

РЕЦЕНЗІЯ

рецензента, к.ф.-м.н., професора Мінакової Ксенії Олександрівни
на дисертаційну роботу Кравченка Олександра Вікторовича
«Дослідження і розробка високоефективних одиничних
концентраторних приймачів на комбінованих теплопровідних платах
для гібридних сонячних модулів»

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 105 – Прикладна фізика та наноматеріали

Детальний аналіз дисертаційної роботи Кравченка Олександра Вікторовича на тему «Дослідження і розробка високоефективних одиничних концентраторних приймачів на комбінованих теплопровідних платах для гібридних сонячних модулів», що представлена для захисту на здобуття наукового ступеня доктора філософії у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут», дає змогу зробити комплексний висновок щодо її актуальності, ступеня обґрунтованості наукових положень, висновків, рекомендацій, достовірності та значущості отриманих результатів, наукової новизни, теоретичної та практичної цінності, надати загальну оцінку дисертації.

1. Актуальність теми та зв'язок з науковими планами і програмами

Одна із основних складових гібридного сонячного модуля є концентраторна фотоелектрична система. Основною проблемою у концентраторних фотоелектричних (CPV) система є розсіювання надлишкового тепла, яке утворюється через обмежене електричне перетворення сонячної енергії. Збільшення коефіцієнтів концентрації дає змогу вилучати більш високу потужність при використанні меншого розміру сонячного елемента (СЕ), але при цьому одночасно підвищується їхня робоча температура. Температура концентраторного СЕ залежить від його площі, тому що при збільшенні площі СЕ збільшується виділення тепла. В модулях CPV вкрай бажано підтримувати температури СЕ в межах 50 – 80°C для забезпечення їх високої продуктивності. Застосування радіаторів, зазвичай

більшої площі, дає змогу додатково розсіювати тепло від CPV приймачів у навколишнє середовище. Так, традиційні пасивні системи охолодження із застосуванням мідних плоских тепловідводів мають гарний потенціал для підтримання робочих температур СЕ в CPV приймачах нижче за їхні експлуатаційні межі при високих концентраціях до 500 крат навіть за несприятливих умов їхньої експлуатації.

У зв'язку з цим, актуальною науковою задачею є розробка високоефективних CPV приймачів для гібридних сонячних модулів на інноваційних теплопровідних комбінованих платах з використанням сучасних поліімідних (ПІ) композиційних плівок, які можуть покращити тепловідведення та забезпечити стабільну роботу CPV приймачів за рахунок високої теплопровідності тонких ПІ діелектриків (0,5 – 2,0 Вт/м×К та більше).

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертація виконувалась відповідно до наукової програми 105 «Прикладна фізика та наноматеріали», яка була впроваджена на кафедрі мікро- та наноелектроніки НТУ «ХП».

Проведені дослідження тісно пов'язані з науково-дослідними роботами ІСМА НАН України та дослідно-конструкторськими роботами ТОВ «Науково-виробниче підприємство «ЛТУ» а саме:

- НДР «Створення Українсько-Німецьких центрів передового досвіду в Україні»: «Advanced nanoparticles for applications in optoelectronics, scintillator detectors and electroanalytical chemistry, NanoScint» (листопад 2021 – квітень 2023) (№ 01DK21007) – замовник Федеральне міністерство освіти та наукових досліджень Німеччини (BMBWF);

- ДКР «Розробка та дослідження чутливих шарів та прототипів для проекту FoCal» (Контракт № РМ2032955 від 08.10.2020 р.), ДКР «Розробка та дослідження багатосенсорних детекторних лінійок для проекту FoCal» (Контракт № 12202021 від 20.12.2021 р.) та ДКР «Розробка та дослідження можливості створення тонких чутливих шарів на основі підходу внутрішнього монтажу» (Контракт № 10252022 від 25.10.2022 р.) – замовник Університет Бергену (м. Берген, Норвегія);

- ДКР «Дослідження матеріалів радіатора та постачання виготовлених демонстраторів CPV» (Угода на дослідження № TGM C79 від 18.06.2024 р.) – замовник Ricerca sul Sistema Energetico - RSE S.p.A. (м. Мілан, Італія).

3. Наукова новизна одержаних результатів

Дисертація містить наукову новизну, яка полягає у наступних положеннях, що виносяться до захисту:

– Вперше в Україні розроблено способи виготовлення гнучких теплопровідних лакофольгових шаруватих ПП матеріалів з шарами тонких (25 – 30 мкм) високонаповнених теплопровідних ПП композитів (40 – 70 об. %), які дозволили підвищити теплопровідність ПП шарів з 0,12 – 0,2 Вт/(м×К) до 0,8 – 2,0 Вт/(м×К) та більше;

– Вперше в Україні запропоновано та розроблено способи виготовлення комбінованих друкованих плат на алюмінієвих основах з промисловими тонкими поліімід-фторопластовими термозварюваними плівками з теплопровідністю до 0,46 Вт/(м×К), які дозволяють забезпечити високі електричні, механічні та теплові властивості;

– Вперше розроблено нову конструкцію комбінованих плат та метод їх виготовлення на основі удосконалених високотеплопровідних односторонніх лакофольгових діелектриків, які суттєво спростили та зменшили витрати на процес виготовлення комбінованих плат із забезпеченням їх високих електричних, механічних та теплових властивостей порівнюючи з виготовлення плат за методом термокомпресії;

– Вперше запропоновано нові підходи для виготовлення вдосконалених комбінованих плат на алюмінієвих основах з тонкими теплопровідними ПП діелектриками для CPV приймачів, які дозволили забезпечити ефективність відводу тепла від сонячних елементів для підтримки їх високої надійності роботи та підвищення строку експлуатації.

4. Практична цінність одержаних результатів та рекомендації щодо їх подальшого використання

Розроблено способи виготовлення тонких теплопровідних лакофольгових шаруватих ПП матеріалів з шарами тонких (25 – 30 мкм)

високонаповнених теплопровідних ПІ композитів з підвищеними значеннями теплопровідності від 0,8 до 2,0 Вт/(м×К) та більше.

Розроблено технологічний процес виготовлення комбінованих плат на теплопровідних основах із застосуванням теплопровідних багат шарових термоварювальних плівок з теплопровідністю 0,12 – 0,46 Вт/(м×К) та комбінованих плат із застосуванням тонких теплопровідних лакофольгових шаруватих ПІ матеріалів з шарами тонких (25 – 30 мкм) високонаповнених теплопровідних ПІ композитів з підвищеними значеннями теплопровідності від 0,8 до 2,0 Вт/(м×К) та більше.

Розроблено технологічний процес виготовлення CPV приймачів для гібридних сонячних модулів на основі комбінованих плат із застосуванням теплопровідних ПІ композиційних плівок з підвищеними значеннями теплопровідності.

Запропоновані комбіновані плати на алюмінієвих основах з різними типами теплопровідних тонких ПІ діелектриків, які були розроблені та успішно випробувані в процесі дисертаційних досліджень, мають великі перспективи для застосування в електронних модулях та друкованих вузлах для світлодіодних джерел світла, приймачів концентрованого сонячного випромінювання, мікроелектронних сенсорних модулів електромагнітних випромінювань, детекторів елементарних частинок та інших електронних виробів, у тому числі із застосуванням COB та COF технологій складання різноманітних модулів з безкорпусними напівпровідниковими кристалів з підвищеною потужністю.

5. Повнота викладення матеріалів дисертації в наукових працях, які опубліковані автором.

Основні матеріали дисертації опубліковано у 6 статтях у наукових періодичних виданнях України, в 2 статтях у наукових періодичних фахових виданнях баз SCOPUS та в 8 матеріалах міжнародних наукових конференцій.

6. Аналіз змісту дисертації. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації

Робота Кравченка О.В. є завершеною науковою роботою, містить анотацію – українською та англійською мовами, вступ, п'ять розділів, висновки, список використаних джерел і додатки.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної науково-прикладної задачі, пов'язаної з дослідженням та розробкою високоефективних одиничних концентраторних приймачів для гібридних сонячних модулів на теплопровідних комбінованих платах з використанням сучасних поліімідних (ПІ) композиційних плівок з підвищеними значеннями теплопровідності.

Об'єкт дослідження – процес відводу тепла від сонячних елементів у одиничних концентраторних приймачах на комбінованих теплопровідних платах.

Метою даної роботи було розробка високоефективних одиничних концентраторних приймачів для гібридних сонячних модулів на основі комбінованих плат з використанням теплопровідних ПІ композиційних плівок.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, показана її наукова і практична цінність, сформульовані мета і задачі дослідження, які необхідно вирішити для її досягнення, описано зв'язок дисертації з науковими планами та темами, приведена апробація дисертаційної роботи і публікації.

Перший розділ «Огляд інформаційних джерел за темою дисертаційної роботи» присвячений аналізу сучасних досліджень у галузі гібридних сонячних модулів, що поєднують CPV та PV технології. Розглянуто механізми тепловідведення у концентраторних приймачах, конструктивні рішення та матеріали для комбінованих теплопровідних плат. Описано методи отримання поліімідних композиційних матеріалів і введення мікро- та наночастинок у поліімідну матрицю.

Другий розділ «Теплопровідні композиційні лакофольгові поліімідні діелектрики» присвячений дослідженню поліімідних композитів на основі

дисперсних наповнювачів з частинками AlN та розчинів поліамідної кислоти Pure ML RC 5069. Проведено структурне моделювання та розрахунок середніх теплових потоків та отримані оціночні значення ефективних коефіцієнтів теплопровідності експериментальних III композиційних плівок або шарів, які проектуються, залежно від об'єму наповнювача. Розроблено способи виготовлення тонких теплопровідних III шарів і покриттів. Розроблено способи виготовлення теплопровідних односторонніх алюміній-поліамідних лакофольгових діелектриків (з теплопровідністю 0,8 – 2,0 Вт/(м×К) та більше) та досліджено їхні механічні і електричні властивості. Підтверджено достовірність застосування розроблених моделей для прогнозування теплопровідності композиційних матеріалів із вмістом наповнювача 30 – 50 об. %.

Третій розділ «Комбіновані друковані плати з теплопровідними поліамідними діелектриками» присвячений новим підходам до виготовлення вдосконалених комбінованих друкованих плат на алюмінієвих основах із тонкими поліамідними діелектриками. Розроблено конструктивно-технологічні рішення комбінованих плат на основі промислових термозварюваних III плівок з фторполімерними покриттями (теплопровідність 0,12 – 0,46 Вт/(м×К)) та безадгезивних мідь-III та алюміній-III лакофольгових діелектриків (теплопровідність поліамідного шару — 0,12 – 2,0 Вт/(м×К) і вище). Досліджено механічні та електричні властивості експериментальних зразків комбінованих плат.

Четвертий розділ «Дослідження теплових властивостей електронних модулів на комбінованих платах з поліамідними діелектриками» присвячено дослідженню теплових процесів в електронних модулях підвищеної потужності на основі теплопровідних комбінованих платах. Проведено моделювання теплових процесів в електронних модулях. Виготовлено експериментальні зразки електронних модулів на основі теплопровідних комбінованих плат з алюмінієвими підкладками, виготовлених із застосуванням серійних термозварюваних поліамід-фторполімерних плівок (ПМФ) із теплопровідністю 0,12 – 0,46 Вт/(м×К), а також удосконалених односторонніх лакофольгових мідь-III діелектриків із теплопровідністю III

шарів до $4,5 \text{ Вт}/(\text{м}\times\text{К})$. Виконано експериментальні дослідження ефективності відводу тепла від напівпровідникових пристроїв у експериментальних зразках на основі різних типів комбінованих плат з ПІ діелектриками.

П'ятий розділ «Виготовлення та дослідження одиничних CPV приймачів на основі комбінованої теплопровідної плати для гібридних сонячних модулів» присвячений розробці та дослідженню одиничного концентраторного приймача на базі триперехідного сонячного елемента 3С44. Проведено теоретичні дослідження теплових моделей CPV-приймачів із комбінованими платами на алюмінієвих основах, виготовлених із використанням термозварюваних ПМФ плівок (теплопровідність $0,46 \text{ Вт}/(\text{м}\times\text{К})$) та удосконалених лакофольгових діелектриків (теплопровідність ПІ шара $2,0 \text{ Вт}/(\text{м}\times\text{К})$). Відпрацьовано технологічні процеси складання одиничних CPV-приймачів. Виготовлено експериментальний зразок приймача та перевірено його функціональність за стандартних умов АМ1 ($1000 \text{ Вт}/\text{м}^2$, $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$). Проведено оптимізацію конструкції, внаслідок чого мідну фольгу замінено на алюмінієву, що забезпечило зменшення маси, зниження вартості та підвищення корозійної стійкості без потреби в додатковій обробці.

Висновки, сформульовані у роботі, висвітлюють результати дослідження як вирішення висунутих в дисертації завдань. В цілому висновки відповідають вимогам, які висуваються до результатів дисертаційного дослідження на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

Список літератури досить широко охоплює предметне поле дослідження, певною мірою відображає опрацювання автором значної кількості наукових джерел.

Додаток містить інформацію про практичне впровадження результатів дисертації.

7. Достовірність отриманих результатів та висновків

Висока достовірність результатів була гарантованою завдяки застосуванню сучасного експериментального обладнання, використанню

оригінальних методів та методик, які показали свою ефективність та були апробовані під час попередніх досліджень, визнаних науковою спільнотою, а також високим фаховим рівнем співавторів наукових публікацій.

8. Оформлення дисертації, дотримання вимог академічної доброчесності та повнота викладення наукових положень та результатів в опублікованих працях

Дисертація виконана з дотримання вимог академічної доброчесності, отримані результати дають підстави говорити про оригінальність роботи. У тексті містяться авторські ідеї, і не виявлено використання ідей інших науковців без посилання на їх роботи.

Основні ідеї автора та результати дослідження викладено у шести фахових наукових статтях, двох наукових статтях, що індексуються базою SCOPUS, здобувач активно приймав участь в міжнародних наукових та науково-практичних конференціях з результатами, що викладені у дисертаційному дослідженні.

9. Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

1. У роботі представлено процес виготовлення односторонніх композиційних теплопровідних безадгезивних лакофольгових алюміній-ПІ діелектриків, але відсутня інформація про створення односторонніх композиційних теплопровідних безадгезивних лакофольгових мідь-ПІ діелектриків, які також використовуються у комбінованих платах.

2. У дисертації зазначено, що для виготовлення поліімідних композитів використовуються частинки AlN як теплопровідні наповнювачі, але не наведено результатів порівняння отриманих композитів з іншими типами наповнювачів, що могло б обґрунтувати вибір саме AlN як оптимального матеріалу.

3. Робота містить нечисленні стилістичні та граматичні помилки, які не заважають розумінню її змісту.

10. Висновки

Дисертаційна робота Кравченка Олександра Вікторовича є завершеною науково-дослідною роботою, яка містить науково-обґрунтовані результати, має наукову новизну та дає перспективи подальших досліджень. Тема

дослідження відповідає галузі знань 10 – «Природничі науки» та спеціальності 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали».

Отже, враховуючи актуальність теми, отримані результати та практичну значущість вважаю, що дисертаційна робота Кравченка Олександра Вікторовича «Дослідження і розробка високоефективних одиничних концентраторних приймачів на комбінованих теплопровідних платах для гібридних сонячних модулів» відповідає вимогам 6, 7, 8, 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціальної вченої ради Закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» від 12.01.2022 р. № 44 та вимогам до оформлення дисертації МОН України від 12.01.2017 № 40, а сам автор, Кравченко Олександр Вікторович, заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 105 «Прикладна фізика та наноматеріали».

Рецензент –

кандидат фізико-математичних наук,
професор кафедри мікро- та наноелектроніки

Національного Технічного Університету

«Харківський Політехнічний Інститут»



[Handwritten signature]
Ксенія МІНАКОВА
ЗАСВІДЧУЮ:
ВЧЕНОЇ СЕКРЕТАР
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»
[Handwritten signature]
20.25.2022