

Власник документу:
Бевза Олег Миколайович

ID перевірки:
1004017892

Дата перевірки:
13.06.2020 14:42:46 EEST

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:
13.06.2020 16:18:21 EEST

ID користувача:
90740

Назва документу: 2020-bachelor-EDD_Balashov-Diodni_struktury_fch

ID файлу: 1004030964 Кількість сторінок: 15 Кількість слів: 7534 Кількість символів: 55285 Розмір файлу: 79.32 KB

2.18% Схожість

Найбільша схожість: 0.97% з джерело <https://www.cambridge.org/core/journals/mrs-bulletin/article/piezotronics-and-pie>.

1.53% Схожість з Інтернет джерелами 34 Page 17

1.1% Текстові збіги по Бібліотеці акаунту 48 Page 17

0.46% Цитат

Цитати 1 Page 18

Вилучення переліку посилань вимкнено

0% Вилучень

Вилучений текст відсутній

Підміна символів

Заміна символів 41

Балашову Кірілу Євгеновичу
Діодні структури з п'єзо- та фототронним ефектом

АНОТАЦІЯ

В роботі розглянуто науково – технічну літературу в області п'єзофототроніки і п'єзофотоніки та представлено результати дослідження п'єзофототронного ефекту в гетероструктурах на основі плівок групи A_2B_6 . Галузь вивчення п'єзофототронного ефекту в напівпровідникових тонких плівках є новою. Використання матеріалів, котрі одночасно мають декілька властивостей, а саме є напівпровідниками, п'єзоелектриками та мають фотоелектричні властивості дозволяє створити принципово новий клас напівпровідникових приладів, особливо в галузі сенсорики та фотовольтаїки. Отримання плівок групи A_2B_6 , до яких відносяться **CdS**, CdTe, CdSe, ZnS, ZnSe, ZnO з наявним п'єзоелектом є актуальною задачею. В даній роботі об'єктом дослідження є діодні структури на їх основі. А саме плівки CdS вирощені методом термічного випаровування на гнучкій молибденовій підкладці. Зверху на плівки CdS був нанесений тонкий шар виродженого напівпровідника Cu_xS , що дозволило сформувати діодну бар'єрну структуру. Для дослідження фотодіодних властивостей було зроблено виміри вольт-амперних характеристик (ВАХ) в темновому та світловому режимах. Вимірювання проводились за допомогою джерела живлення, вольтметра і амперметра. Межі вимірювань по напрузі становили від -2 В до 2 В, для попередження можливого пробоя структур. В якості джерела освітлення було використано білий світлодіод з потужністю освітлення 30 мВт/см². З отриманих ВАХ було визначено, що між напівпровідниковими плівками сформовано випрямляючий бар'єр і структура має діодну характеристику. Величина зворотного струму збільшується при освітленні. Для дослідження п'єзофототронного ефекту до діодних структур було прикладено тиск. Усі зроблені виміри показали наявність п'єзофототронного ефекту, що дозволяє створювати на основі цього гетеропереходу нові функціональні прилади.

ANNOTATION

The scientific and technical literature in the field of piezophototronics and piephotronics is considered in the work and the results of the study of the piezophototronic effect in heterostructures based on A_2B_6 films are presented.. The field of studying the piezo phototronic effect in semiconductor thin films is new. The use of materials that have several properties at the same time, namely semiconductors, piezoelectrics and photoelectric properties, allows to create a fundamentally new class of semiconductor devices, especially in the field of sensors and photovoltaics. Obtaining A_2B_6 films, which include CdS, CdTe, CdSe, ZnS, ZnSe, ZnO with the existing piezoelectric effect is an urgent task. In this work, the object of study are diode structures based on them. Namely, CdS films are grown by thermal evaporation on a flexible molybdenum substrate. A thin layer of degenerate Cu_xS semiconductor was applied on top of the CdS films to form a diode barrier structure. To study the photodiode properties, measurements of volt-ampere characteristics (VAC) in the dark and light modes were made. Measurements were performed using a power supply, voltmeter and ammeter. The limits of voltage measurements ranged from -2 V to 2 V, to prevent possible breakdown of structures. A white LED with a light output of 30 mW / cm² was used as the light source. From the obtained Volt - Amper characteristics, it was determined, that a rectifying barrier is formed between the semiconductor films and the structure has a diode characteristic. The magnitude of the reverse current increases with lighting. To study the piezophototronic effect, pressure was applied to the diode structures. All measurements showed the presence of the piezophototronic effect, which allows to create new functional devices based on this heterojunction

ВСТУП

Працездатність напівпровідникових приладів (оптоелектронних, п'єзоелектричних, та інших) залежить від структури та властивостей матеріалів, котрі є складовими цієї структури. Використання матеріалів, котрі одночасно мають декілька властивостей, а саме є напівпровідниками, п'єзоелектриками та мають фотоелектричні властивості дозволяє

створити принципово новий клас напівпровідникових приладів, особливо в галузі сенсорики та фотовольтаїки.

Для отримання матеріалів з новими чи комплексними властивостями вирішуються наступні завдання: виконується розробка технологічних методів осадження плівкових структур чи росту кристалів; виконується низка досліджень фізичних, структурних, оптичних, електричних властивостей отриманих матеріалів; встановлюються закономірності між технологічними чинниками та характеристиками матеріалів.

Окрім кремнію, який є основним матеріалом мікроелектроніки та електроніки, матеріали групи A_2B_6 представляють науковий та практичний інтерес завдяки фізичним властивостям, котрих не має кремній. В першу чергу це стосується наявності п'єзоефекту. П'єзоелектричний ефект спостерігається в кристалах деяких речовин, що володіють певною симетрією. До найбільш поширених в природі мінералів-п'єзоелектриків відносяться кварц, турмалін, сфалерит, нефелін. Було встановлено, що плівки A_2B_6 мають п'єзоелектричні властивості, оскільки вони є нецентросиметричними.

Серед методів дослідження наявності п'єзоефекту є класичні методи, такі як дослідження резонансу та антирезонансу, та і нові, такі як дослідження п'єзофототронного ефекту. Суть п'єзофототронного ефекту полягає в тому, що він є ефектом потрійного зв'язку між п'єзоелектричним потенціалом поляризації (п'єзо-потенціалом), напівпровідниковими властивостями і фотозбудженням. Досліджуваний об'єкт одночасно повинен бути напівпровідником, мати фоточутливість та мати п'єзоефект. В результаті цього спостерігається збільшення струму, який виникає в матеріалі не тільки при освітленні, а й при прикладанні механічних напруг (тиску чи скручуванні).

1. ОСНОВИ П'ЄЗОТРОНІКИ ТА П'ЄЗОФОТОТРОНІКИ

1.1 П'єзоефект

Явище п'єзоефекту описує поляризацію діелектрика при прикладанні до нього певного тиску. На рис. 1.1а показана проста молекулярна модель. Вона пояснює генерацію електричного заряду як результат сили, що чиниться на матеріал. Перш ніж піддавати матеріал деяким зовнішнім напруженням, центри сили тяжкості негативних та позитивних зарядів кожної молекули збігаються. Тому зовнішній вплив негативних та позитивних зарядів взаємно компенсуються. В результаті з'являється електрично нейтральна молекула. Прикладаючи деякий тиск до матеріалу, його внутрішня решітчаста структура може деформуватися, викликаючи поділ центрів позитивної та негативної сил тяжіння молекул і генеруючи малі диполі (рис. 1.1б). Полюси, направлені всередину матеріалу взаємно компенсуються, і на поверхнях матеріалу з'являється заряд (рис. 1.1с).

Рис. 1.1 Проста молекулярна модель для пояснення п'єзоелектричного ефекту: а - звичайна молекула; б - молекула, піддана зовнішній силі, і с - ефект поляризації на поверхні матеріалу

Це означає, що матеріал поляризований. Ця поляризація генерує електричне поле і може бути використана для перетворення механічної енергії, яка використовується при деформації матеріалу, в електричну енергію.

Припустимо, що ці електроди зовні коротко замикаються через дріт, до якого підключений гальванометр. При наданні певного тиску на п'єзоелектричний матеріал на поверхні кристала виникає деяка щільність заряду, що контактує з електродами. Ця поляризація генерує електричне поле, яке викликає потік вільних зарядів, що існують у провіднику. Залежно від їх знаку, вільні заряди рухатимуться до кінців, де заряд, породжений поляризацією кристала, має протилежний знак. Цей потік вільних зарядів залишатиметься до тих пір, поки він не нейтралізує ефект поляризації (рис. 1.2а). Коли тиск на кристал припиниться, поляризація зникне, і потік вільних зарядів припиниться, повернувшись до початкового стану (рис. 1.2б). Цей процес відображатиметься в гальванометрі, який мав би позначити два піки протилежних знаків. Якщо підключити опір замість короткого замикання і застосувати змінний тиск, через опір протікатиме струм, а механічна енергія перетвориться на електричну енергію [1].

Рис. 1.2. П'єзоелектричне явище: а - певний струм, що протікає через гальванометр, підключений до п'єзоелектричного матеріалу, підданому зовнішній силі; б - відсутність струму через короткозамкнений матеріал у початковому стані

1.2 П'єзофотоніка. П'єзоелектрична поляризація

Для вюрцитоструктурованих п'єзоелектричних напівпровідникових матеріалів заряди, викликані деформацією п'єзоелектричної поляризації (п'єзозаряди), будуть розподілятися на двох кінцях кристала вздовж конкретного напрямку. Приймаючи ZnO як приклад, який має шестикутну структуру і має анізотропні властивості як уздовж, так і перпендикулярно до осередкового напрямку, катіони Zn^{2+} та O^{2-} - тетраедрично узгоджені, а їхні центри зарядів перекриваються один з одним [3]. Якщо кристал буде підданий напруженню вздовж осі, відбудеться зміщення між центром катіону та аніону, індукуючи електричний дипольний момент, як показано на рис. 3а. Усі дипольні моменти всередині кристала накопичуватимуться і це призведе до макроскопічної різниці електричного потенціалу вздовж напрямку прикладеної деформації в кристалах, що називається п'єзопотенціалом. На рис. 3б видно, що негативні та позитивні п'єзозаряди утворюються в напрямку +с і -с відповідно під напругою стиску. Якщо прикладене напруження змінюється впливом деформації на розрив, то п'єзопотенціал обертається, а вирівнювані масиви нанодіотів (NW) ZnO показані на рис. 3с. Тут п'єзопотенціал, напружене кристалічне поле, є вирішальною основою для виникнення п'єзотроніки та п'єзофотоніки, яка дозволяє модулювати властивості переносу носія на переході **Метал** – Напівпровідник або р-п переході і, таким чином, ефективно налаштовує / керує роботою електронних пристроїв.

Рис. 1.3. П'єзопотенціал у вюрцитоструктурованому кристалі. (а) Атомна модель кристалу ZnO, структурованого вюрцит-структурі. (б) Чисельно розрахований розподіл п'єзопотенціалів вздовж ZnO NW по осевій деформації. (с) Вирівняні масиви нанодіотів ZnO, синтезовані методом розчинення

1.3 П'єзоелектрична поляризація при контакті метал – напівпровідник (М - Н)

Контакт М - Н, утворений при контакті металу з напівпровідниковими матеріалами, є важливою основою для електроніки та оптичної електроніки на основі напівпровідників [4]. В області контакту М - Н відбувається значний перерозподіл зарядів і рівні Фермі з обох сторін області повинні бути вирівняні, щоб досягти теплової рівноваги системи. Це призводить до деформації енергетичної смуги в напівпровіднику поблизу переходу М - Н і, отже, до формування енергетичного бар'єру на локальному переході М - Н, де висота бар'єру визначається у одиницях «еВ», що називається висотою бар'єра Шоткі (ВБШ). ВБШ - це оцінка рівня енергії на переході М - Н, яка домінує в більшості процесів переносу носіїв у цій області. Якщо напівпровідниковий матеріал у контакті з М - Н має п'єзоелектричну властивість, беручи за приклад напівпровідник n - типу і ігноруючи поверхневі стани та інші дефекти для спрощення, негативні п'єзозаряди, індуковані деформацією стиснення, будуть розподілятися на стику вздовж осі +с напівпровідника, який може відштовхувати електрони від переходу і, таким чином, створювати більш широку область виснаження та вищу локальну ВБШ (рис. 1.4а). На противагу цьому, позитивні п'єзозаряди, викликані розтягуванням на межі уздовж осі +с притягуватимуть електрони, в результаті чого формується вузька область виснаження і, отже, нижча локальна ВБШ (рис. 1.4б) [7].

Рис. 1.4. Схема енергетичної діаграми, що ілюструє п'єзоелектричний вплив на поверхню контакту метал-напівпровідник. (а) Деформація стиснення, спричинена негативним п'єзозарядом біля переходу, збільшуючи локальний ВБШ (підняті сині суцільні криві). (б)

Напруження розтягування, спричинене позитивними п'єзозарядами поблизу межі, зменшуючи локальний ВБШ (спадні червоні суцільні криві). Кольорові градієнти ілюструють розподіл п'єзопотенціалу, червоний являє собою позитивний п'єзопотенціал, а синій - негативний п'єзопотенціал

Згідно з теорією дифузії, більшість носіїв домінуючи перенос носіїв контакт М-Н, і при прямому змщенні щільність струму (J_n) може бути виражена як [2]:

Тут J_D являє собою щільність струму насичення, ϵ_s зображує діелектричну проникність матеріалу, D_n - коефіцієнт дифузії електронів, N_c - ефективна щільність станів у зоні провідності, а N_D - концентрація донорних домішок у напівпровіднику. Хоча за умови відсутності п'єзоелектричної заряду поляризації щільність струму насичення (J_{D0}) може бути визначено як [2]:

де Ψ_{D0} являє собою контактну різницю потенціалів. Коли напівпровідник піддається деформації, п'єзозаряди, створені на локальному переході, змінюють не тільки ВБШ, але і ширину бар'єра. Потім змінений ВБШ виводиться як [2]:

де W_{piezo} - товщина шару зарядів п'єзоелектричної поляризації яка розподіляється в області переходу М-Н і передбачається значно меншою, ніж ширина області виснаження заряду, P_{piezo} являє собою щільність створених п'єзозарядів [9]. Потім щільність струму що протікає через бар'єр, отже, може бути отримана як [2]:

Більш конкретну кореляцію між прикладеним напруженням і ВБШ можна визначити як [2]:

де e_{33} являє собою коефіцієнт п'єзоелектрику, s_{33} - прикладене напруження вздовж осі п'єзоелектричного напівпровідникового матеріалу. Зрештою, щільність струму через бар'єр Шоткі може бути виражена як [2]:

Це рівняння, очевидно, вказує на те, що поляриність прикладеного напруження безпосередньо впливає на поточний рух через перехід М – Н. При введенні в місцевий перехід М – Н негативних п'єзозарядів, спричинених стисненням (негативний P_{piezo} і, таким чином, негативний s_{33}), щільність струму відповідно зменшиться. І навпаки, коли прикладений тиск буде змінений як розтягування, щільність струму зростає. За цієї умови спостерігається помітний підйом ВБШ; в іншому випадку - зменшення. Це основний механізм, який ілюструє, як заряди п'єзополіризації модулюють властивості транспортування носія перетинають контакт М – Н [9-10].

1.4 П'єзоелектрична поляризація на р - п переході

Окрім контакту М – Н, деякі пристрої сучасної електроніки та оптоелектроніки, такі як сонячні батареї, світлодіоди та фотодіоди, також використовують р - п переходи як їх основу, звідки зазвичай складається напівпровідниковий матеріал, легований напівпровідниками р і n типу. Коли напівпровідники р і n типу утворюють перехід, носії (електрони і дірки), що примикають до місця з'єднання з обох сторін, будуть дифундувати поперек місця з'єднання і перерозподілятися, щоб збалансувати локальний потенціал і досягти теплової рівноваги, створюючи таким чином зону виснаження заряду і, зрештою, утворюючи електричне поле. Кількість вільних носіїв в зоні збіднення заряду незначна, і коли в цьому регіоні введені та збережені п'єзозаряди, вони значно модулюють енергетичну смугу в локальній області р – п переходів. Для однорідного р-п переходу, де лише матеріал n - типу (ZnO нанодріт), вирощений вздовж осі c) є п'єзоелектриком, коли напруга стиснення подається уздовж осі c, індукований від'ємний п'єзопотенціал у напрямку + c на межі стику може відштовхувати електрони від переходу, внаслідок чого виникає плече в локальному профілі смуги (рис.1.5а). Похила енергетична смуга прискорить поділ електрон-дірка, що було б вигідно та значущим для застосування сонячних батарей. І навпаки, прикладена деформація розтягнення в переході притягуватиме та накопичуватиме електрони та спричинятиме падіння локальної енергетичної смуги (рис. 1.5б), що сприятиме рекомбінації електрон-дірки та покращує якість світлодіодних пристроїв [8].

Рис. 1.5. Схематична діаграма діапазону енергій, що зображує п'єзоелектричний вплив на р-п перехід. Прикладеною деформацією п'єзозаряди поблизу місця стику призводять до деформації енергетичної смуги на контакті, показаної у вигляді червоних суцільних кривих. Кольорові градієнти ілюструють розподіл п'єзопотенціалу, червоний являє собою позитивний п'єзопотенціал, а синій - негативний п'єзопотенціал. Відповідно до моделі різкого з'єднання концентрація легування різко змінюється з області р - типу в область n - типу в р-п-переході. Потенціал можна виразити як:

де N_D - концентрація донора, N_A позначає акцепторну концентрацію, а W_D і W_Dn представляють ширину області виснаження відповідно на p та n стороні напівпровідників [5-6]. Це рівняння чітко вказує на те, що p -їзозаряди, викликані деформацією, можуть значно модулювати потенціал, що має життєво важливе значення в оптоелектронних застосуваннях. Для простоти вважаємо, що $p_{n0} > p_{p0}$, де p_{n0} і p_{p0} являють собою концентрацію дірок у матеріалі n - типу та концентрацію електронів у матеріалі p - типу відповідно при тепловій рівновазі. Загальна щільність струму через p - n перехід з p -їзопотенціалом становить [2]:

де J_{co} - щільність струму насичення за відсутності p -їзопотенціального впливу. Це говорить про те, що струм, що проходить через область переходу, має експоненціальне відношення до щільності p -їзозарядки, яка пов'язана з типом застосованої деформації (розтягування або стиснення).

1.5 П'їзотронний та п'їзототронний ефект

Досліджено, що p -їзозаряди, викликані деформацією, регулюють енергетичну смугу p -їзоелектричного напівпровідника поблизу місця з'єднання, що, в свою чергу, ефективно налаштовує пропускну характеристику напівпровідника. Використовуючи внутрішній кристалічний потенціал, створений p -їзозарядками, для контролю або настроювання пропускну характеристики напівпровідника, це p -їзотронний ефект, на основі якого виготовлено безліч механічних електронних пристроїв. Ця фундаментальна теорія підтримуватиме широкий спектр потенційних застосувань, таких як взаємодія між комп'ютерами і людьми, нано - робота та датчиків.

Природа p -їзототронного ефекту полягає в налаштуванні ефекту p -їзоелектричної поляризації на процес генерації, транспортування, поділу або рекомбінації носія на переході. Це дозволяє припустити, що продуктивність оптоелектронних пристроїв та взаємодія зі світлом суттєво змінюються за допомогою зовнішнього напруги, що може мати широке потенційне застосування у сонячних елементах, фотодетекторах, лазерах та світлодіодах тощо.

На розмір наноструктур може впливати p -їзотронний та p -їзототронний ефект через залежність розміру від модуля Юнга в матеріалах. Згідно з попередніми дослідженнями, модуль Юнга зменшується зі зменшенням діаметра СЗ, що призводить до зменшення p -їзотронного та p -їзототронного ефекту. Крім того, при збільшенні температури зменшуватиметься ефект p -їзотронного та p -їзототронного ефекту. Це пояснюється тим, що ефективні p -їзоелектричні поляризаційні заряди на поверхні / переході зменшуються через посилений ефект екранування, що є результатом збільшення кількості мобільних носіїв заряду в наноструктурах при більш високій температурі [8].

1.6 П'їзо-фототронний вплив на сонячний елемент. П'їзопотенціал на вихідному потенціалі

У сонячному елементі проходить процес створених фотонами зарядів, в яких роздільне значення заряду є критичним для ефективності перетворення. Як тільки пара електрон - дірка генерується на p - n переході шляхом фотонного збудження, електрон має тенденцію рухатися в n -сторону від місця переходу, тоді як дірка переміщується в p - сторону. Завдяки силі Кулона між електроном і діркою вони мають тенденцію до рекомбінації, що призводить до зниження ефективності. Якщо енергія, необхідна для поділу заряду, занадто велика, електрон і дірка не можуть бути розділені. Якщо потрібна енергія занадто низька, взаємодія електронів і дірок, як правило, змушує їх рекомбінувати. Жоден із процесів не є вигідним для сонячної панелі з великою роботою виходу. Тому, використовуючи модифікацію p -їзопотенціалу до p - n переходу, ми, ймовірно, можемо оптимізувати структуру смуги на переході, щоб заряди могли бути ефективно розділені [10].

Зараз використовується сонячний елемент на основі ZnO - $P3NT$ як приклад для ілюстрації p -їзо-фототронного ефекту на виході. Схема пристрою показана на рис. 1.6а. Довгі мікродроги ZnO були обрані тому, що ними легко керувати. Щоб уникнути руху доту ZnO в процесі електромеханічного вимірювання, один кінець доту ZnO було закріплено

тонкою плівкою з епоксидної речовини на підкладці під оптичною спостереженням. Потім РЗНТ опускали в розчин C_6H_5Cl на нерухомому кінці дроту ZnO для отримання р-п гетеропереходу. Провід ZnO не був повністю покритий РЗНТ. Інший кінець дроту ZnO був зафіксований срібною пастою, яка слугувала електродам. На рис.1.6b показано оптичне зображення виготовленого пристрою, що показує, що гладкий дріт ZnO з'єднувався з РЗНТ та срібною пастою на підкладці. Використовувані мікро / нанодроти ZnO мають вюрцитову структуру і досліджені за допомогою аналізу ТЕМ, як показано на рис. 1.6с. Струм короткого замикання I_{sc} і V_{oc} під різними деформаціями показані на рис. 6d. V_{oc} збільшується та зменшується із збільшенням деформацій стиску та розтягування відповідно. Однак I_{sc} майже показує постійне значення 0,035 нА при різних напруженнях [11].

Рис. 1.6. (a) Схема виготовленого пристрою типу [0001]. (b) Оптичне зображення виготовленого пристрою. (c) зображення ТЕМ одного нанод ZnO та відповідної схеми дифракції електронів вибраної області (SAED). (d) $I - V$ характеристики пристрою при різному навантаженні

1.7 П'єзопотенціал по поділу заряду в гетероструктурованому нанодротовому елементі з серцевиною і оболонкою

Епітаксціальні ядра з оболонкою, вирощені з різних матеріалів, набувають загальної пружної деформації внаслідок невідповідності між притаманними кристалічними ґратками ядра та оболонками матеріалів [13,15]. Такий статичний і внутрішньо побудований тиск може створювати п'єзоелектричну поляризацію в нанотрубці. Теоретично досліджено п'єзопотенціал, створений у нанотрубці із серцевинною оболонкою внаслідок внутрішньої деформації та її можливостей для високоефективних сонячних батарей. Модельною системою є цинкова суміш III-V цинку (ZB), вирощена в напрямку [111], і III-V вюрцитові (WZ) нанотрубки, вирощені в напрямку [0001]. Тиск, спричинений решіткою, в епітаксальному нанодроті з серцевинною оболонкою породжує внутрішнє електричне поле вздовж осі нанодроту. Це п'єзоелектричне поле здебільшого виникає з розміщення атомного шару по осі ядра, як в ядрі, так і в оболонкових матеріалах, і може з'являтися як у цинковій суміші, так і в кристалічних нанодротах вюрцитових ядер. Ефект може бути використаний для розділення електронно - діркових пар, що генеруються фотонами, нанодротах і, таким чином, пропонує нову концепцію пристрою для перетворення сонячної енергії. У порівнянні з раніше запропонованими фотоелектричними пристроями на основі нанодроту, ця конструкція не потребує виготовлення р-п переходу в нанодроті, що призводить до переваги технології у виробництві пристроїв. Тим не менш, осьові р-п-переходи можуть бути інтегровані в ядрах оболонки, щоб досягти посилення перетворення сонячної енергії. Такий теоретичний прогноз залишається перевірити експериментами [17].

Нещодавно вченими Чжен і Вуо було вивчено можливість використання спонтанної поляризації у сегнетоелектричних нанодротах для посилення фотоелектричного ефекту. Проаналізовані ними матеріали базуються на традиційних п'єзоелектричних кристалах, таких як PZT та $BaTiO_3$. Враховуючи показник заряду поляризаційного заряду в електродах та неоднорідний розподіл поляризації біля поверхні, вони прогнозували, що фотострум фотоелектричних нанодротів можна повністю контролювати, регулюючи їх розмір та стани поляризації «вгору» та «вниз».

1.8 П'єзо-фототронний вплив на світло діод

Ефективна рекомбінація заряду важлива для світлодіодів. Тепер буде показано, що п'єзофотонічний ефект може бути використаний для значного підвищення світлодіодної потужності на виході. Експерименти проводилися для пристрою $p-ZnO - p-GaN$ [18-20]. Сила була застосована перпендикулярно до р-п переходу, який створює деформацію розтягування вздовж осі с мікродротів ZnO . При фіксованому прикладеному зміщенні вище напруги включення (3 В), інтенсивність струму та світла випромінювання очевидно зростала зі збільшенням деформації стиску (рис. 1.7a та 1.7b). Інтенсивність струму

впорскування та інтенсивність випромінювання в значній мірі були значно збільшені відповідно до коефіцієнта 4 і 17 відповідно після застосування напруги стиснення при осі 0.093%, що вказує на те, що ефективність перетворення була покращена на коефіцієнт 4,25 по відношенню до цього без застосування деформації. Це означає, що справжня ефективність світлодіода може досягати 7,82% після застосування деформації, що порівняно з коефіцієнтом світлодіодних структур на основі посиленних нанородами гібридних квантових ям світлодіода. Підвищена ефективність світлодіодів пояснюється п'єзофототронним ефектом. Згідно з припущенням про відсутність домішок або невеликої кількості домішок в ZnO для простоти, чисельно обчислений п'єзопотенціальний розподіл у мікродроту ZnO (рис. 1.7с) показує, що падіння негативного потенціалу створюється по його довжині, коли мікродріт з ZnO знаходиться нижче осі стискаючого тиску. Кінцеве легування в дроті може частково екранувати п'єзоелектричні заряди, але воно не може повністю усунути п'єзоелектричний потенціал, тому можливе занурення в смугу. Ширина виснаження та внутрішнє поле можуть бути зменшені за допомогою цього додаткового компонента напруги, що пересувається вперед. Згодом струм впорскування та інтенсивність випромінювання світла при тій же напрузі, що подається зовні, збільшуються при напруженні пристрою [21].

Рис. 1.7. П'єзофотонічний ефект на світлодіоді GaN / ZnO. Підвищення інтенсивності випромінюваного світла та ефективності перетворення (n-ZnO дріт) - (GaN плівка).

Світлодіод під напруженим навантаженням. (а) Зображення, записані з випромінювального однопровідного світлодіода під різним прикладеним тиском (b) Прикладені інтенсивності випромінювання світла за даними, наведеними в (b), що показують величезне збільшення інтенсивності випромінювання зі збільшенням прикладеного напруження. Вхід - це струм впорскування світлодіода при напрузі зміщення 9 В зі збільшенням деформації. (с) Принципова діаграма енергетичної смуги. До р - п переходу без (верхній) і з (нижній, позначений червоною лінією) застосовується напруження тиску, де канал, створений на переході всередині ZnO, обумовлений п'єзопотенціалом, створений тиском. Червоні точки являють собою локальні п'єзозаряди біля переходу. Схил червоної лінії на нижньому зображенні на стороні ZnO являє рушійний ефект п'єзопотенціалу на рух носіїв заряду

1.9 Вплив на напівпровідники третього покоління

Напівпровідникові матеріали третього покоління, представлені широкосмуговими GaN та SiC, викликали інтенсивний інтерес до нових технологій у побутовій електроніці, системах зв'язку 5G, електромобілях, оптоелектроніці та оборонних програмах, завдяки своїм чудовим характеристикам матеріалів, включаючи високовольтний опір, високу частоту комутації, стійкість до високих температур та стійкість до випромінювання [12]. Широкий характер смуги та сильні п'єзоелектричні характеристики цих матеріалів дозволяють припустити, що п'єзотронні та п'єзофототронні муфти можуть бути суттєвими, забезпечуючи ідеальні передумови для вивчення фундаментального зв'язку між п'єзоелектричністю та безліччю науково цікавих процесів, таких як транспорт з високою частотою, робота у високому полі та двовимірний (2D) електронний газ у відповідних структурах пристроїв. Знання, отримані в результаті цих фундаментальних досліджень, очікуються позитивно вплинути на дизайн та розробку пов'язаних з ними пристроїв з підвищеною продуктивністю та ефективністю (наприклад, транзистори з високою електронною рухливістю та біполярні транзистори з ізолюванням затвором), що є критично важливими для загальносупільних технологій. Окрім супутніх фундаментальних інтересів та технологічного потенціалу, очікується, що дослідження і зусилля з розробки п'єзотронічного та п'єзофотонічного ефектів на напівпровідники третього покоління також будуть вдосконалені та посилені комерційною доцільністю та зрілістю пов'язаних технологічних процесів у виробництві та інтеграції цих матеріалів [12].

Висновки

Сфери п'єзотроніки та п'єзофотоніки дозволяють розробляти нові класи електроніки та оптоелектроніки, які можуть взаємодіяти з механічними сигналами з навколишнього середовища. У сучасних підходах до реалізації пристроїв з подібними функціональними можливостями механічні вузли повинні бути перетворені на електричні сигнали. Більше того, вплив механічного сигналу в операціях таких функціональних пристроїв потрібно звести до мінімуму. Поточні пристрої вимагають не тільки складної інтеграції різнорідних компонентів, але й не мають прямого взаємозв'язку між (опто) електронікою та механічним приводом. Подальші теоретичні та експериментальні дослідження також необхідні для підвищення стабільності роботи пристрою та надійності контакту з електродесемічним провідником, для контролю властивостей матеріалу в п'єзоелектричному напівпровіднику та для інтеграції впорядкованих масивів п'єзотронних та п'єзо-фототронних пристроїв.

П'єзотроніка та п'єзофотоніка внесли нові знання в класичну фізику напівпровідників з точки зору зв'язку між поляризацією, що викликається деформацією, та смуговими структурами та процесами носіїв заряду. Включення напівпровідникових властивостей (наприклад, вільних носіїв, формування з'єднання-контакту, електронного транспорту та оптичного збудження) дають в результаті великі можливості в дослідженні п'єзоелектричних матеріалів за рахунок знання та застосування цього давно не поміченого зв'язку між п'єзоелектричними та напівпровідниковими властивостями, що породжують нові фундаментальні явища та безпрецедентні технології пристроїв, включаючи передову електроніку, оптоелектроніку та навіть фотоелектрохімічні пристрої.

2. ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1 Загальна характеристика гетероструктур та методу дослідження

Досліджувані структури представляють собою гетеропереходи, котрі сформовані за тонких напівпровідникових шарів групи A_2B_6 . При дослідженні гетеро структур важливо визначити висоту потенційного бар'єру, котрий формується на межі різних матеріалів. В залежності від висоти бар'єру (чим вище, тим краще) можна робити висновок о можливості застосування таких структур при розробці напівпровідникових пристроїв, наприклад сонячних елементів (СЕ), фотодіодів (ФД), тощо. Формування бар'єру та його висота залежить від того які матеріали є складовими структури, та характеристик самого матеріалу (кристалічної ґратки, кількості дефектів, ширини забороненої зони, тощо). На рис. 2.1 представлено схематичне зображення енергетичних зон деяких гетеро структур.

Рис. 2.1 Зонні діаграми ідеального ізотипного n-p-гетеропереходу (а), а також ідеальних p-p- (б) і p-p-гетеропереходів (в) [25]

Одним з методів дослідження гетеро структур є вимір вольт-амперних характеристик (ВАХ). Цей метод відноситься до методу безпосередньої оцінки [23]. Структурна схема пристрою, яка реалізує цей метод – це ланцюжок вимірювальних перетворювачів (ВП), які відображені на рис. 2.2.

Рис. 2.2 Схема прямого перетворення для методу безпосередньої оцінки

Вхідний сигнал оброблюється вимірювальними перетворювачами і виводиться на відліковий апарат (ВА).

Структурна схема, яка була використана для виміру ВАХ в роботі, представлена на рис. 2.3. В ній використовувались вольтметр В7-15 та амперметр М24.

Рис. 2.3 Принципова схема підключення

Гетероструктури описуються різними моделями, котра з яких пропонує свою формулу для симуляції ВАХ. Так, для опису характеру ВАХ пропонується наступна формула [25]: де параметр U_{bi} – сума контактних потенціалів рівноважного стану обох напівпровідників гетеропереходу (див. рис.2.1). Значення цієї величини в нашому випадку невизначені точно, тому була використана простіша формула для розрахунку не гетеропереходу, а ідеального p – p переходу. Залежність струму в цьому випадку виглядає наступним чином:

Для оцінки якості сформованих бар'єрів було обрано параметр n - коефіцієнт неідеальності. Коефіцієнт неідеальності n розраховується за формулою, котра виведена з формули (9):

де q – елементарний заряд, $k = 1,380\,649 \cdot 10^{-23}$ Дж·К⁻¹ – стала Больцмана, T – температура, U_1 та U_2 – деякі напруги на прямій гілці ВАХ, I_1 та I_2 – струми при U_1 та U_2 відповідно.

Коефіцієнт неідеальності n , а саме його величина, дає змогу оцінити якість формування гетеропереходу. У випадку, коли його значення менше ніж 2, можна говорити про якісну границю розділу. У випадку, коли значення більше ніж 2, можна говорити про велику кількість дефектів на границі розділу, що є негативним фактом для виготовлення пристрою на основі такого гетеропереходу.

Для більш детального аналізу результатів вимірів ВАХ можна досліджувати структури представити як сонячні елементи, схема заміщення яких відома. На рис. 2.3 представлена схема заміщення фотоелектричного елемента:

Рис. 2.3 Еквівалентна схема фотоелементу

У даній схемі складовими елементами є джерело струму, діод, шунтуючий опір $R_{\text{шунт}}$ та послідовний опір $R_{\text{посл}}$ [24]. Джерело струму являє собою фотострум $I_{\text{ф}}$, індукований зовнішнім освітленням. Діод, включений послідовно, відображає $p-n$ перехід структури. Через надмірну концентрацію електронів в n – області та дірок в p – області виникає певний струм I_d . Шунтуючий опір фотоелементу розраховується за формулою [24]:

де $\Delta U_{\text{зв}}$ та $\Delta I_{\text{зв}}$ – деякі проміжки напруги та струму відповідно, взяті на зворотній гілці ВАХ. Цей опір виникає за рахунок наявності зворотного опору $p-n$ переходу, різних провідникових плівок та забруднень на поверхні елемента. Послідовний опір знаходиться згідно формулі [24]:

де $\Delta U_{\text{пр}}$ та $\Delta I_{\text{пр}}$ – деякі проміжки напруги та струму відповідно, взяті на прямій гілці ВАХ. Він обумовлений в основному опором контактів, перехідним опором напівпровідник – метал, а також власного опору напівпровідників.

Потенціал відкритого ланцюга вираховується за формулою:

де $\Delta n_{\text{пос}}$ – надлишкова концентрація електронно-діркових пар. Струм короткого замикання:

де $A_{\text{с}}$ – площа структури, q – елементарний заряд, d – товщина зразка, t_b об'ємний час життя, S – швидкість рекомбінацій на поверхнях. Фактор заповнення знаходиться за формулою $\frac{P}{P_d}$. Коефіцієнт корисної дії може бути знайдений як [24]:

де P_s – густина потужності падаючого сонячного випромінювання [24,26].

2.2 Технологія отримання гетероструктур

У представленому розділі розглядаються особливості методу «гарячих стінок», що дозволяє отримувати високоякісні гетероструктури (ГС) на основі плівок різної товщини матеріалів групи II-VI.

Тонкі плівки матеріалів II-VI, а саме CdSe , CdS , ZnSe , ZnS та інших використовуються при створенні різних типів сонячних елементів (CdS / CdTe , $\text{CuIn}(\text{Ga})\text{S}(\text{Se})$), пристроїв запису інформації, сенсорів випромінювання. Створення компонентної бази електроніки, виконаної на матеріалах II-VI, можливо при комплексному вивченні властивостей матеріалів в залежності від технологічних умов отримання. Інформація про механізми проходження струму в тонкоплівкових ГС важлива для створення нових типів різних сенсорів, швидкодіючих діодів, транзисторів для терагерцового діапазону і тд. Тому результати, представлені в даному розділі, стосуються питань управління кристалічною структурою і товщиною плівок за рахунок зміни певних технологічних режимів. Вивчено механізми протікання струму на основі вольт-амперних характеристик (ВАХ) гетероструктур, сформованих на матеріалах групи II-VI (CdS , CdSe , ZnS) [16].

Різновидом методів фізичного вакуумного осадження є метод «гарячих стінок» (the Hot Wall Technique). В основі методу лежить термічне випаровування матеріалу з подальшою конденсацією його на більш холодній підкладці і зростанням плівки.

Пристрій, у якому це відбувається складається з реакційної камери, нагрівачів і підкладки. Тримач підкладки виконаний у вигляді кришки, що закриває зверху робочий об'єм камери. Тому процес осадження плівок в подібній реакційній камері ще називають методом квазізамкненого об'єму. Особливістю методу «гарячої стінки» є наявність нагрівачів стінок робочої камери. Це дозволяє мінімізувати градієнт температури вздовж реакційної камери, забезпечуючи термодинамічну квазірівновагу парів осідаючого матеріалу, а також зменшити кількість осідаючого матеріалу на стінках камери. Виконання умови термодинамічної рівноваги дозволяє вирощувати текстуровані, а в деяких випадках навіть епітаксialні плівки. Особливістю кожної установки, що працює за цим методом, є конструкція і геометричні розміри реакційної камери. Тому технологічні режими і фізичні властивості одержуваних плівок є унікальними для конкретної установки. У цьому полягає новизна проведених досліджень: зміна геометрії реакційної камери вимагає нового підбору технологічних режимів з подальшим комплексним вивченням властивостей плівок; отримання плівок різного хімічного складу вимагає відповідно комплексного дослідження технологічних параметрів і вивчення їх впливу на властивості плівок і структур [21-22].

У даному проєкті використовувалися структури трьох типів, показаних на рис. 2.4. Перший етап виготовлення для усіх однаковий і включає в себе напилення порошку CdS на молібденову фольгу тривалістю 39-40 хвилин за температури 780-783°C. Далі, в залежності від зразка, напилювались ZnS, CdTe або CuS. Показники чотирьох термопар виводяться у вигляді графіку залежності температури від часу за допомогою мікропроцесорного модуля Tritan 6000.

Рис. 2.4 Структурні схеми зразків. а) – типу Mo+CdS+CuS, б) – типу CdS+CdTe+CuS, в) – типу CdS+ZnS+CuS

Основні технологічні параметри (температура камери, нагрівача комірки) впливали на розмір зростаючих мікрористалітів, але не змінювали переважну фазу зростання. Найкращими ВАХ володіли гетероструктури з плівками [CdSe](#), що мають розмір зерен 2-3 мкм. Отриманий результат дозволяє оптимізувати технологічні режими зростання. Переважання тунелювання в механізмах струмопереносу дозволяє зробити прогноз, що структури на основі матеріалів групи II-VI ([CdSe](#), [CdS](#), ZnSe, ZnS) можуть представляти інтерес для створення тунельних і резонансно-тунельних діодів і транзисторів.

3. ІНЖЕРЕНО – РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

3.1 Результати вимірів ВАХ

В ході експерименту дослідження напівпровідникових структур було знято вольт-амперні характеристики. Вимірювання проводилися за умов освітлення та за його відсутності, за умов певного тиску, без нього та при деформації «згортання» - структура піддавалася зміні своєї звичайної форми шляхом її частково згортання. Фотографія установки вимірювання за тримачем для зразка показана на рис. 3.1

Рис. 3.1. Вимірювальна установка

Зліва розташована підставка, на якій за допомогою затискачів фіксувався вимірювальний зразок. Тут же вбудований світлодіод, який створював освітлення. Справа розташований пристрій під назвою «Автоматизированная установка для измерения темновых и световых Вольт-Амперных характеристик диодных структур», який проводив вимірювання, оброблював результати та виводив їх на комп'ютер. По центру знаходиться саморобний купол який слугував як екран від зовнішнього світлового випромінювання. Графіки вимірюваних ВАХ представлені на рис. 3.2 - 3.15.

Рис. 3.2. Вольт-Амперна характеристика структури 1-Mo-CdS-CuS(0.7p) без освітлення

Рис. 3.3. Вольт-Амперна характеристика структури 1-Mo-CdS-CuS(0.7p) у при освітленні

Рис. 3.4. Вольт-Амперна характеристика структури 2-Mo-CdS-CuS(0.7p) без освітлення

Рис. 3.5. Вольт-Амперна характеристика структури 2-Mo-CdS-CuS(0.7p) при освітленні

Рис. 3.6. Вольт-Амперна характеристика структури CdS+CdTe+CuS(3.434 1st) без освітлення	
Рис. 3.7. Вольт-Амперна характеристика структури CdS+CdTe+CuS(3.434 1st) при освітленні	
Рис. 3.8. Вольт-Амперна характеристика структури CdS+CdTe+CuS(3.434 2nd) без освітлення	
Рис. 3.9. Вольт-Амперна характеристика структури CdS+CdTe+CuS(3.434 2nd) при освітленні	
Рис. 3.10. Вольт-Амперна характеристика структури CdS+CdTe+CuS(3.436 1st) без освітлення	
Рис. 3.11. Вольт-Амперна характеристика структури CdS+CdTe+CuS(3.436 1st) при освітленні	
Рис. 3.12. Вольт-Амперна характеристика структури CdS+CdTe+CuS(3.436 2nd) без освітлення	
Рис. 3.13. Вольт-Амперна характеристика структури CdS+CdTe+CuS(3.436 2nd) при освітленні	
Рис. 3.14. Вольт-Амперна характеристика структури CdS+ZnS+CuS(3.439 1st) без освітлення	
Рис. 3.15. Вольт-Амперна характеристика структури CdS+ZnS+CuS(3.439 1st) при освітленні	
Результати розрахунків за формулами (120 -125) зведені то таблиць 3.1-3.9	
Результати вимірів зразка 1-Mo-CdS-CuS(0.7гр) - при освітленні	Таблиця 3.1
Результати вимірів зразка 2-Mo-CdS-CuS(0.7гр) - при освітленні	Таблиця 3.2
Результати вимірів зразка CdS+CdTe+CuS(3.434 1st) - при освітленні	Таблиця 3.3
Результати вимірів зразка CdS+CdTe+CuS(3.434 2nd) - при освітленні	Таблиця 3.4
Результати вимірів зразка CdS+CdTe+CuS(3.436 1st) - при освітленні	Таблиця 3.5
Результати вимірів зразка CdS+CdTe+CuS(3.436 2nd) - при освітленні	Таблиця 3.6
Результати вимірів зразка CdS+ZnS+CuS(3.439 1st) - при освітленні	Таблиця 3.7
Результати вимірів зразка CdS+ZnS+CuS(3.443 1st) - при освітленні	Таблиця 3.8
	Таблиця 3.9

Фактор неідеальності n для усіх зразків

3.2 Розрахунок чутливості

Чутливість – це відношення приросту показника до приросту змінювальної величини, і вона знаходиться за формулою [23]:

де Δy – приріст показника, а Δx - приріст змінювальної величини, $f(x)$ – певна функція.

У даному випадку буде розглядатися чутливість до тиску S , яка буде оцінюватися як відношення різниці струмів при деякому тиску та без нього до струму, вказаного другим. Для оцінки чутливості структур до прикладеного тиску зроблено наступні розрахунки:

де-значення струмів при тиску та без відповідно. Зміна цього тиску, який прикладався до зразка, виконувалась за допомогою важелів з масою 10, 20, 50, 100 та 200 грам. Вони ставилися зверху на спеціальний купол, показаний на рис. 3.1, тим самим створюючи тиск на гетероструктуру. На графіках залежності чутливості від тиску горизонтальна вісь порашована одиницях - Паскаль. Цей тиск розраховувався як відношення сили тиску F , яка

розраховувалася в одиницях – Ньютон, до площі діодної структури, яка становить 0,196 см²:

де m - маса важеля в кг, $g = 9.81 \text{ м/с}^2$ - стала прискорення вільного падіння. Тому вирішальна формула має вигляд:

де S – площа досліджуваної гетероструктури. Числові значення наведені у таблицях 3.10-3.17 і продемонстровані на графіках 3.16 - 3.23.

Таблиця 3.10

Значення чутливості S для 1-Mo-CdS-CuS(0.7gp)

Рис. 3.16 Графіки залежності чутливості S для зразка 1-Mo-CdS-CuS(0.7gp). а) – пряма гілка без освітлення, б) – зворотня гілка без освітлення, в) – пряма гілка з освітленням, г) – зворотня гілка з освітленням

Таблиця 3.11

Значення чутливості S для 2-Mo-CdS-CuS(0.7gp)

Рис. 3.17 Графіки залежності чутливості S для зразка 2-Mo-CdS-CuS(0.7gp). а) – пряма гілка без освітлення, б) – зворотня гілка без освітлення, в) – пряма гілка з освітленням, г) – зворотня гілка з освітленням

Таблиця 3.12

Значення чутливості S для CdS+CdTe+CuS(3.434 1st)

Рис. 3.18 Графіки залежності чутливості S для зразка CdS+CdTe+CuS(3.434 1st). а) – пряма гілка без освітлення, б) – зворотня гілка без освітлення, в) – пряма гілка з освітленням, г) – зворотня гілка з освітленням

Таблиця 3.13

Значення чутливості S для CdS+CdTe+CuS(3.434 2nd)

Рис. 3.19 Графіки залежності чутливості S для зразка CdS+CdTe+CuS(3.434 2nd). а) – пряма гілка без освітлення, б) – зворотня гілка без освітлення, в) – пряма гілка з освітленням, г) – зворотня гілка з освітленням

Таблиця 3.14

Значення чутливості S для CdS+CdTe+CuS(3.436 1st)

Рис. 3.20 Графіки залежності чутливості S для зразка CdS+CdTe+CuS(3.436 1st). а) – пряма гілка без освітлення, б) – зворотня гілка без освітлення, в) – пряма гілка з освітленням, г) – зворотня гілка з освітленням

Таблиця 3.15

Значення чутливості S для CdS+CdTe+CuS(3.436 2nd)

Рис. 3.21 Графіки залежності чутливості S для зразка CdS+CdTe+CuS(3.436 2nd). а) – пряма гілка без освітлення, б) – зворотня гілка без освітлення, в) – пряма гілка з освітленням, г) – зворотня гілка з освітленням

Таблиця 3.16

Значення чутливості S для CdS+ZnS+CuS(3.439 1st)

Рис. 3.22 Графіки залежності чутливості S для зразка CdS+ZnS+CuS(3.439 1st). а) – пряма гілка без освітлення, б) – зворотня гілка без освітлення, в) – пряма гілка з освітленням, г) – зворотня гілка з освітленням

Таблиця 3.17

Значення чутливості S для CdS+ZnS+CuS(3.443 1st)

Рис. 3.23 Графіки залежності чутливості S для зразка CdS+ZnS+CuS(3.443 1st). а) – пряма гілка без освітлення, б) – зворотня гілка без освітлення, в) – пряма гілка з освітленням, г) – зворотня гілка з освітленням

ВИСНОВКИ

У роботі розглянуто такі явища як пьезоефект, пьезофототронний ефект, п'єзофотоніка, описано їх фізичні основи. Конкретна увага була приділена плівкам групи A_2B_6 , які є основою проекту. Вони вважаються цікавими через наявних у них пьезофототронний ефект, що є основою дослідження. Розглядалися також технологічні чинники і методи отримання цих гетероструктур. В якості експерименту було зроблено виміри ВАХ,

результати яких показали, що досліджені діодні структури на основі плівок CdS та Cu₂S мають п'єзофототронні властивості, а саме, підвищення струму при освітленні та прикладанні тиску. Розраховані значення чутливості до тиску показали, що струм по зворотній та прямій гілці ВАХ змінюється в різних інтервалах. Найбільша чутливість в діапазоні 0 – 77,31 абсолютних одиниць було зафіксовано для зразку 2-Mo-CdS-CuS(0.7гр) для зворотного струму без освітлення. При додатковому освітленні чутливість до тиску по зворотній гілці ВАХ складає 0 – 7,73. Зміна чутливості до величини прикладеного тиску спостерігається також на прямій гілці ВАХ. Так без освітлення S знаходиться в інтервалі 0 – 0,35, а при освітленні S збільшується до величин 0 – 1,38.

Отже, виміри ВАХ діодних структур на основі напівпровідникових плівок CdS та Cu₂S показали наявність п'єзофототронного ефекту, що дозволяє створювати на основі цього гетеропереходу нові функціональні прилади для виміру тиску та величини освітленості.

ДОДАТОК Б

S U M M A R Y

Diode structures with piezo and phototron effect

The diploma project of first educational level "Bachelor" by specialty 171 Electronics, specialization Electronic Instruments and Devices. National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute». Faculty of Electronics, Department of Electronic Devices and Systems. Academic group DE61. - Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2020. - 63p., Ill. 34, tables 17.

An idea: This project will discuss A₂B₆ films, namely the presence of a piezophototron effect and its study. The main purpose of the research is to set up an experiment with these heterostructures, to study the factors influencing their properties (the influence of light radiation and application of pressure was considered), which can be used to create a fundamentally new class of semiconductor devices, especially in sensors and photovoltaics.

In addition to silicon, which is the main material of microelectronics and electronics, materials of group A₂B₆ are of scientific and practical interest due to the physical properties that silicon does not have. This is especially true of the piezoelectric effect. The piezoelectric effect is observed in crystals of some substances with a certain symmetry. The most common in nature, piezoelectric minerals include quartz, tourmaline, sphalerite, nepheline. A₂B₆ films have been found to have piezoelectric properties because they are non-centrosymmetric. Among the methods of studying the presence of the piezoelectric effect are classical methods, such as the study of resonance and antiresonance, and new methods, such as the study of the piezophototron effect. The essence of the piezophototron effect is that it is the effect of a triple connection between the piezoelectric polarization potential (piezo potential), semiconductor properties and photoexcitation. The test object must be both a semiconductor, have photosensitivity and have a piezoelectric effect.

The first section tells about the physics of process. It is investigated that the piezo charges caused by deformation regulate the energy band of the piezoelectric semiconductor near the junction, which, in turn, effectively adjusts the throughput of the semiconductor. Using the internal crystal potential created by piezoelectric charges to control or adjust the throughput of a semiconductor, this is a piezotronic effect, on the basis of which many mechanical electronic devices are made. This fundamental theory will support a wide range of potential applications, such as the interaction between computers and humans, nanorobots and sensors.

The nature of the piezophototron effect is to adjust the effect of piezoelectric polarization on the process of generation, transportation, separation or recombination of the carrier at the transition. This suggests that the performance of optoelectronic devices and the interaction with light are significantly altered by external voltage, which can have a wide potential application in solar cells, photodetectors, lasers and LEDs, and so on.

The size of nanostructures can be influenced by the piezotronic and piezophototronic effects due to the size dependence of the Young's modulus in the materials. According to previous studies, the Young's modulus decreases with decreasing SZ diameter, which leads to a decrease in the

piezotronic and piezophoton effects. In addition, as the temperature increases, the piezotronic and piezophoton effects will decrease. This is due to the fact that the effective piezoelectric polarization charges on the surface / transition will decrease due to the enhanced shielding effect, which is the result of increasing the number of mobile charge carriers in nanostructures at higher temperatures.

Third-generation GaN and SiC broadband semiconductor materials have sparked intense interest in new technologies in consumer electronics, 5G communications systems, electric vehicles, optoelectronics, and defense applications due to their excellent material characteristics, including high voltage resistance, high switching frequency, and resistance. high temperatures and resistance to radiation. The wide nature of the band and the strong piezoelectric characteristics of these materials suggest that piezotronic and piezophoton couplings can be significant, providing ideal conditions for studying the fundamental relationship between piezoelectricity and many intriguing processes, such as transport with high frequency, high field operation and two-dimensional (2D) electron gas in the respective device structures. The knowledge gained from this basic research is expected to have a positive impact on the design and development of related devices with increased performance and efficiency (eg, high-electron transistors and insulated gate bipolar transistors), which are critical to public technologies.

The expansion of the functional needs of electronics necessitates the search for new materials and structures. In particular, much attention is paid to the development of new technological methods and equipment for obtaining thin-film structures of nanometer thickness. However, traditional methods can also be used for these purposes. The presented section considers the features of the method of "hot walls", which allows to obtain high-quality heterostructures (HS) based on films of different thickness of materials of group II-VI.

In addition to related fundamental interests and technological potential, it is expected that research and efforts to develop piezotronic and piezophoton effects on third-generation semiconductors will also be improved and enhanced by the commercial feasibility and maturity of related processes in the production and integration of these materials.

Thin films of materials II-VI, namely CdSe, CdS, ZnSe, ZnS and others are used in the creation of various types of solar cells (CdS / CdTe, CuIn (Ga) S (Se)), information recording devices, radiation sensors. Creating a component base of electronics made on materials II-VI, it is possible in a comprehensive study of the properties of materials depending on the technological conditions of production. Information about the mechanisms of current flow in thin-film HS is important for the creation of new types of different sensors, high-speed diodes, transistors for the terahertz range, and so on. Therefore, the results presented in this section relate to the management of the crystal structure and thickness of the films by changing certain technological modes. The mechanisms of current flow based on current-voltage characteristics (I – V characteristics) of heterostructures formed on materials of group II-VI (CdS, CdSe, ZnS) have been studied.

The second section represents one of the variety of methods of physical vacuum deposition, which is called the method of "hot walls" (the Hot Wall Technique). The method is based on thermal evaporation of the material with subsequent condensation on a colder substrate and film growth. The device in which this occurs consists of a reaction chamber, heaters and a substrate. The substrate holder is made in the form of a cover that closes the top of the working volume of the camera. Therefore, the process of deposition of films in such a reaction chamber is also called the method of quasi-closed volume. A feature of the "hot wall" method is the presence of heaters on the walls of the working chamber. This minimizes the temperature gradient along the reaction chamber, providing a thermodynamic quasi-equilibrium of the vapor of the precipitating material, as well as reducing the amount of precipitating material on the walls of the chamber.

And, finally, the third section consists of the basis of the study. It is the measurement of I - V characteristics, the results of which are presented in the paper. They took place using special software, which also calculated certain light parameters of the sample, shown in the relevant

tables. Also, using graphs of the constructed $I - V$ characteristics, such a parameter as sensitivity to pressure was calculated, the results of which are reflected in the relevant tables and graphs.

Among these values of sensitivity to pressure, it was found that the current in the reverse and forward branches of the $I - V$ characteristics varies at different intervals. The highest sensitivity in the range 0 - 77.31 absolute units was recorded for the sample 2-Mo-CdS-CuS (0.7g) for reverse current without illumination. Under additional lighting, the sensitivity to pressure on the reverse branch of the $I - V$ curve is 0 - 7.73.

Thus, the measurements of the $I - V$ characteristics of diode structures based on CdS and CuS semiconductor films showed the presence of a piezophototron effect, which allows to create new functional devices for measuring pressure and illuminance based on this heterojunction.

In this diploma paper were used 26 sources of scientific and technic literature. They consist of scientific articles, books, internet resources and some educational manuals.

This project also has an addition A, which is the drawing of device, used in measurements, framed on A1 sheet.

Keywords: piezophotonics, piezophototron effect, heterostructure, semiconductor films of group A_2B_6 , thermal deposition, current – voltage characteristics, sensitivity.

Схожість

Схожість із джерелами з Інтернету

34

1	https://www.cambridge.org/core/journals/mrs-bulletin/article/piezotronics-and-piezophotonics-with-thirdgenerat	2 Джерело	0.97%
3	https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/30569/1/Klymenko_magistr.pdf		0.25%
5	https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/28338/1/Zavalniuk_bakalavr.pdf	30 Джерело	0.2%
7	http://samzan.ru/67556		0.11%

Схожість по Бібліотеці акаунту

48

2	2020-bachelor-EDS_Kyvhylo_n-p_prystroyii_fch	ID файлу: 1004030973	Institution: National Technical Univer	44 Джерело	0.62%
4	2019_ Клименко Владислав_ Пезофототронний ефект в діодних ст	ID файлу: 1000786846	Institution: Nation...		0.25%
6	Горянін	ID файлу: 1000051199	Institution: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"		0.12%
8	Студентська робота	ID файлу: 1003268104	Institution: Lviv Polytechnic National University	2 Джерело	0.11%

Цитати

Цитати

1

- ¹ Thin films of materials II-VI, namely **CdSe**, **CdS**, **ZnSe**, **ZnS** and others are used in the creation of various types of solar cells (**CdS** / **CdTe**, **CuIn** (Ga) S (Se)), information recording devices, radiation sensors.