9 V $< V < 1.5$ V коефіцієнт $n \approx 9$ (рис.3.2). При малих прямих зміщеннях ($3kT/q < V < 0.1$ V) переважає дифузійний ($n \approx 1$) механізм струмопереносу. Для

надбар'єрного механізму, при відсутності участі у струмі поверхневих станів характерні близькі до одиниці значення коефіцієнта неідеальності. В діапазоні прямих напруг $0.1 < V < 1.5$ V переважає тунельний механізм струмопереносу. Відсутність температурної залежності коефіцієнта неідеальності характерно для тунельних механізмів утворення прямого струму, за участю поверхневих станів на гетерограниці і дефектів в області просторового заряду, закономірність протікання якого описується виразом:

$$I(V) = B \cdot \exp(\beta T) \cdot \exp(\alpha V), \quad (3.1)$$

де B , β і α – константи.

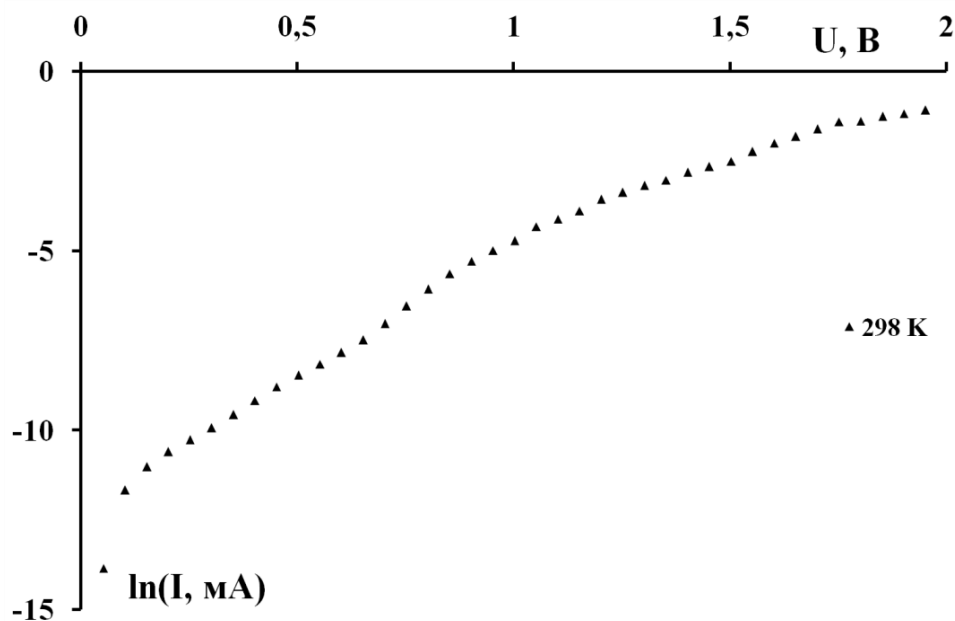


Рис 3.2 Залежності $\ln I = f(V)$ при прямому зміщенні прикладеному до гетероструктури $p\text{-Cu}_2\text{O}/\text{CdS}/n\text{-Si}$ при кімнатній температурі.

У випадку існування у структурі високоомного шару (CdS), із властивостями близькими до діелектрика ($\rho = 10^8$ Ом·см), можливе спостереження значень $n > 1$ через участь у струмопереносі енергетичних станів у забороненій зоні на межі високоомного шару, які знаходяться у термодинамічній рівновазі з напівпровідником. При цьому враховується також спад напруги на високоомному шарі.

Зворотні гілки VAX -характеристик гетероструктури $p\text{-Cu}_2\text{O}/\text{CdS}/n\text{-Si}$ при температурах $T = 298 - 347$ К в діапазоні напруг від $-2 \text{ V} < V < -3kT/q$ описуються виразом для тунельного струму за участю поверхневих станів:

$$I_{rev}^t \approx a_0 \exp\left(\frac{b_0}{\sqrt{\phi_k(T) - qV}}\right), \quad (3.2)$$

Значення a_0 і b_0 – параметри які не залежать від напруги.

Згідно (3) зворотна VAX -характеристика у координатах

$\ln(I_{rev}^t) = f(\phi_k - qV)^{-1/2}$ буде лінійною, що спостерігається на рис.5.

Отже домінуючим механізмом струмопереносу при зворотних зміщеннях є тунелювання за участю поверхневих станів.

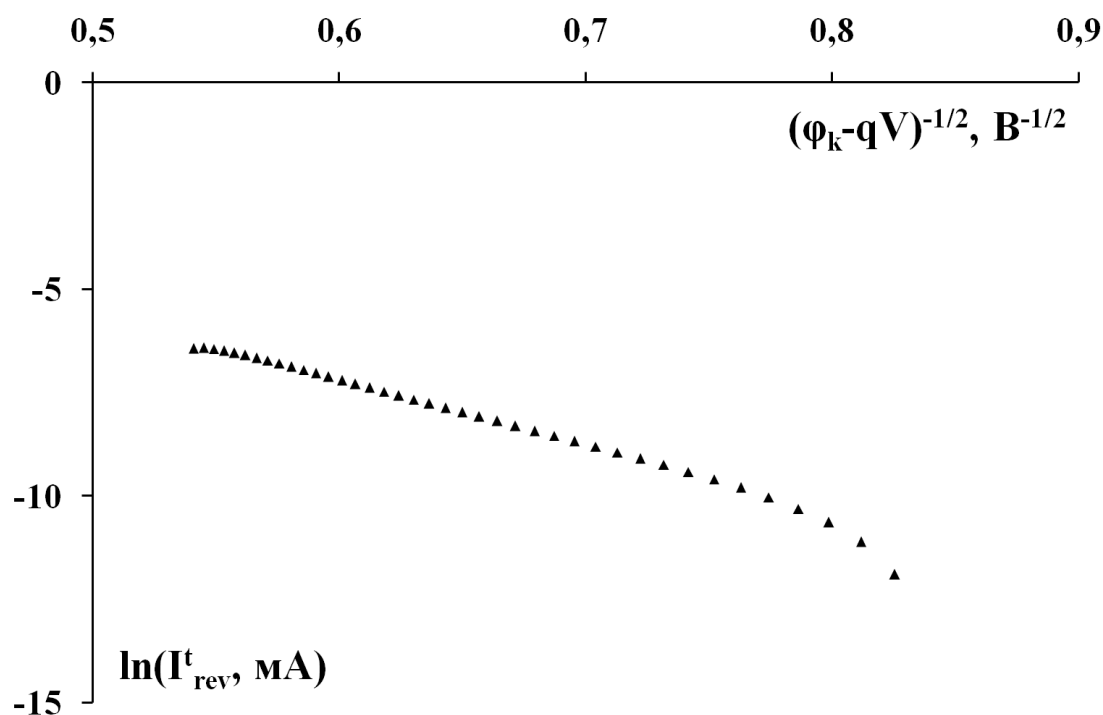


Рис 3.3 Залежність зворотної I - V -характеристики ($q/kT < V_{rev} < 2 \text{ В}$) для гетероструктури $p\text{-Cu}_2\text{O}/\text{CdS}/n\text{-Si}$.

Для дослідження впливу освітлення на енергетичні параметри досліджуваних структур $p\text{-Cu}_2\text{O}/\text{CdS}/n\text{-Si}$ проведені вимірювання I - V -характеристик гетеропереходів, освітлених інтегральним світлом в

стандартних умовах освітлення, близьких до AM1.5 або 80 мВт/см² (рис.3.3).

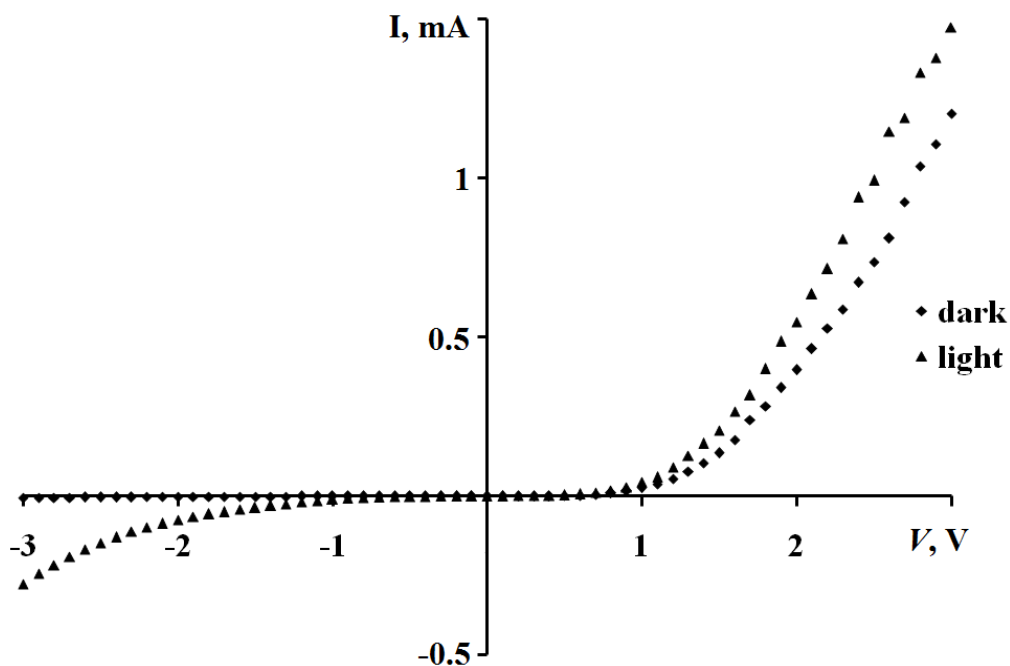


Рис 3.4 ВАХ освітленого та неосвітленого гетеропереходу p - $\text{Cu}_2\text{O}/\text{CdS}/n\text{-Si}$.

Як видно з рис.3.4 дані гетероструктури фоточутливі та можуть бути використані як фотодетектори при зворотних зміщеннях.

Для того, щоб оцінити продуктивність фотоприймача більш кількісно можна визначити значення чутливості (R) та детективності (D^*), які показують чутливість фотоприймача до падаючого випромінювання:

$$R = (I_{light} - I_{dark})/P_{opt}, \quad (3.3)$$

$$D^* = \sqrt{\frac{A}{2qI_{dark}}} R, \quad (3.4)$$

де A - активна площа фотоприймача.

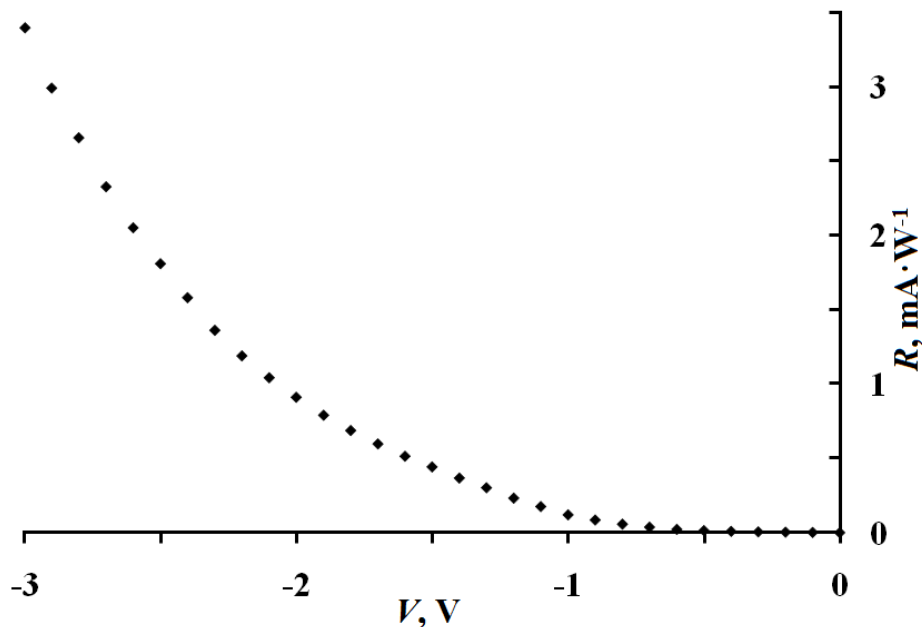


Рис 3.5 Залежність responsivity (R) від напруги зворотного зміщення для гетероструктури $p\text{-Cu}_2\text{O}/\text{CdS}/n\text{-Si}$.

На рис. 3.5 приведено залежність $R=f(V_{rev})$ з якої бачимо, що чутливість (R) при збільшенні зворотного зміщення V_{rev} плавно збільшується, що зумовлено розширенням області просторового заряду, унаслідок чого зростає ефективність розділення фотогенерованих електрон-діркових пар.

Детективність (D^*), яка описує нормовану потужність опромінення, необхідну для отримання сигналу від фотоприймача на рівні шуму (рис.7), при збільшенні зворотного зміщення зростає, що вказує на те, що зростання темного зворотного струму I_{dark} , який є електричним шумом в даному випадку, не впливає на її значення.

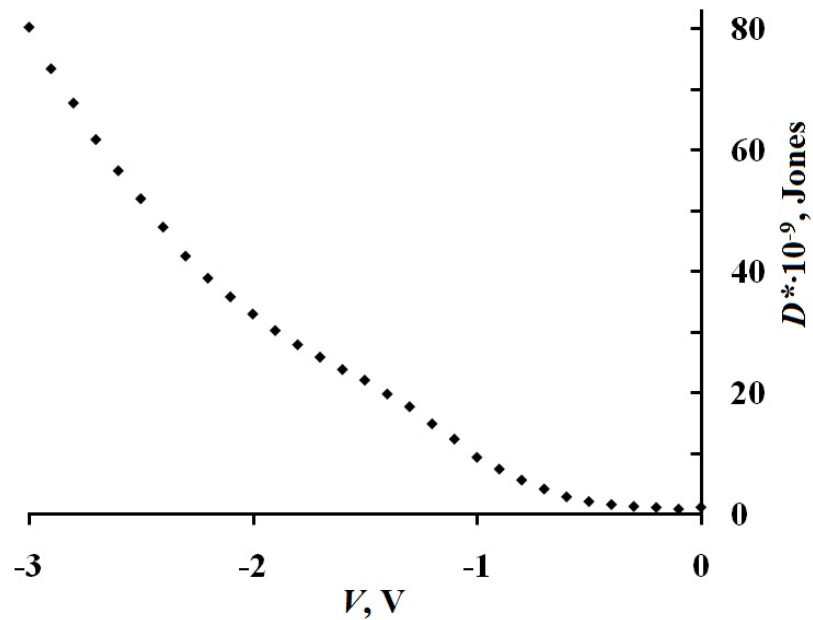


Рис 3.6 Залежність детективності (D^*) від напруги зворотного зміщення для гетероструктури $p\text{-Cu}_2\text{O}/\text{CdS}/n\text{-Si}$.

Така залежність детективності (рис.3.6) робить гетероструктури $p\text{-Cu}_2\text{O}/\text{CdS}/n\text{-Si}$ перспективними для використання у якості фотодетекторів, при великих зворотних зміщеннях.

Висновки

Методом ВЧ-магнетронного розпилення виготовлено анізотипну гетероструктуру $p\text{-Cu}_2\text{O}/\text{CdS}/n\text{-Si}$ із коефіцієнтом випрямлення струму $\sim 3 \cdot 10^2$. Діодні характеристики гетероструктури обумовлені енергетичним бар'єром ~ 1.44 eV зі сторони $n\text{-Si}$. При прямих напругах до 0.1 V струм у структурі $p\text{-Cu}_2\text{O}/\text{CdS}/n\text{-Si}$ протікає внаслідок переважаючого дифузійного механізму струмопереносу. При $V > 0.1$ V переважає тунельний механізмів утворення прямого струму, за участю поверхневих станів із захопленням електронів станами у високоомному шарі (CdS). Зворотний струм при зміщеннях -2 V $< V < -3kT/q$ V визначається процесами тунелювання за участю поверхневих станів. Гетероструктура $p\text{-Cu}_2\text{O}/\text{CdS}/n\text{-Si}$ фоточутлива при зворотному зміщенні і може бути використаний як фотоприймач в умовах випромінювання AM1.5.

