

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Проректор з наукової роботи  
Київського національного університету  
імені Тараса Шевченка  
проф. Жилінська О.І.



**АНОТОВАНИЙ ЗВІТ**  
**про виконану роботу у 2020 році в рамках реалізації проєкту**  
**із виконання наукових досліджень і розробок**  
**«Розробка фізичних засад акусто-керованої модифікації та машинно-орієнтованої**  
**характеризації кремнієвих сонячних елементів»**

Назва конкурсу: «Підтримка досліджень провідних та молодих учених»

Реєстраційний номер Проєкту: 2020.02/0036

**Підстава для реалізації Проєкту з виконання наукових досліджень і розробок 2020.02/0036**  
**«Розробка фізичних засад акусто-керованої модифікації та машинно-орієнтованої характеризації**  
**кремнієвих сонячних елементів»**

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 - дворічний проєкт

Початок – 05.11.2020 р.;

Закінчення – 2021 рік.

Загальна вартість Проєкту, грн. 6 508 830

Вартість Проєкту по роках, грн.:

1-й рік 1 779 800

2-й рік 4 729 030

## 2. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ВИКОНАВЦІВ ПРОЄКТУ

до виконання Проєкту буде залучено 7 виконавців, з них:

доктори наук 2;

кандидати наук 2;

інші працівники 3.

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

Грантоотримувач - Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Субвиконавці не залучаються

## 4. ОПИС ПРОЄКТУ

### 4.1. Мета Проєкту (до 200 знаків)

Розробка фізичних засад методів а) акустостимульованої деактивації дефектів у кремнієвих сонячних елементах (КСЕ); б) оцінки концентрації дефектів у КСЕ з використанням методів глибокого навчання.

### 4.2. Основні завдання Проєкту (до 400 знаків)

Встановити фізичні закономірності та механізми впливу ультразвуку на процес перебудови дефектних комплексів. Шляхом моделювання з'ясувати вплив ступеню легування, температури та наявності дефектів на формування вольт-амперних характеристик КСЕ. Запропонувати метод кількісної оцінки електрично-активних дефектів у КСЕ за величиною фактору неідеальності з використанням методів глибокого навчання.

### 4.3. Детальний зміст Проєкту:

#### - Сучасний стан проблеми (до 400 знаків)

Існуючі неруйнівні методи оцінки концентрації домішок у КСЕ вимагають спеціальної підготовки об'єктів чи спеціалізованого обладнання. Розробка експрес-методу, що базується на вимірюваннях ВАХ, є важливим з прикладної точки зору. Для виготовлення комерційних КСЕ переважно використовуються кристали невисокої чистоти, причому залізо є однією з найпоширеніших та найшкідливіших домішок.

#### - Новизна Проєкту (до 400 знаків)

Розробку фізичних основ методу, де ультразвуку відведена роль додаткового фактору впливу на процеси перебудови дефектних комплексів, ініційовані іншим активаційним чинником. Передбачається використання фактору неідеальності як кількісного показника концентрації рекомбінаційних центрів та застосування методів глибокого навчання для встановлення взаємозв'язку вказаних величин.

#### - Методологія дослідження (до 400 знаків)

Моделювання КСЕ з різними параметрами, зокрема концентрацією домішок, визначення фактору неідеальності ( $n$ ), створення штучної нейронної мережі, здатної передбачити концентрацію дефектів на основі величини  $n$ . Встановлення фізичних закономірностей впливу ультразвуку на перебудову дефектних комплексів шляхом з'ясування дослідження кінетики зміни параметрів ВАХ внаслідок перебудови пар Fe-B.

## 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)

Розроблене програмне забезпечення для автоматичного створення моделей кремнієвої  $n^+p$ -структури, придатних для подальшого використання у стимуляторі сонячних елементів SCAPS 3.3.08. Вихідними даними моделі є рівні легування, концентрація домішкового заліза, товщини шарів та температура. При створенні моделі враховуються температурні та концентраційні залежності ширини забороненої зони, звуження ширини забороненої зони, рухливостей, теплових швидкостей та ефективних мас носіїв заряду, власної концентрації носіїв, густини енергетичних рівнів поблизу дозволених зон, енергетичного положення та ефективного перерізу захоплення центрів, пов'язаних з дефектами. Також враховані просторові розподіли концентрації відокремлених міжвузольних атомів заліза та пар залізо-бор. Розроблене програмне забезпечення для парсингу файлів, які є результатом роботи SCAPS, що дозволяє виділяти вольт-амперні характеристики (ВАХ) з врахуванням як загального струму, так і його окремої складової, пов'язаної з рекомбінацією на дефектах. Програму (як от відкомпільований варіант, так і вихідні файли Delphi-проєкту) можна знайти за посиланням <https://github.com/olegolikh/SCAPSConversion.git>.

Розрахований масив ВАХ кремнієвих  $n^+p-p^+$  структур з різною товщиною (150-240 мкм) та ступенем легування ( $10^{15} \div 10^{17} \text{ см}^{-3}$ ) бази при варіації концентрації домішки в інтервалі  $10^{10} \div 10^{13} \text{ см}^{-3}$  для температурного діапазону 290-340 К – загалом близько 40 тис характеристик. Всі отримані ВАХ можна знайти за адресою <https://github.com/olegolikh/IVcharacteristics.git>.

Підготовлена стаття О.Я. Оліх, О.В. Завгородній, «Modeling of ideality factor value in  $n^+p-p^+$ -Si structure» (Journal of Physical Studies, v. 24, No. 4 (2020) 4701(8 p.)).

Створена експериментальна установка для вимірювання кінетики світлоіндукованих процесів в кремнієвих сонячних елементах. Запропоновано методику вимірювання кінетики світлоіндукованих процесів в КСЕ, яка базується на послідовному освітленні зразків та вимірюванні зміни амплітуди фотовідгуку на монохроматичний сигнал з довжиною хвилі  $900 \div 980 \text{ нм}$  при малому рівні збудження. Проведені тестові вимірювання. Показано, що особливості кінетики струму короткого замикання (закон зміни, залежності абсолютних змін від тривалості інтенсивного освітлення та характерного часу від температури) співпадають з відомими закономірностями перебудови дефектних комплексів, що містять міжвузольне залізо та заміщуючий атом бору.

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

З огляду на те, що передбачене у Проєкті дослідження має фундаментальний характер, науково-технічна продукція не передбачена.

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

Проєкт передбачає проведення фундаментальних наукових досліджень

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

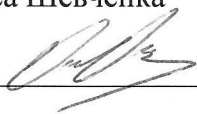
Розраховані ВАХ в наступній частині проєкту будуть використані для розробці фізичних основ експрес-методу оцінки концентрації електрично-активних дефектів у бар'єрних структурах за величиною фактору неідеальності, а також для налаштування штучної нейронної мережі для оцінки концентрації атомів заліза в кремнієвих  $n^+p-p^+$  структурах.

Створена установка у наступній частині проєкту буде використана для з'ясування фізичних закономірностей та механізмів взаємодії дефектних комплексів, пов'язаних із атомами перехідних металів, у кремнієвих сонячних елементах з пружними хвилями ультразвукового діапазону, Вказані закономірності, в свою чергу можуть бути використані для модифікації стандартних технологічних операцій, що використовуються при створенні кремнієвих сонячних елементів, з метою деактивації вказаних дефектів.

Анотований звіт не містить відомостей, заборонених до відкритого опублікування

**Науковий керівник Проєкту**  
доцент кафедри загальної фізики  
Київського національного університету  
імені Тараса Шевченка

(підпис)



О.Я. Оліх