Мілованов Юрій Сергійович. Назва дисертаційної роботи: "ЕЛЕКТРИЧНІ ТА ЛЮМІНЕСЦЕНТНІ ВЛАСТИВОСТІ КОМПОЗИТНИХ СТРУКТУР НА ОСНОВІ ПОРИСТОГО КРЕМНІЮ ТА ОКСИДУ ТИТАНУ"

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

На правах рукопису

Мілованов Юрій Сергійович

УДК 538.95

ЕЛЕКТРИЧНІ ТА ЛЮМІНЕСЦЕНТНІ ВЛАСТИВОСТІ

КОМПОЗИТНИХ СТРУКТУР НА ОСНОВІ ПОРИСТОГО КРЕМНІЮ

ТА ОКСИДУ ТИТАНУ

01.04.10 – фізика напівпровідників і діелектриків

Дисертація

на здобуття наукового ступеня

кандидата фізико-математичних наук

Науковий керівник:

доктор фіз.-мат. наук, професор

Скришевський Валерій Антонович

Київ-2015

2

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОСИЛАНЬ І СКОРОЧЕНЬ

ІЧ інфрачервоний

ПК пористий кремній

УФ ультрафіолетовий

РСГР релаксаційна спектроскопія глибоких рівнів

ФЛ фотолюмінесценція

ВАХ вольт-амперна характеристика

ВФХ вольт-фарадна характеристика

ОПЗ область просторового заряду

ПЕС поверхневі електронні стани

АЦП аналого-цифровий перетворювач

ЦАП цифро-аналоговий перетворювач

МДН метал – діелектрик – напівпровідник

МКК мікрокристалічний кремній

ФЕП фотоелектронний підсилювач

СОПЗ струм, обмежений просторовим зарядом

3

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОСИЛАНЬ І СКОРОЧЕНЬ...........................................2

ВСТУП......................................................................................................................6

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.......................................................................14

1.1. Наноматеріали……………............................................................................14

1.2. Методи отримання наноматеріалів ..............................................................18

1.3. Властивості ПК..............................................................................................19

1.3.1. Формування ПК......................................................................................19

1.3.2. Морфологія ПК......................................................................................21

1.3.3. Механізми фотолюмінесценції ПК......................................................23

1.3.4. Пасивування ПК.....................................................................................24

1.3.5. Контактні явища в структурах з ПК.....................................................27

1.4. Діоксид титану........................... ....................................................................29

1.4.1. Властивості і застосування TiO2...........................................................29

1.4.2. Методи отримання TiO2........................................................................31

1.4.3. Наноструктури з TiO2...........................................................................32

1.4.4. Транспорт в структурах з TiO2.............................................................33

1.4.5. Застосування таблетованих нанокомпозитів у якості сенсорів.........34

Висновки до розділу 1...........................................................................................35

РОЗДІЛ 2. ВИГОТОВЛЕННЯ ЗРАЗКІВ І МЕТОДИ ЕКСПЕРИМЕНТУ.......37

2.1. Технологія виготовлення зразків.................................................................37

2.1.1. Виготовлення структур з нанокристалічними плівками ТіО2 на

кремнієвих підкладках......................................................................................37

2.1.2. Технологія виготовлення структур з проміжним шаром ПК…..........38

2.1.3. Технологія виготовлення композитних структур, сформованих

методами поверхневого хімічного осадження наночасток сульфіду кадмію

в матриці ПК......................................................................................................40

2.1.4. Технологія виготовлення порошку ПК.................................................41

4

2.1.5. Технологія виготовлення композитних структур кремній – SiО2,

кремній – ТіО2....................................................................................................42

2.1.6. Технологія виготовлення композитних структур ПК та LaF3.............43

2.2. Методи експерименту....................................................................................44

2.2.1. Метод емісійної РСГР.............................................................................44

2.2.2. Методи дослідження електрофізичних характеристик.......................48

2.2.2.1. Метод ВФХ.........................................................................................48

2.2.2.2. Вимірювання ВАХ.............................................................................49

2.2.2.3. Метод імпедансної спектроскопії.....................................................49

2.2.3. Вимірювання спектру та кінетики ФЛ..................................................53

2.2.4. Інфрачервона спектроскопія..................................................................54

Висновки до розділу 2...........................................................................................54

РОЗДІЛ 3. ІМПЕДАНС СПЕКТРОСКОПІЯ АДСОРБЦІЙНО-АКТИВНИХ

КОМПОЗИТНИХ СТРУКТУР З НАНО- ТА МІКРО-КРИСТАЛІЧНИМ

КРЕМНІЄМ В ДІЕЛЕКТРИЧНИХ МАТРИЦЯХ...............................................56

3.1. Структури кремній - SiO2, кремній - TiO2....................................................56

3.1.1. ІЧ - спектри структур кремній - SiO2, кремній - TiO2 .........................56

3.1.2. Влив адсорбції парів води на електрофізичні властивості

структур..............................................................................................................59

3.1.3. Протонна провідність в структурах.......................................................64

3.2. Композитні структури мікрокристалічний кремній та ПК.......................66

3.2.1. Вихідні порошки і композитні структури.............................................66

3.2.2. Частотні залежності імпедансу кремнієвих структур..........................69

3.2.3. Вплив адсорбції на часові залежності імпедансу.................................72

Висновки до розділу 3...........................................................................................77

5

РОЗДІЛ 4. ЕЛЕКТРИЧНІ ТА ЛЮМІНЕСЦЕНТНІ ВЛАСТИВОСТІ

МОДИФІКОВАНИХ ШАРІВ ПК........................................................................80

4.1. Релаксаційна спектроскопія глибоких рівнів в мезо- та нано- пористому

кремнії. Вплив адсорбції молекул .....................................................................80

4.2. Фотолюмінесценція ПК з осадженим методом SILD покриттям LaF3...87

4.2.1. Структура та морфологія структур........................................................88

4.2.2. ІЧ-спектри поглинання структур...........................................................90

4.2.3. Спектри ФЛ структур..............................................................................92

4.2.4. Вплив окислюючої атмосфери озону....................................................95

4.3. Електрофізичні та люмінесцентні властивості систем сульфід кадмію –

ПК............................................................................................................................97

4.3.1. Електричні характеристики синтезованих структур............................97

4.3.2. Фотолюмінесцентні властивості..........................................................102

Висновки до розділу 4.........................................................................................107

РОЗДІЛ 5. ОСОБЛИВОСТІ ПРОТІКАННЯ СТРУМУ В

ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ ОКСИД ТИТАНУ – КРЕМНІЙ................................109

5.1. Вольт-амперні характеристики...................................................................109

5.2. Структури Ті-TіО2-nSi..................................................................................113

5.3. Структури Ті-TіО2-рSi..................................................................................116

5.4. Формування провідних каналів...................................................................118

5.5. Імпедансна спектроскопія............................................................................119

5.6. Вплив адсорбції молекул води ...................................................................121

Висновки до розділу 5.........................................................................................124

ВИСНОВКИ.........................................................................................................126

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ...........................................................129

6

ВСТУП

Актуальність теми. Наразі роботи в області створення нанокомпозитів і

вивчення їхніх властивостей представляються сучасними і актуальними.

Зокрема ведуться інтенсивні дослідження, спрямовані на створення газових

сенсорів, оптичних фільтрів, світловипромінюючих структур,

мікроелектромеханічних систем (МЕМС) на основі наноструктурованих

композитних матеріалів.

Багато досліджень присвячено структурам на основі оксиду SiО2, ТiО2,

ZrО2, SnO2, нанокристалічного і ПК. Необхідність подальшого дослідження

саме цих матеріалів обумовлена рядом факторів. По-перше, ефективна

промислова технологія обробки кристалічного кремнію поєднується з

розвиненими методами травлення пор, які дозволяють досить точно задавати

геометрію та морфологію структури, що важливо, наприклад, для створення

МЕМС. По-друге, ПК поєднує в собі унікальну комбінацію кристалічної

структури та гігантської зовнішньої поверхні ( до 1000 м

2

/см3

), що може

значно підсилити ефект адсорбції, що важливо для газових сенсорів,

мікробіореакторів, порошкових каталізаторів тощо. Незважаючи на очевидні

переваги цього матеріалу на сьогодні існують деякі невирішені питання,

зокрема, при контакті з повітрям відбувається деградація оптичних та

електричних параметрів ПК. Це пов’язане з тим, що на поверхні ПК існує

велика кількість обірваних зв’язків, які формують локалізовані енергетичні

стани в забороненій зоні, і які є центрами взаємодії з молекулами кисню,

води та іншими окисниками. Тому необхідне більш детальне дослідження

характеристик локалізованих енергетичних станів і розробка стабільних

пасивуючих покриттів ПК для створення оптоелектронних приладів на його

основі.

Це ж стосується і інших нанокомпозитних матеріалів. Так,

нанодисперсні оксиди ТiО2 при розмірах частинок до ~10 нм при контакті з

водою сприяють формуванню поверхневих ОНгруп з високою реакційною

7

активністю. Самогенерація при адсорбції молекул води збуджених станів

визначає реакції утворення поверхневих дефектів і відповідних каналів

проходження заряду. Очевидно, що дослідження впливу адсорбції/десорбції

пари води може служити одним з ефективних інструментів дослідження

особливостей утворення проміжних гідратованих шарів на міжфазних

границях в нанокомпозитних структурах с різним типом і хімічним складом

оксидної фази. Це питання потребує подальшого дослідження.

Сьогодні домінуючим матеріалом для газових сенсорів є тонкоплівкові

та порошкові структури на основі SnO2. В той же час композитні матеріали

на основі мікро-, та нано- порошків кремнію в діелектричних матрицях (SiO2,

TiO2) та поверхнево-барєрні структури на основі нано- оксиду титану

практично не досліджувались як хімічні сенсори.

Зв’язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дослідження проводились в рамках виконання бюджетних тем та науковотехнічних проектів кафедри напівпровідникової електроніки радіофізичного

факультету і кафедри нанофізики конденсованих середовищ Інституту

високих технологій Київського національного університету імені Тараса

Шевченка:

1. Бюджетна тема “Фізичні основи процесів формування

напівпровідникових наноструктур для пристроїв електроніки і

фотоніки”, номер державної реєстрації № 0111U006258, термін

виконання 2011-2015 р.

2. Договір “Закономірності формування і властивості наноматеріалів на

основі пористого кремнію та мультинаношарів, синтезованих методом

іонного нашарування” з ДФФД № Ф40/40-2011 від 25 липня 2011р.,

номер державної реєстрації № 0111U004957, термін виконання 2011-

2012 р.

3. Бюджетна тема “Фізичні основи елементної бази та ефекти взаємодії

випромінювання з речовиною для розвитку новітніх технологій

8

інформатизації”, номер державної реєстрації № 0106U006545, термін

виконання 2006-2010 р.

Мета даної роботи – з’ясування електронних, електричних та

люмінесцентних властивостей: 1) композитних структур на основі мікро- та

нано- Si в матрицях оксидів кремнію та тітану, 2) гетероструктур на основі

нано- і мезо- пористого кремнію та оксиду титану для сенсорних

використань.

В роботі розв’язувались наступні наукові задачі:

1. Створити лабораторну технологію виготовлення композитних структур

з включеннями кремнієвих кристалітів в діелектричні матриці SiO2 та

TiO2.

2. Вивчити електрофізичні властивості композитних структур Si+SiO2 і

Si+TiO2 як в вакуумі так і при адсорбції молекул.

3. Встановити кореляцію між частотними та часовими залежностями

повного імпедансу і визначити швидкість зміни параметрів

композитних структур з ПК в умовах динамічного адсорбційнодесорбційного впливу.

4. Дослідити локалізовані стани в гетероструктурах з мезо- та нанопористим кремнієм у вакуумі і різних газових середовищах.

5. Розробити технологію модифікації мезо- та нано- пористих шарів

кремнію пасивуючими покриттями (трифторид лантану, сульфід

кадмію) та дослідити електрофізичні та люмінесцентні властивості

створених матеріалів.

6. Вивчити сенсорні властивості і механізми струмопроходження в

гетероструктурах метал - ТіО2 –n,рSі у різних газових середовищах.

Об’єктом дослідження були композитні плівкові та порошкоподібні

структури, гетероструктури з діелектричними та напівпровідниковими

шарами.

9

Предметом дослідження були фізико-хімічні властивості композитних

структур на основі низькорозмірного кремнію та TiO2 у різних газових

середовищах.

Для досягнення поставленої мети застосовувались такі методи

дослідження: вимірювання залежностей електричного опору зразків від

напруги на постійному і змінному сигналі, вольт-фарадних та вольтамперних характеристик на повітрі та у присутності води та спирту,

спектральні залежності та час затухання фотолюмінесценції, метод

релаксаційної спектроскопії глибоких рівнів.

Наукова новизна роботи:

1. Вперше створено композитні структури нанокристалічний Si+SiO2,

нанокристалічний Si+TiO2, мікрокристалічний Si+ПК та вивчено їх

імпедансні характеристики. Визначені параметри об’єму і границь

кристалітів, механізми електронного транспорту в різних атмосферах

(повітря, пари води та етилового спирту).

2. Визначені швидкості зміни параметрів композитних структур на основі

1) мікрокристалічного кремнію (МКК), 2) мікрокристалічного та

пористого кремнію в умовах динамічного адсорбційно-десорбційного

впливу зовнішніх реагентів (Н2О і С2Н5ОН).

3. Визначено роль локалізованих станів у процесах деградації та пасивації

гетероструктур з ПК у вакуумі і різних атмосферах: повітрі, Ar, N2, CO2,

O2. Показано, що глибокі пастки акцепторного типу в мезопористих

шарах Si можуть бути повністю виключені з процесу релаксації при

адсорбції молекул кисню акцепторного типу.

4. Вперше запропоновано технологію нанесення моношарів LaF3 на мезопористий кремній методом послідовного іонного нашаровування.

Показано, що формування навіть декількох моношарів LaF3 на

поверхні мезо-пористого кремнію веде до формування

люмінесцентного шару ПК і створенню пасивуючого та захисного шару

на поверхні ПК.

10

5. Визначені механізми струмопроходження гетероструктур метал - ТіО2 –

n,рSі у різних газових середовищах, сформованих методами золь-гель

технології, і показано, що на їх основі можна створювати структури для

хімічних сенсорів.

Практичне значення одержаних результатів полягає в наступному:

1. За результатами досліджень запропоновано технологію виготовлення

таблетованих композитних структур мікро- та нано- кремнію в

дисперсних SiO2 та ТіО2 матрицях, на базі яких можливо створення

ефективних сенсорів вологості.

2. Обгрунтовано метод графоаналітичної обробки часових залежностей

імпедансу в умовах динамічної адсорбції/десорбції парів води, що

дозволяє отримувати інформацію про властивості об’єму і границь

кристалітів додатково до стаціонарних імпедансних досліджень.

3. Розроблена технологія пасивації мезопористих плівок ПК методом

послідовного іонного нашаровування LaF3.

4. Визначені параметри глибоких рівнів в контактних структурах на

основі мезо- та нано-пористого кремнію.

Особистий внесок автора в отримання наукових результатів полягає в

обговоренні задач та результатів досліджень, постановці та проведенні

експериментів: виготовлення пресованих зразків на основі порошків

нанокристалічного і пористого кремнію, оксиду ТiО2 та SiO2 [2,6,10-12,17],

виготовлення зразків з нано- і мезо-пористим кремнієм [1,4,5,8,9,13,18]. В

роботах [2,4,5,18] дисертант проводив вимірювання кінетики

фотолюмінесценції, виконував апроксимацію експериментальних даних. В

роботах [2,4-6] проводив вимірювання спектрів ІЧ пропускання та

здійснював їх інтерпретацію з метою дослідження складу та структурних

особливостей поруватих композитних матеріалів. В роботах [2,6,7,10-12,17]

проводив вимірювання імпедансних характеристик композитних структур, в

11

роботі [1,8,9] приймав участь у вимірюванні спектрів релаксаційної

спектроскопії глибоких рівнів в зразках з пористим кремнієм, в роботі

[3,7,14-16] брав участь у вимірюванні вольт-амперних та вольт-фарадних

характеристик в гетероструктурах Ті - ТіО2 –n,рSі. Разом з науковим

керівником здобувач брав активну участь в обговоренні та інтерпретації

експериментальних результатів, а також в написанні всіх наукових робіт [1-

18] та в підготовці їх до друку.

Апробація роботи: Основні матеріали дисертації доповідались і

обговорювались на 11 вітчизняних та міжнародних конференціях:

1. 4

th International Conference "Porous Semiconductors – Science and

technology" (PSST-2004) (Валенсія, Іспанія, 2004 рік).

2. I міжнародна науково-технічна конференція "Сенсорна електроніка і

мікросистемні технології" (Одеса, Україна, 2004 рік).

3. ІV Українська наукова конференція з фізики напівпровідників УНКФН-4

(Запоріжжя, Україна, 2009 рік).

4. Десята міжнародна конференція молодих вчених з прикладної фізики

(Київ, Україна, 2010 рік).

5. IV міжнародна науково-технічна конференція "Сенсорна електроніка та

мікросистемні технології" (Одеса, Україна, 2010 рік).

6. VI міжнародна конференція "Електроніка та прикладна фізика" (Київ,

Україна, 2010 рік).

7. I міжнародна науково-практична конференція "Напівпровідникові

матеріали, інформаційні технології та фотовольтаїка" (НМІТФ-2011,

Кременчук, Україна, 2011 рік).

8. IV міжнародна наукова конференція "Функціональна база

наноелектроніки" (Кацивелі, Україні, 2011 рік).

9. V Українська наукова конференція з фізики напівпровідників УНКФН-5

(Ужгород, Україна, 2011 рік).

10. V міжнародна науково-технічна конференція "Сенсорна електроніка та

мікросистемні технології" (Одеса, Україна, 2012 рік).

11. III міжнародна наукова конференція "Наноструктурные материалы-2012:

Россия- Украина-Беларусь (НАНО-2012)" (Санкт-Петербург, Росія, 2012

рік).

12

Публікації: Основні результати дисертації викладені у 18 роботах,

опублікованих у вітчизняних та зарубіжних журналах, збірниках, матеріалах

міжнародних та всеукраїнських конференцій, зокрема 7 – у фахових

журналах, 11 – у тезах і доповідях конференцій.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, 5

розділів, висновків та списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи

становить 151 сторінку машинописного тексту, включаючи 48 рисунків та 3

таблиці. Список цитованої літератури містить 218 посилань на 23 сторінках.

У вступі обговорюється актуальність теми, формулюється мета роботи,

задачі та методи дослідження, відображається наукова новизна та практична

цінність отриманих результатів.

Перший розділ має оглядовий характер. В ньому розглянута

класифікація наноматеріалів та методи їх отримання. Наводяться літературні

дані про нанокомпозити на основі низькорозмірного кремнію і оксиду

титану. Визначено коло невирішених або недостатньо розвинутих питань і

виділено задачі, що вимагають подальшого дослідження.

У другому розділі описано технологію виготовлення зразків на основі

низькорозмірного кремнію і оксиду титану. Представлені основні методи

дослідження, зокрема, ВФХ, ВАХ, кінетики фотолюмінесценції, імпеданс

спектроскопія та описані експериментальні установки.

У третьому розділі розглянуто імпеданс спектроскопію адсорбційноактивних композитних структур з нанокристалічним кремнієм. Проведено

графоаналітичну обробку часових залежностей імпедансу в умовах

динамічної адсорбції. Проведені експериментальні дослідження впливу

вологи на електричні параметри структур кремній – SiО2 і кремній – ТіО2.

Четвертий розділ присвячено дослідженню властивостей

локалізованих станів в ПК і пошук можливостей виключення їх для

зменшення деградаційних явищ в ПК. Відпрацьована технологія нанесення

методом послідовного іонного нашаровування пасивуючих наношарів

13

трифториду лантану LaF3 на ПК. Досліджено вплив наношарів LaF3 та

наночасток CdS на оптичні властивості ПК.

В п’ятому розділі досліджено механізми переносу носіїв заряду у

структурах зі сформованими методами золь-гель технології

нанокристалічними плівками ТіО2 на монокристалічних кремнієвих

підкладках різного типу провідності: метал - ТіО2 –nSі; метал - ТіО2 –рSі.

Порівняно сенсорні властивості і механізми струмопроходження цих

гетероструктур у різних газових середовищах (повітря, пари води).

У висновках узагальнено основні результати досліджень.

Достовірність отриманих результатів забезпечувалась

обґрунтованою постановкою завдань роботи, використанням сучасних

експериментальних методик і обладнання, співставленням і добрим

узгодженням отриманих експериментальних результатів з результатами

теоретичних розрахунків, як отриманих в даній роботі, так і відомих з

літератури, комплексністю проведених експериментальних досліджень з

використанням взаємодоповнюючих методик, надійністю отриманих

результатів та запропонованих моделей, детальною апробацією результатів

дисертації на спеціалізованих міжнародних та вітчизняних конференціях,

публікацією основних результатів роботи в вітчизняних та міжнародних

наукових фахових журналах

ВИСНОВКИ

Запропонованотехнологіюотриманнянаступнихнанокомпозитних

структурМККМККПКПроведено

порівнянняїхелектрофізичнихвластивостейдоіпіслявзаємодіїз

водоюПоказанощомеханізмипроходженняносіївзарядувтаких

структурахвизначаютьсяяквластивостяминанокристалітів

кремніюівідповідногооксидутакіпроцесамивзаємодіїна

межзеренихграницяхВзволоженихструктурахТне

проявляєтьсяхарактернадлядифузійнихпроцесівлінійна

залежністьуявноїідійсноїкомпонентповногоімпедансущовказує

навідсутністьпротонноготранспортувнанокомпозитних

структурахТПіслязволоженняструктур

з’являєтьсяіоннопротоннаскладовавпереносізарядуЗа

результатамидослідженьзапропонованоствореннясенсору

вологостінаосновідисперснихнанокомпозитнихструктур

ВпершезапропонованододаватиПКдокомпозитнихструктурна

основіМККдляпідвищеннястабільностікомпозитнихструктур

Впершепроведенаграфоаналітичнаобробкачасовихзалежностей

імпедансувумовахдинамічноїадсорбціїщодозволилоотримати

інформаціюпровластивостіоб’ємуіграницькристалітівдодатково

достаціонарнихімпеданснихдослідженьВизначенішвидкості

зміниопоруαіємностіαСкомпозитнихструктурМККіМККПК

придесорбціїспиртуначастотівимірювальногосигналукГцдля

структурМККαхв



αхв



ідляструктур

МККПКαхв



αхв



Динамікадесорбціїводи

характеризуєтьсябільшнизькимизначеннямишвидкостізміни

параметрівупорівняннізсередовищеметиловогоспиртудля

структурМККαхв

αхв



ідляструктур

МККПКαхв

αхв

Більшстійкимиєструктури



звмістомПКщохарактеризуютьсябільшнизькимизначеннямиα

іαСвусьомуінтервалічастотПараметрикомпозитівМККПК

практичноповністювідновлюютьсяпіслядекількохадсорбційнодесорбційнихциклівДомінуючимиєкінетичніпроцесипереносу

заряду

МетодомРСГРвизначеноенергетичнуструктуруглибокихпастокв

гетероструктурахнанотамезопористийрувакууміта

впливперезарядкицихпастоквумовахадсорбціїрізнихгазів

Показанощоглибокіпасткиакцепторноготипув

мезопористихшарахможутьбутиповністювиключенізпроцесу

релаксаціїприадсорбціїмолекулкиснюакцепторноготипуколи

парціальнийтисккиснюстановитьблизькокількохмбар

ВпершезапропонованопасиваціювільнихмезопористихшарівПК

методомпослідовногоіонногонашаровуванняПісля

нанесенняшарувиникаєфотолюмінесценціязмаксимумами

принмінмПоявавспектріфотолюмінесценціїкількох

максимумівможебутивикликанеякдисперсієюрозмірів

нанокристалітівкремніютакінаявністюдодатковихканалів

випромінювальноїрекомбінаціїнаприкладекситонної

рекомбінаціїнавільнихтазв’язанихекситонахПоказанощопри

триваломустаріннімісяцівспостерігаєтьсязростання

інтенсивностіфотолюмінесценціїпорівнянозїївихідним

значеннямОднієюзпричинможутьбутипроцесизменшення

кількостіобірванихзв’язківнаповерхніПКврезультатіпоступової

пасиваціїадсорбованимиатомамикиснюІзспектрівІЧпоглинання

показанощопасивуючийшарістотноневпливаєнапроцеси

хімічноївзаємодіївпорахУтойжечасінтенсивністьпіків

повязанихзприсутністюоксиднихігідроксильнихгрупи

поступовозменшуєтьсяДослідиповпливуатмосфериозонунаІЧ



спектрипоказалищоотриманішаристворюютьзахиснийшар

наповерхніПКякийблокуєдоступокислювачадоповерхніПК

Розробленотехнікуосадженнянаночастоксульфідукадміюв

матрицюПКДослідженоелектрофізичніталюмінесцентні

властивостіструктурвзалежностівідрежимунанесенняі

показанощотакіструктуриможнавикористовуватидляпевних

оптоелектроннихпристосувань

Методамизольгельтехнологіїбулисформованінанокристалічні

плівкиТіОТіОзнанокристалітаминміОдві

групинанокристалітівнмінмнамонокристалічних

кремнієвихпідкладкахрізноготипупровідностіметалТіО–і

металТіО–ріВстановленощопроцесиінжекціїносіївзарядув

нанокристалічномушарііОздійснюютьсячерезсистему

провіднихканаліввумовахсуттєвоговпливузарядовогостану

внутрішньоїповерхніФормуванняшляхівічасупроходження

носіївзарядузалежитьвідвластивостейінжектуючогоконтакту

природиізаповненняповерхневихтаобємнихпастоклокальної

поляризаціїнанокристалітаВструктурахТііОрзміна

співвідношенняінжектованихелектронівідірокможеприводитидо

ефектувід’ємноїдиференціальноїпровідностіДляструктурТіТіОріадсорбціяполярнихмолекулзмінюєнетількизначення

струмуалейхарактерзалежностіструмувідприкладеноїнапруги

ВумовахмінімізаціїінжекційнихструмівнаТіелектроді

адсорбційначутливістьнаближаєтьсядонулящодаєзмогу

керуватипараметрамичутливостізарахунокзміниполярності

напругиЗапропоновановикористанняданихгетероструктуру

якостіефективнихгазовихсенсорів