



ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. ректора Національного технічного
університету
«Харківський політехнічний інститут»

Євген СОКОЛ

П.І.Б.

(підпис)

М.П.

14.12.2020р

АНОТОВАНИЙ ЗВІТ

про виконану роботу у 2020 році в рамках реалізації проєкту із виконання наукових досліджень і розробок

Розробка експериментального зразка носимого тонкоплівкового термоелектричного генератора з наноструктурованими напівпровідниковими шарами p-CuI і n-ZnO на тканевій і полімерній гнучких основах

Назва конкурсу: «Підтримка досліджень провідних та молодих учених»

Реєстраційний номер Проєкту: 2020.02/0041

Підстава для реалізації Проєкту з виконання наукових досліджень і розробок (реєстраційний номер та назва Проєкту) 2020.02/0041 Розробка експериментального зразка носимого тонкоплівкового термоелектричного генератора з наноструктурованими напівпровідниковими шарами p-CuI і n-ZnO на тканевій і полімерній гнучких основах

Рішення наукової ради Національного фонду досліджень України щодо визначення переможця конкурсу «Підтримка досліджень провідних та молодих учених» протокол від «16-17» вересня 2020 року, № 21

1. ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ ПРО ПРОЄКТ

Тривалість виконання Проєкту
Початок – 02 листопада 2020 року;
Закінчення – 2021 рік.

Загальна вартість Проєкту, грн. 3 200 230

Вартість Проєкту по роках, грн.:

1-й рік	<u>653 780</u>
2-й рік	<u>2 546 450</u>
3-й рік	<u>-----</u>

2. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ВИКОНАВЦІВ ПРОЄКТУ

до виконання Проєкту буде залучено 7 виконавців, з них:

доктори наук 1;

кандидати наук 4;

інші працівники 2.

1. Ключко Наталя Петрівна – керівник проєкту, доцент кафедри Фізичного матеріалознавства для електроніки та геліоенергетики Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», кандидат технічних наук.

2. Зайцев Роман Валентинович – завідувач кафедри Фізичного матеріалознавства для електроніки та геліоенергетики Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», доктор технічних наук.
3. Клепікова Катерина Сергіївна – старший викладач кафедри Фізичного матеріалознавства для електроніки та геліоенергетики Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», кандидат технічних наук.
4. Кіріченко Михайло Валерійович - старший науковий співробітник кафедри Фізичного матеріалознавства для електроніки та геліоенергетики Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», кандидат технічних наук.
5. Копач Володимир Романович – доцент кафедри Фізичного матеріалознавства для електроніки та геліоенергетики Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», кандидат технічних наук.
6. Хрипунова Ірина Василівна - аспірант кафедри Фізичного матеріалознавства для електроніки та геліоенергетики Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».
7. Хрипунов Максим Геннадійович – аспірант кафедри Фізичного матеріалознавства для електроніки та геліоенергетики Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

3. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ГРАНТООТРИМУВАЧА ТА ОРГАНІЗАЦІЮ(І) СУБВИКОНАВЦЯ(ІВ) ПРОЄКТУ

Назва:

Національний технічний університет Харківський політехнічний інститут

Організаційно-правова форма:

Державна організація (установа, заклад, підприємство)

Підпорядкованість:

Міністерство освіти і науки України

Код ЄДРПОУ:

02071180

Код(и) КВЕД:

85.42, 85.59, 85.60, 86.21, 71.12, 71.20, 72.11

Стратегічні напрями наукової діяльності:

Математичне моделювання та методи комп'ютерної математики
 Механіка деформованого твердого тіла
 Нанофізика та нанотехнології
 Керамічні, композиційні, монокристалічні і плівкові матеріали різного функціонального призначення (високотемпературного, інструментального, електронного, оптичного, біомедичного тощо)
 Одержання і перетворення теплової енергії
 Використання та утилізація теплової енергії
 Електромеханічне перетворення та передача енергії
 Електрофізика
 Нові високоефективні хімічні процеси і матеріали
 Рациональне природокористування
 Науки про життя, нові технології профілактики та лікування найпоширеніших захворювань
 Інформаційні та комунікаційні технології
 Енергетика та енергоефективність
 Нові речовини та матеріали

ПІБ керівника підприємства/установи/організації:

Сокол Євген Іванович

Юридична адреса підприємства/установи/організації:

вул. Кирпичова, 2, 61002, Харків, Україна

Поштова адреса:

вул. Кирпичова, 2, 61002, Харків, Україна

Фактична адреса:

вул. Кирпичова, 2, 61002, Харків, Україна

Телефон:

+380577076600

Адреса електронної пошти:

omsroot@kpi.kharkov.ua

Посилання на веб сторінку підприємства/установи/організації:

<http://www.kpi.kharkov.ua/ukr/>

Субвиконавців проєкту немає.

4. ОПИС ПРОЄКТУ

4.1. Мета Проєкту (до 200 знаків)

Розробка експериментальних зразків носимих термоелектричних генераторів на основі тонких плівок *p*-CuI та *n*-ZnO на підкладках із полімерних матеріалів і тканин для автономного живлення малопотужних портативних пристроїв.

4.2. Основні завдання Проєкту (до 400 знаків)

Виготовлення в оптимізованих режимах методу SILAR зразків напівпровідникових плівок *p*-CuI і *n*-ZnO на поверхні гнучких поліімідних підкладок і тканин із поліестеру і бавовни. Атестація їх кристалічної структури, морфології поверхні, хімічного складу, електричних і термоелектричних властивостей. Створення на основі цих зразків оптимального дизайну носимого ТЕГ. Дослідження вихідних параметрів і стабільності роботи ТЕГ.

4.3. Детальний зміст Проєкту:

- Сучасний стан проблеми (до 400 знаків)

Носимі генератори електроенергії – це технологічне рішення в галузі електроніки, яке долає проблему живлення малопотужних портативних пристроїв. Використання в ТЕГ тонкоплівкових термопар є обмеженим через високу вартість і складність вакуумних технологій їх виготовлення. Це пояснює актуальність створення носимих ТЕГ на основі виготовлених методом SILAR тонких плівок *p*-CuI та *n*-ZnO на підкладках із полімерних гнучких матеріалів і тканин

- Новизна Проєкту (до 400 знаків)

Розробка експериментального зразка носимого термоелектричного генератора планарного типу на гнучких полімерних підкладках і тканинах із застосуванням у якості базових термоелектричних матеріалів виготовлених дешевим і придатним для широкомасштабного застосування методом наноструктурованих напівпровідникових шарів *p*-CuI і *n*-ZnO. Створення на їх основі оптимального дизайну носимого ТЕГ, дослідження його вихідних параметрів і стабільності роботи.

- Методологія дослідження (до 400 знаків)

Оптимізація методу SILAR для виготовлення тонкоплівкових термоелектричних елементів носимого ТЕГ планарного типу на основі аналізу кристалічної структури і морфології поверхні методами рентгенівської дифрактометрії і скануючої електронної мікроскопії, хімічного складу шляхом рентгенівського флуоресцентного мікроаналізу, електричних і термоелектричних властивостей. Дослідження вихідних параметрів носимого ТЕГ.

5. ОТРИМАНІ НАУКОВІ АБО НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ (до 2 сторінок) в поточному році/ в рамках реалізації Проєкту, зокрема:

5.1. Опис наукових або науково-технічних результатів, отриманих в рамках виконання Проєкту (із зазначенням їх якісних та кількісних (технічних) характеристик)

Виготовлені методом SILAR наноструктуровані плівки *p*-CuI і *n*-ZnO на поверхні гнучких підкладок. Досліджено вплив режимів підготовки підкладок із полііміду і тканин із поліестеру і бавовни на зчеплення з ними виготовлених методом SILAR плівок *p*-CuI, *n*-ZnO і *n*-ZnO:In. Визначено оптимальні режими для нанесення зародкових шарів з метою поліпшення зчеплення напівпровідникових плівок з підкладками.

Розроблено режими методу SILAR і виготовлено зразки плівок *p*-CuI, *n*-ZnO і *n*-ZnO:In на поверхні гнучких поліімідних підкладок і тканин із поліестеру і бавовни.

Атестовано морфологію поверхні і хімічний склад плівок *p*-CuI, *n*-ZnO і *n*-ZnO:In на гнучких поліімідних підкладках і тканинах із поліестеру і бавовни методами скануючої електронної мікроскопії (SEM) і рентгенівського флуоресцентного мікроаналізу (XRF) із енергодисперсійною рентгенівською спектроскопією (EDS) до і після впливу розтягуючих і

стискаючих напружень під час аналізу на згинання із використанням 100 циклів згинання, (критичний радіус згинання дорівнював 1.5 см).

Доведено за допомогою аналізу методом XRD фазового складу, розміру кристалічних зерен, мікронапружень, густини дислокацій, наявності напрямку і досконалості аксіальної текстури, що кристалічна структура плівок p-CuI і n-ZnO на поверхні гнучких поліімідних підкладок і тканин із поліестеру і бавовни, отриманих у оптимізованих режимах виготовлення, є нанокристалічною, однофазною і стабільною в умовах експлуатації носимого ТЕГ в інтервалі температур 290-340 К.

Визначено за допомогою спектрофотометричного методу ширину забороненої зони плівок CuI і ZnO і ZnO:In на поверхні гнучких поліімідних підкладок і тканин із поліестеру і бавовни. Отримані дані підтверджують виготовлення відповідних напівпровідникових матеріалів p-CuI, n-ZnO і n-ZnO:In.

5.2. За наявності науково-технічної продукції обґрунтування її переваг у порівнянні з існуючими аналогами

Методом SILAR на поверхні гнучких поліімідних підкладок і тканин із поліестеру і бавовни виготовлено наноструктуровані плівки p-CuI, n-ZnO і n-ZnO:In, і таким чином створено зразки тонкоплівкових термоелектричних гнучких матеріалів і термоелектричного текстилю, які за стандартних умов мають поверхневий опір R_{\square} не більше 500 кОм, добре зчеплені з підкладками при розтягуючих і стискаючих напруженнях під час аналізу на згинання із використанням 100 циклів згинання (критичний радіус згинання дорівнює 1.5 см). Експериментально підтверджено, що питомий електроопір плівок на поверхні гнучких поліімідних підкладок і тканин із поліестеру і бавовни в інтервалі температур 290-340 К не перевищує 0.05 Ом·см для p-CuI, 50 Ом·см для n-ZnO, 0.4 Ом·см для n-ZnO:In. Експериментально доведено, що виготовлені на поверхні гнучких поліімідних підкладок і тканин із поліестеру і бавовни зразки мають коефіцієнт Зеєбека не менший за 80 мкВ/К для p-CuI, 70 мкВ/К для n-ZnO, 50 мкВ/К для n-ZnO:In. Експериментально визначено, що коефіцієнти термоелектричної потужності виготовлених на поверхні гнучких поліімідних підкладок і тканин із поліестеру і бавовни зразків сягають 25 мкВт/(м·К²) для p-CuI, 0.4 мкВт/(м·К²) для n-ZnO, 5 мкВт/(м·К²) для n-ZnO:In. Отримані термоелектричні властивості наноструктурованих плівок n-ZnO і n-ZnO:In подібні або набагато кращі, ніж наведені в літературі для легованих та нелегованих наноструктурованих тонких плівок оксиду цинку або композиційних матеріалів на їх основі. Виготовлений нами під час виконання даної роботи термоелектричний текстиль на основі наноструктурованих плівок p-CuI не має вітчизняних або закордонних аналогів.

5.3. Практична цінність отриманих результатів реалізації Проєкту для економіки та суспільства (стосується проєктів, що передбачають проведення прикладних наукових досліджень і науково-технічних розробок)

Отримані результати реалізації Проєкту застосовуватимуться для створення функціонуючого експериментального зразка тонкоплівкового носимого ТЕГ із оригінальним дизайном, який повторюватиме форму тіла, що дозволить зробити автономним процес живлення малопотужних бездротових та портативних пристроїв

5.4. Опис шляхів та способів подальшого використання результатів виконання Проєкту в суспільній практиці.

За результатами виконання Проєкту буде автоматизовано і впроваджено гідрохімічний метод SILAR для осадження наноструктурованих напівпровідникових шарів із приладовою якістю. Буде виконано науково-дослідницьку конструкторсько-технологічну розробку моделі і подальший запуск у виробництво носимого тонкоплівкового термоелектричного генератора з наноструктурованими напівпровідниковими шарами p-CuI і n-ZnO на тканевій і полімерній гнучких основах. Це дозволить частково відмовитися від використання акумуляторів для живлення малопотужних бездротових та портативних пристроїв, серед яких різноманітні біологічні сенсори, слухові апарати, наручні годинники, кардіостимулятори, неврологічні стимулятори, RFID-трекери, браслети GPS, фітнес-браслети та ін. Тим самим буде вирішуватися

проблема теплового забруднення екосистем, а також досі не вирішена проблема утилізації небезпечних для навколишнього середовища акумуляторів.

Примітка: Анотований звіт не містить відомостей, заборонених до відкритого опублікування

Науковий керівник Проєкту

Доцент кафедри фізичного матеріалознавства
для електроніки та геліоенергетики НТУ «ХП»

Наталя КЛОЧКО



(підпис)