

Відгук

офіційного опонента на дисертацію Хрипка Сергія Леонідовича
«МОДИФІКУВАННЯ СТРУКТУР СИСТЕМИ КРЕМНІЙ-ПОРИСТИЙ
КРЕМНІЙ-НАНОРОЗМІРНІ ПЛІВКИ ОКСИДІВ ($\text{SiO}_2, \text{SnO}_2, \text{ZnO}$) ДЛЯ
ПРИСТРОЇВ ЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ»,

подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю
05.27.06 – технологія, обладнання та виробництво електронної техніки

Відгук підготовлено за матеріалами дисертації, яка складається із вступу, шести розділів, висновків, переліку використаних джерел із 339 найменувань. Обсяг дисертації складає 271 сторінку основного тексту, ілюстрованого 124 рисунками та 25 таблиць.

Актуальність.

Перспективним напрямком подальшого розвитку мікроелектронної кремнієвої технології є використання кремнію як базового матеріалу при створенні активних оптоелектронних елементів з подальшою їхньою інтеграцією в кремнієві мікросхеми. Очевидно, що реалізація даного напрямку можлива за умови адаптації технології виготовлення активних оптоелектронних приладів до планарної та ізопланарної технологій кремнієвих мікросхем. Відсутність ефективної люмінесценції кремнію (непрямозонність енергетичної структури) ставить під сумнів саму можливість використання даного матеріалу для створення активних оптоелектронних елементів. Проблему підвищення люмінесцентних властивостей можна вирішити шляхом формування нанокристалів кремнію в широкозонних діелектричних матрицях, тобто використавши квантово-розмірний ефект для отримання високоінтенсивної люмінесценції. Ефективним способом є, зокрема, окиснення поруватого кремнію або іонна імплантація кремнію в шари термічного оксиду кремнію. Однак температурний відпал нанокристалів у суцільному шарі оксиду призводить до часто неконтрольованого розподілу квантових точок за розміром, а специфіка термостимульованих включень кремнію не дозволяє незалежно варіювати розмір і концентрацію наноутворень, що є критично

важливим при застосуванні даних систем в оптоелектронних мікросхемах. З практичних міркувань є надзвичайно цікавим впровадження в технологічний маршрут виготовлення кремнієвих оптоелектронних систем та в інших пристроях нового покоління широкозонних напівпровідників типу InO_2 , ZnO , ГТО, що зумовлено різноманіттям їхніх фізичних і хімічних властивостей, таких як анізотропна кристалічна структура, наявність напівпровідникових властивостей при великій ширині забороненої зони, амфотерні хімічні властивості, тощо.

Отже дисертація п. Хрипка С.Л., яка спрямована на вивчення механізмів формування нанорозмірного кремнію та оптимізацію його характеристик, а також вдосконалення технології осадження тонких провідних оптичнопрозорих плівок є актуальною.

2. Наукова новизна результатів дисертації.

Найвагомішими науковими результатами роботи є:

- встановлення основних закономірностей початкового періоду електрохімічної обробки p^+ -Si в електроліті з різною концентрацією фтороводневої кислоти;

- уточнення наукових даних щодо залежності люмінесцентних властивостей структури SiO_2 -Si- SiO_2 від концентрації імпантованих іонів Si при високих дозах легування і наступного високотемпературного відпалу. Показано що зміна інтенсивності фотолюмінесценції пов'язана зі зростанням концентрації нанокристалів кремнію;

- подальший розвиток технології виготовлення тонких провідних оксидів $\text{SnO}_2:\text{F}$ з використанням спреї-піролізу. Показано, що зростання кількості іонів фтору в розчині спричиняють падіння величини опору плівки;

- вперше проведено модифікування плівок SiO_2 , SnO_2 , ZnO шляхом інкорпорування в їхню структуру провідних та ізоляційних плівок під час вирощування з газової фази методом спреї-піролізу та іонного легування.

3. Практичне значення одержаних результатів.

Практичними результатами можна вважати:

- запропоновані технологічні засади виготовлення нанорозмірних структур на основі поруватого кремнію, які є перспективними для використання в оптоелектронних приладах;
- запропонований метод отримання легованих тонких електропровідних плівок на основі широкозонних напівпровідників типу InO_2 , ZnO , ITO з покращеною прозорістю;
- розроблено та виготовлено устаткування для проведення процесу спреї-піролізу для підкладок 100 мм.

4. Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих працях, їхня апробація на конференціях та семінарах.

Основні наукові положення та практичні результати дисертаційного дослідження опубліковано в 57 наукових працях, зокрема 25 у спеціалізованих наукових фахових виданнях, які входять до переліку ВАК України, у 8 журналах, які включені до списку міжнародних наукометричних баз; 20 тез доповідей у матеріалах наукових конференцій і симпозіумів, отримано 4 патенти на корисну модель.

Зазначені публікації достатньо повно відображають зміст дисертації та її основні положення. Всі основні результати дисертації, які виносяться на захист, отримано автором самостійно, а з наукових праць, що опубліковані у співавторстві, в роботі використано лише ті частини, які належать автору особисто. Робота пройшла широку апробацію на міжнародних та вітчизняних конференціях.

Обсяг друкованих робіт та їхня кількість відповідають вимогам МОН України щодо публікації основного змісту дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук. Зміст дисертації повністю відповідає її назві.

5. Ступінь обґрунтованості та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації.

Наукові положення, висновки і рекомендації дисертації є достовірними та достатньо обґрунтованими, що підтверджується коректним використанням:

- мультидисциплінарної бази Scopus під час збору і аналізу літературних джерел;

- застосуванням незалежних розрахункових методів, та комп'ютерне моделювання;

- достатньо ґрунтовними експериментальними дослідженнями фізико-хімічних властивостей прозорих провідних плівок та кремнієвих (спектроскопія комбінаційного розсіювання світла, фотолюмінесцентні вимірювання, електронна та оптична мікроскопія, рентгеноструктурний аналіз).

6. Автореферат дисертації оформлено згідно з діючими вимогами до таких документів і його зміст адекватно відображає основні положення дисертації.

7. Оцінка змісту дисертації, її завершеність в цілому, відповідність встановленим вимогам до оформлення.

Дисертація і автореферат написані українською мовою. Оформлення дисертації та автореферату відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника».

8. Зауваження щодо змісту дисертації.

На жаль робота не позбавлена недоліків. Відзначу деякі з них:

- вважаю, що було б доцільним об'єднати розділ 2 з розділом 3 і вилучити з загального тексту пункти, в яких наводяться загальновідомі методики, зокрема отримання поруватого кремнію, зондовий та холлівський методи

визначення питомого опору та рухливість носіїв заряду в напівпровідниках. Натомість, слід було би більше акцентувати увагу на запропонованих автором методиках;

- не зрозуміло в чому ж власне проявляються переваги запропонованої автором методики визначення параметрів сонячних елементів над загальноновизнаною? Крім цього для коректного тестування сонячних елементів необхідно було би навести спектр випромінювання джерела освітлення;

- при розрахунку значення ширини забороненої зони від величини фото-е.р.с. і оптичних параметрів поруватого кремнію автор для значення коефіцієнта поглинання поруватого кремнію використовує формулу (2.15), яку в даному випадку, не коректно використовувати оскільки фактично досліджується гетероструктура кремній-пороватий кремній, а не чистий поруватий кремній;

- беручи до уваги що процес іонного легування дозволяє варіювати розміри і густини просторового упакування іонів кремнію в матриці SiO_2 вважаю, що необхідно було би додатково провести електронний мікроаналіз поперечного січення системи SiO_2 -Si- SiO_2 при різних температурах з метою встановлення кореляції між розмірами наноутворень та їхніми фотолюмінісцентними характеристиками;

- щодо результатів описаних в пункті 4.4. (дослідження залежності електролюмінісценції нанокристалів кремнію від впливу імплантації кремнію в системі SiO_2 -Si), то не зрозуміло про яку електролюмінісценцію іде мова зважаючи на відсутність світловипромінюючої структури на квантових точках;

- незрозуміло в чому полягає “низькорозмірність” досліджуваними автором плівкових оксидів SnO_2 та ZnO ;

- ефективність сонячних елементів з пористим кремнієм в якості антивідбиваючого покриття є вельми сумнівна якщо зважати на неминуче різке зростання ймовірності поверхневої рекомбінації в даній конструкції сонячного перетворювача. До того ж поруватий кремній буде виконувати функцію швидше розсіювача світла ніж просвітлюючу;

- суттєво покращити ефективність сонячних елементів, які

конструктивно наведенні в роботі, можна було б оптимізувати дифузійні шари та використавши більш ефективно металізацію, а доцільність створення гетерного шару на зворотній стороні сонячного елемента поруватою плівкою кремнію є сумнівна як з точки зору зростаючої собівартості виробу, так і з погіршенням контактного опору Si-Al.

Однак, вказані зауваження критично не применшують значення роботи як завершеного наукового дослідження з розробки технологічних основ отримання кремнієвих функціональних структур, які містять тонкі плівки широкозонних оксидних напівпровідників та шари наноструктурованого кремнію.

Результати дисертації мають **практичне значення** для вдосконалення технології модифікування структур системи Si-НК-оксидні плівки та виявлення можливості цілеспрямованого керування їхніми властивостями.

Підсумовуючи наведене вище, можна стверджувати, що за **своїм змістом, актуальністю, науковою новизною та практичною цінністю** дисертація п. Хрипка Сергія Леонідовича відповідає спеціальності 05.27.06 - технологія, обладнання та виробництво електронної техніки, а її автор заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за вказаною спеціальністю.

Офіційний опонент доктор технічних наук, професор,
професор кафедри електронних приладів
НУ «Львівська політехніка»

 П.Й.Стахіра

Підпис проф. Стахіри П.Й. засвідчую:

Вчений секретар

Національного університету «Львівська політехніка»

к.х.н., проф.



Брилинський Р.Б.