

РЕЦЕНЗІЯ

доктора технічних наук, старшого дослідника,
завідувача кафедри прикладної фізики і наноматеріалознавства
Національного університету «Львівська політехніка»

ІВАЩИШИНА Федора Олеговича

на дисертацію Скрипника Ігоря Ігоровича

Модифікація поверхні кремнієвої підкладки з використанням нанотекстурованих шарів для підвищення ефективності фотоелектричних перетворювачів»,
подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії в галузі знань

15 «Автоматизація та приладобудування»

за спеціальністю 153 «Мікро- та наносистемна техніка»

Актуальність тематики дослідження

Дисертація присвячена вирішенню актуального науково-технічного завдання підвищення ефективності кремнієвих фотоелектричних перетворювачів шляхом зменшення оптичних та рекомбінаційних втрат, які суттєво обмежують продуктивність сучасних сонячних елементів. Зниження коефіцієнта відбивання світла від поверхні кремнію залишається ключовим напрямом у технологіях відновлюваної енергетики, що зумовлює актуальність удосконалення структур текстурування.

У роботі обґрунтовано застосування нанотекстурованих поверхонь ієрархічного типу, які поєднують мікромасштабні пірамідальні структури з кремнієвими нанодротами, сформованими методом метал-каталітичного хімічного травлення. Такий підхід дозволяє значно покращити антивідбивні властивості кремнієвих підкладок та забезпечити їх ефективне оптичне поглинання в широкому спектральному діапазоні.

Актуальність підсилюється також зростаючим значенням контролю поверхневої рекомбінації в наноструктурованих фотоелектричних перетворювачах, для чого в роботі запропоновано використання полімерної пасивації на основі полідиметилсилоксану. Зменшення рекомбінаційних втрат у поєднанні з покращеними оптичними характеристиками створює підґрунтя для підвищення загальної ефективності перетворення енергії.

Враховуючи стратегічну важливість підвищення продуктивності кремнієвих фотоелементів, широкі перспективи застосування наноструктурованих поверхонь у сенсорних та оптоелектронних пристроях, а також відповідність дослідження

сучасним тенденціям в мікро- та наносистемній техніці, тема дисертаційної роботи є своєчасною, актуальною та науково обґрунтованою.

Достовірність наукових положень та висновків

Наукові положення та висновки дисертаційної роботи базуються на результатах експериментальних досліджень морфологічних, оптичних та електричних властивостей нанотекстурованих кремнієвих структур, сформованих із використанням методів хімічного та метал-каталітичного травлення. У дослідженнях застосовано сучасні методики аналізу, зокрема сканувальну електронну мікроскопію, спектроскопію відбивання, мас-спектрометрію вторинних іонів, а також вимірювання вольт-амперних характеристик фоточутливих структур.

Отримані дані узгоджуються між собою та відповідають загальновідомим у науковій літературі закономірностям щодо впливу наноструктурування та пасивації на функціональні характеристики кремнієвих підкладок. Спостережувані ефекти, зокрема зниження коефіцієнта відбивання та покращення фотоелектричних параметрів структур, мають обґрунтовану фізичну інтерпретацію.

Висновки дисертації логічно випливають з отриманих результатів і супроводжуються кількісними оцінками. Основні положення роботи були апробовані на наукових конференціях, а також частково опубліковані у фахових виданнях, що свідчить про достатній рівень достовірності поданого матеріалу.

Наукова новизна

У дисертаційній роботі отримано нові наукові результати щодо впливу нанотекстурування поверхні кремнієвих підкладок на їх морфологічні, оптичні та електричні характеристики. Встановлені закономірності можуть бути використані для оптимізації технологічних процесів формування функціональних структур на основі монокристалічного кремнію.

До основних результатів, що мають ознаки наукової новизни, належать:

- досконалено методику метал-каталітичного хімічного травлення для формування нанодротів на мікропірамідальних структурах з підвищеним рівнем відтворюваності та керованою морфологією;
- становлено залежність між довжиною нанодротів, їх кластеризацією та режимом змочування поверхні; описано перехід від гідрофільної до гідрофобної поведінки залежно від морфологічних параметрів структури;
- апропоновано підхід до створення комбінованої текстури типу «мікропіраміди+нанодроти» з подальшою хімічною пасивацією, що дозволяє

зменшити відбивання та покращити електричні характеристики текстурованих підкладок;

родемонстровано, що полімерна пасивація нанотекстурованої поверхні кремнію може бути ефективним інструментом зниження рекомбінаційних втрат у структурах із високим ступенем шорсткості.

Зазначені результати розширюють уявлення про взаємозв'язок між морфологічними параметрами наноструктурованої поверхні кремнію та її фізичними властивостями.

Практичне значення отриманих результатів

Результати дисертаційної роботи можуть бути використані для вдосконалення технологічних процесів створення нанотекстурованих кремнієвих структур із заданими оптичними та електричними характеристиками. Запропоновані підходи до формування комбінованих текстур типу «мікропіраміди + нанодроти», а також застосування полімерної пасивації, дають змогу зменшити оптичні втрати та покращити якість обробки поверхні.

Використані технології є сумісними з наявними методами обробки кремнієвих пластин і можуть бути адаптовані для подальшого застосування у виготовленні фоточутливих структур, зокрема в оптоелектронних та сенсорних пристроях, де критично важливе зниження відбивання та контроль рекомбінаційних втрат. Окремі фрагменти розробленої методики, зокрема формування нанодротів та аналіз гідрофобності, можуть бути використані в освітньому процесі та в подальших експериментальних дослідженнях у галузі мікро- та наносистемної техніки.

Оцінка змісту, оформлення й обсягу дисертації

Дисертація Скрипника Ігоря Ігоровича складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків та списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи – 123 сторінки, містить 44 рисунки, 5 таблиць та список використаних джерел із 104 найменувань. За структурою, мовою та стилем дисертацію оформлено правильно, відповідно до чинних вимог МОН України. Виклад матеріалу є послідовним, логічним і науково аргументованим.

Відповідність теми дисертації профілю спеціальності, відсутність порушень академічної доброчесності

Тематика дисертаційної роботи відповідає спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка» і охоплює актуальні питання створення, модифікації та дослідження нанотекстурованих кремнієвих структур, що застосовуються у

фоточутливих елементах, сенсорах і оптоелектронних пристроях. Зміст дослідження відповідає профілю підготовки фахівців у галузі мікро- та наноелектроніки, а також напрямам наукової роботи за спеціальністю.

Анотація та зміст дисертації узгоджуються між собою, основні результати представлені у вигляді чітко сформульованих висновків. Робота виконана з дотриманням принципів академічної доброчесності. Запозичення матеріалів інших авторів супроводжуються коректними посиланнями на відповідні джерела. Порушень вимог академічної етики не виявлено.

Зауваження та рекомендації до дисертації

Незважаючи на загальний високий рівень виконання дисертаційної роботи, доцільно звернути увагу на такі моменти:

механізм дії полімерної пасивації, зокрема взаємодії полідиметилсилоксану з поверхнею кремнію, подано переважно з експериментальної точки зору. Доцільним було б надати спектроскопічне або літературне підтвердження хімічної природи взаємодії.

у роботі відсутнє кількісне порівняння ефективності запропонованих наноструктур з іншими відомими типами антивідбивних покриттів. Для наочності доцільно було б подати узагальнюючу таблицю або графік порівняння.

Вивчення стабільності пасиваційного шару в часі не розглянуто. Враховуючи перспективу практичного застосування, доцільно було б зазначити або оцінити довготривалу стабільність параметрів.

у тексті зустрічаються незначні стилістичні й граматичні неточності.

Зазначені зауваження не знижують загального наукового рівня дисертації та не впливають на її основні положення і висновки.

Висновок про відповідність дисертації вимогам, які пред'являються до наукового ступеня доктора філософії

Дисертаційна робота є завершеним самостійним дослідженням, у якому розв'язано актуальне наукове завдання формування нанотекстурованих шарів на поверхні кремнію з метою покращення його функціональних характеристик.

Робота відповідає спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка», містить нові науково обґрунтовані результати, які мають теоретичне та практичне значення. Основні положення дисертації апробовані на наукових конференціях і опубліковані у фахових виданнях, у тому числі в журналі, що індексується у міжнародній наукометричній базі даних Scopus.

За своєю актуальністю, науковою новизною, практичною цінністю, обґрунтованістю основних положень та висновків дисертаційна робота повністю відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 (зі змінами, внесеними постановою КМУ № 341 від 21.03.2022 р.), а її автор – Скрипник Ігор Ігорович, заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 153 «Мікро- та наносистемна техніка».

Рецензент

завідувач кафедри прикладної фізики і наноматеріалознавства

Національного університету

«Львівська політехніка»,

д.т.н., ст. досл.

Федір ІВАЩИШИН