

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу
Ольховика Іллі Володимировича

на тему **«ВПЛИВ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ПРОЦЕСИ
ІНДУКОВАНОЇ ОЛОВОМ КРИСТАЛІЗАЦІЇ АМОРФНОГО КРЕМНІЮ»**

представлену на здобуття ступеня доктора філософії
в галузі знань 10 Природничі науки
за спеціальністю 105 Прикладна фізика та наноматеріали

Актуальність теми дисертації.

Розвиток інформаційних технологій базується на використанні напівпровідникових матеріалів, серед яких важливе місце займають кристалічні напівпровідникові плівки. Вони широко використовуються в мікроелектроніці, оптоелектроніці, в технологічному циклі створення фотоелектричних перетворювачів і т.д.

Однак, отримання тонких напівпровідникових плівок з кристалічною структурою є досить складною технологічною задачею. Вирішення даної задачі є одним із важливих завдань сучасної науки, тому актуальність теми дисертації не викликає жодних сумнівів.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукові дослідження були виконані здобувачем на кафедрі прикладної фізики КПІ ім. Ігоря Сікорського під керівництвом:

1. Доктора технічних наук, професора кафедри прикладної фізики НН ФТІ Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Воронова С. О.;

2. Доктора фізико-математичних наук, старшого наукового співробітника, завідувача лабораторії радіаційних технологій Інституту фізики НАН України, Неймаша В. Б.;

При виконанні дисертаційної роботи отримано низку важливих наукових і практичних результатів, а саме:

1. Виявлено фрактальний характер структуризації аморфного кремнію в мікро- і нанометровому масштабі при його осадженні із газової фази на поверхню рідкого олова.
2. Експериментально показано, що стимулюючий вплив лазерного опромінення на оловом індуквану кристалізацію аморфного кремнію має нетеплову (тобто не впливаючу на температуру зразку) складову. Висунута гіпотеза механізму її дії через збільшення розчинності аморфного Si в олові на інтерфейсі їх шарів під час оловом індукваної кристалізації в наслідок ослаблення і обриву ковалентних зв'язків a-Si, викликаних фото-іонізацією лазерним світлом та екрануванням нерівноважними фото-електронами.
3. Експериментально показано, що саме нетеплова складова впливу лазерного світла викликає нелінійний за інтенсивністю «червоний» зсув раманівського спектру нанокристалічного кремнію, на відміну від спектру монокристалічного Si. Це може свідчити на користь гіпотези про нерівноважну заселеність фононів через електрон-фононну взаємодію фотоіндукованих носіїв заряду внаслідок високого темпу генерації останніх при високій потужності збудження лазерним світлом.
4. Удосконалено технологію виготовлення шаруватих плівок Si/Sn/Si за методом термічно-вакуумного осадження із газової фази в плані покращення контролю їх якості завдяки з'ясуванню впливу співвідношення товщин шарів на мікроструктуру об'єму та рельєфу поверхні плівок.
5. Удосконалено точність оцінки розмірів нанокристалів Si із аналізу їх Раманівських спектрів завдяки експериментальному виявленню нелінійної чутливості таких спектрів до інтенсивності світлового збудження комбінаційного розсіювання.

6. Підтверджено можливість використання безперервного лазерного випромінювання для створення температурних умов кристалізації аморфного кремнію.

7. Показано, що отримані в роботі результати можуть використані для удосконалення технології виготовлення аморфно-кристалічних нанокompозитів на основі кремнію і контролю якості шаруватих структур Si/Sn/Si для виробництва електронних приладів фотоелектричного перетворення.

Достовірність отриманих результатів забезпечена використанням сучасних методів досліджень таких як спектроскопія комбінаційного розсіювання; оптична мікроскопія; растрова електронна мікроскопія; атомно-силова мікроскопія; рентгено-флуоресцентний мікроаналіз.

Наукові положення, теоретичні висновки, та рекомендації представлені у дисертаційній роботі належними чином обґрунтовані і не суперечать сучасним теоретичним положенням.

Задекларовані автором роботи результати досліджень опубліковані у двох статтях індексованих у наукометричних базах SCOPUS та WoS. Журнали у яких опубліковані статті належать до третього квартилю (Q3) і забезпечують професійне незалежне рецензування. Крім того основні положення задекларовані в роботі пройшли апробацію на 8-ми українських та міжнародних наукових фахових конференціях.

Все вище вказане дозволяє зробити висновок, що отримані результати є достатньо обґрунтованими.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Ольховика Іллі Володимировича повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 105 Прикладна фізика та наноматеріали та напрямкам досліджень відповідно до освітньо-наукової програми третього рівня вищої кваліфікації «Прикладна фізика».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям «Створення та застосування нанотехнологій і технологій наноматеріалів».

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Ольховика Іллі Володимировича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень, а 5,38% текстових збігів є результатом використання усталеної термінології та дотримання правил оформлення дисертаційних робіт. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Мова та стиль викладення результатів.

Дисертаційна робота написана українською мовою. Матеріал викладено послідовно, доступно та логічно з дотриманням сучасного наукового стилю та загальноприйнятої наукової термінології.

Дисертація складається з вступу, 5 розділів, висновків, списку літератури та додатку. Загальний обсяг дисертації складає 134 сторінки.

Зміст дисертаційного дослідження подано в п'яти розділах, де представлено та обґрунтовано основні результати роботи.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, викладено загальні положення, сформульовані мета і завдання дисертаційного дослідження. Вказано задачі, які необхідно розв'язати для досягнення заявленої мети. Перераховано використані в роботі методи дослідження та отримані наукові і практичні результати.

У першому розділі проаналізовано літературні дані щодо проблем сонячної енергетики та розглянуто перспективні шляхи їх. Зокрема розглянуто принципові фізичні та технічні обмеження ефективності сонячних елементів (СЕ).

Показано, що підвищення ефективності сонячних елементів може бути досягнуто шляхом використання каскадного методу їх побудови. Описано найпоширеніші недоліки існуючих конструкцій СЕ каскадного типу і запропоновано шляхи їх подолання за рахунок використання нанокристалів

кремнію. Продемонстровано, що однією з головних перешкод їх використання є недостатній рівень розвитку технологій створення нанокристалів потрібних розмірів та технологій розділення шарів нанокристалів з різними розмірами. Розглянуто процеси МІК (металом індукованої кристалізації) та описано переваги використання олова у процесах МІК кремнію. Описано сучасні наукові уявлення щодо механізмів сприяння оловом переходу аморфного кремнію у кристалічний стан. Наведено експериментальні дані, які доводять здатність впливу лазерного опромінення перехід наноплівок кремнію із аморфного стану в кристалічний. Також у вступі обґрунтовано мету дисертаційного дослідження і сформульовано задачі, які необхідно розв'язати для її досягнення.

У другому розділі описано методи отримання і дослідження плівкових напівпровідникових матеріалів, використаних у роботі. Також представлено використані методи аналізу отриманих експериментальних даних.

У третьому розділі наведено результати дослідження мікроструктури використаних у даній роботі шаруватих плівок Si/Sn/Si, виготовлених методом послідовного осадження парів кремнію та олова. Показано головну причину структуризації поверхні плівок Si/Sn/Si – розплавлення і розпад на мікро-краплі шару олова в процесі осадження плівок кремнію. Вперше досліджено і описано процеси мікро- та нано-структурування плівок аморфного кремнію під час його формування на поверхні розплавленого металу. Отримано кількісні дані про структуру рельєфу поверхні Si та їх залежність від товщини шару олова.

У четвертому розділі представлено результати дослідження процесів утворення нанокристалів кремнію у плівкових структурах Si/Sn та Si/Sn/Si за температур 20 – 550 0C під впливом опроміненням лазерним випромінюванням при різних умовах тепловідведення.

Показано, що при температурах вищих за температуру плавлення олова має місце нетепловий механізм лазерного сприяння індукованій оловом кристалізації.

У п'ятому розділі описано результати дослідження впливу на індуковану оловом кристалізацію аморфного кремнію кількох видів імпульсного лазерного

опромінення. Наведено результати дослідження шаруватих структур Si/Sn та Si/Sn/Si засобами раманівської спектроскопії та проаналізовано особливості процесів генерації і накопичення нанокристалів Si під дією лазерного випромінювання.

В кінці кожного з розділів наведено висновки по розділу. В кінці роботи наведено головні висновки.

Додаток А містить інформацію щодо друкованих робіт здобувача із зазначенням особистого вкладу автора.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.

Наукові результати дисертації висвітлені у 10 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 2 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України, проіндексованих у базах даних Web of Science та Scopus, віднесених до третього квартилю (Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports.

Також результати дисертації були апробовані на 8 наукових фахових конференціях.

Опубліковані праці здобувача мають високий науковий рівень, в них достатньо повно та всебічно описані головні наукові здобутки, що представлені у дисертації. У роботах, що опубліковані у співавторстві, особистий внесок автора відображає зараховані за темою дисертації результати досліджень та не викликає сумнівів. В усіх публікаціях дотримуються принципи академічної доброчесності.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. Іноді у тексті зустрічаються стилістичні та граматичні помилки. Наприклад, у останньому реченні першого пункту практичного значення отриманих результатів пропущено крапку в кінці речення, на 31 сторінці у першому абзаці використано слово розпад замість розпадання, зустрічається некоректне використання слова опромінювання замість випромінювання, коли йде мова про параметри випромінювання тощо.
2. Зустрічається використання англomовних термінів, для яких існують україномовні аналоги.
3. Деякі рисунки (наприклад 2.1 та 2.2) та деякі висновки (по другому розділу) не є необхідними для розкриття суті роботи.
4. Серед головних результатів дисертації є висновок про існування нетеплового механізму сприяння лазерного світла індукованій оловом кристалізації аморфного кремнію. Про це йде мова у висновках до 4 розділу та у головних висновках. Однак достатньо детального опису чи пояснення такого механізму, крім припущення про вплив нерівноважних носіїв заряду, генерованих фотоефектом, в роботі не наведено.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу.


Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Ольховика Іллі Володимировича на тему «ВПЛИВ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ПРОЦЕСИ ІНДУКОВАНОЇ ОЛОВОМ КРИСТАЛІЗАЦІЇ АМОРФНОГО КРЕМНІЮ» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань 10

Природничі науки. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Ольховик Ілля Володимирович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 10 Природничі науки за спеціальністю 105 Прикладна фізика та наноматеріали.

Рецензент:

Завідувач кафедри мікроелектроніки,
факультету електроніки,
Національного технічного
університету України
«Київський політехнічний
інститут ім. Ігоря Сікорського»,
доктор технічних наук, доцент



Дмитро ТАТАРЧУК

Підпис рецензента
д. т. н., доцента Д.Д. Татарчука
засвідчую.

Декан факультету електроніки
Національного технічного
університету України
«Київський політехнічний
інститут ім. Ігоря Сікорського»



Валерій ЖУЙКОВ



«07» жовтого 2024 року

