**Етапи та календарний план виконання проєкту учасника конкурсу**

**Назва проєкту**

Розробка фізичних засад акусто-керованої модифікації та машинно-орієнтованої характеризації кремнієвих сонячних елементів

Development of physical base of both acoustically controlled modification and machine learning-oriented characterization for silicon solar cells

**Науковий керівник проекту**

Оліх Олег Ярославович, доктор фіз.-мат. наук, доцент

Olikh Oleg Yaroslavovych, doctor of science (physics and mathematics), associate professor

**4. Етапи та календарний план виконання проєкту учасника конкурсу** (українською та англійською мовами)

**4.1.** **Етапи виконання проєкту (ЕВП) та індикатори виконання**

**ЕВП** № 1: 15.09.2020 -30.09.2020

Назва **ЕВП**: Формування матеріальної та розрахункової бази проєкту.

Цілі **ЕВП**: Проведення підготовки до розрахунків та вимірювань

Завдання 1. Розробка розрахункової моделі кремнієвої *n*+-*p*-*p*+ структури для симулятора сонячних елементів SCAPS 3.3.08 за реальними величинами і температурними залежностями параметрів кремнію та рекомбінаційних центрів, отриманими в результаті аналізу літературних джерел, розробка програмного забезпечення для автоматичного створення моделей з різними параметрами.

Завдання 2. Підбір кремнієвих сонячних елементів (КСЕ) з базою, легованою бором, та високою концентрацією домішкового заліза.

Індикатори виконання:

програмне забезпечення для автоматичного створення моделей *n*+-*p*-*p*+ структур для симулятора сонячних елементів SCAPS; набір КСЕ з різним ступенем легування.

**ЕВП** № 2: 01.10.2020-15.12.2020

Назва **ЕВП**: Моделювання вольт-амперних характеристик *n*+-*p*-*p*+ структур.

Цілі **ЕВП**: отримати масив даних для ВАХ *n*+-*p*-*p*+ структур з різними параметрами; відпрацювати методику вимірювання кінетики світлоіндукованих процесів в КСЕ.

Завдання 1. Створення програмного забезпечення для парсингу файлів, які є результатом роботи SCAPS; проведення розрахунків вольт-амперних характеристик (ВАХ) для *n*+-*p*-*p*+ структур з різною товщиною (150-240 мкм) та ступенем легування (1015÷1017 см-3) бази при варіації концентрації домішки в інтервалі 1010÷1013 см-3 для температурного діапазону 290-340 К.

Завдання 2. Відпрацювання режимів вимірювання кінетики світло індукованих процесів в КСЕ.

Завдання 3. Підготовка доповіді на конференцію міжнародного рівня.

Завдання 4. Закупівля обладнання.

Індикатори виконання:

масив даних розрахованих ВАХ для кремнієвих структур *n*+-*p*-*p*+ з різними геометричними та електрофізичними характеристиками; програмне забезпечення для парсингу файлів, які є результатом роботи SCAPS; підготовлена доповідь; тестові результати вимірювання кінетики світло індукованих процесів в КСЕ; підготовлена документація для закупівлі обладнання.

**ЕВП** № 3 : 01.01.2021 -31.03.2021

Назва **ЕВП**: Створення методики оцінювання кінетичних характеристик ВАХ в умовах ультразвукового навантаження

Цілі **ЕВП**: реалізувати методику оцінювання кінетичних характеристик перебудови дефектів у бар’єрних структурах в умовах ультразвукового навантаження; опрацювати масив отриманих ВАХ відповідно до дводіодної моделі.

Завдання 1. Розробка методики оцінювання кінетичних характеристик перебудови дефектів у бар’єрних структурах в умовах ультразвукового навантаження. Тестові вимірювання.

Завдання 2. Визначення характеристик впливу світло-індукованого розпаду пар Fe-B на параметри вольт-амперних характеристик (фактор неідеальності, струм насичення, шунтуючий опір, напруга холостого ходу, струм короткого замикання) КСЕ; з’ясування кількісних характеристик кінетики зміни параметрів ВАХ внаслідок відновлення пар Fe-B.

Завдання 3. Програмна реалізація мета-еврістичного методу оптимізації Jaya; визначення величини фактору неідеальності для отриманого масив вольт-амперних характеристик відповідно до дводіодної моделі.

Завдання 4. Підготовка доповіді на конференцію міжнародного рівня.

Завдання 5. Закупівля обладнання.

Індикатори виконання:

установка для оцінювання кінетичних характеристик перебудови дефектів у бар’єрних структурах в умовах ультразвукового навантаження; встановлення кількісних параметрів впливу світло-індукованого розпаду пар Fe-B на параметри вольт-амперних характеристик КСЕ; програмне забезпечення для реалізації мета-еврістичного методу Jaya; масив даних розрахованих величин фактору неідеальності для кремнієвих структур *n*+-*p*-*p*+ з різними геометричними та електрофізичними характеристиками; підготовлена доповідь; підготовлена документація для закупівлі обладнання.

**ЕВП** № 4 : 01.04.2021 -30.06.2021

Назва **ЕВП**: Створення штучної нейронної мережі.

Цілі **ЕВП**: з’ясувати фізичні закономірності акусто-дефектної у КСЕ при використанні повздовжніх хвиль ультразвукового діапазону; створення штучної нейронної мережі для оцінки концентрації домішкових атомів заліза за характеристиками ВАХ.

Завдання 1. Визначення закономірностей змін параметрів КСЕ внаслідок світло-індукованої деградації в умовах ультразвукового навантаження при використанні повздовжніх хвиль.

Завдання 2. Визначення кінетичних характеристик зміни параметрів ВАХ внаслідок відновлення пар Fe-B в умовах ультразвукового навантаження при використанні повздовжніх хвиль.

Завдання 3. Налаштовування гіперпараметрів штучної нейронної мережі, спроможної передбачити концентрацію домішкових атомів заліза на основі фактору неідеальності; навчання нейронної мережі.

Завдання 4. Підготовка доповіді на конференцію міжнародного рівня.

Індикатори виконання:

з’ясування фізичних закономірностей взаємодії дефектних комплексів, пов’язаних із атомами перехідних металів, у КСЕ з повздовжніми пружними хвилями; підготовлена доповідь; налаштована штучна нейронної мережа для оцінки концентрації атомів заліза в кремнієвих *n*+-*p*-*p*+ структурах.

**ЕВП** № 5 : 01.07.2021 -30.09.2021

Назва **ЕВП**: Поперечні ультразвукові хвилі як інструмент керованої модифікації КСЕ.

Цілі **ЕВП**: з’ясувати фізичні закономірності взаємодії дефектних комплексів, пов’язаних із атомами перехідних металів, у КСЕ з поперечними хвилями ультразвукового діапазону.

Завдання 1. Визначення закономірностей змін параметрів КСЕ внаслідок світло-індукованої деградації в умовах ультразвукового навантаження при використанні поперечних хвиль.

Завдання 2. Визначення кінетичних характеристик зміни параметрів ВАХ внаслідок відновлення пар Fe-B в умовах ультразвукового навантаження при використанні поперечних хвиль.

Завдання 3. Підготовка статті у фаховий журнал.

Індикатори виконання:

з’ясування фізичних закономірностей взаємодії дефектних комплексів, пов’язаних із атомами перехідних металів, у КСЕ з поперечними пружними хвилями; підготовлена стаття.

**ЕВП** № 6 : 01.10.2021 -15.12.2021

Назва **ЕВП**: Конкретизація фізичних механізмів акусто-дефектної взаємодії та розробка рекомендацій щодо практичного використання

Цілі **ЕВП**: Узагальнення результатів, отриманих під час виконання проекту у вигляді рекомендацій та методик

Завдання 1. Визначення механізмів механізми впливу акустичних хвиль на процес перебудови дефектних комплексів, пов’язаних із атомами перехідних металів, у КСЕ.

Завдання 2. Розробка рекомендацій щодо практичного використання ультразвукового навантаження під час виробництва КСЕ.

Завдання 3. Розробка рекомендацій щодо методу кількісної оцінки електрично-активних дефектів у бар’єрних структурах за величиною фактору неідеальності.

Завдання 4. Підготовка статті у фаховий журнал.

Індикатори виконання:

з’ясування механізмів взаємодії дефектних комплексів, пов’язаних із атомами перехідних металів, у КСЕ з пружними хвилями ультразвукового діапазону; рекомендації щодо практичного застосування ультразвукового навантаження під час виробництва КСЕ та шляху кількісної оцінки електрично-активних дефектів у бар’єрних структурах за величиною фактору неідеальності; підготовлена стаття.

**4.2. Календарний план виконання проєкту (за кварталами)**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Етап виконання проєкту та завдання** | **Термін реалізації** | | | | | |
| Рік1 | | Рік 2 | | | |
| 3  кв | 4  кв | 1  кв | 2  кв | 3  кв | 4  кв |
| 1.Формування матеріальної та розрахункової бази проєкту | + |  |  |  |  |  |
| Завдання 1. Розробка розрахункової моделі кремнієвої *n*+-*p*-*p*+ структури для симулятора сонячних елементів SCAPS 3.3.08 з отриманих в результаті аналізу літературних джерел реальних величин та температурних залежностей параметрів кремнію та рекомбінаційних центрів, розробка програмного забезпечення для автоматичного створення моделей з різними параметрами. | + |  |  |  |  |  |
| Завдання 2. Підбір кремнієвих сонячних елементів (КСЕ) з базою, легованою бором, та високою концентрацією домішкового заліза. | + |  |  |  |  |  |
| Розмір фінансування,  тис.грн. | 72,3 |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| 2. Моделювання вольт-амперних характеристик *n*+-*p*-*p*+ структур |  | + |  |  |  |  |
| Завдання 1. Створення програмного забезпечення для парсингу файлів, які є результатом роботи SCAPS; проведення розрахунків вольт-амперних характеристик (ВАХ) для *n*+-*p*-*p*+ структур з різною товщиною (150-240 мкм) та ступенем легування (1015÷1017 см-3) бази при варіації концентрації домішки в інтервалі 1010÷1013 см-3 для температурного діапазону 290-340 К. |  | + |  |  |  |  |
| Завдання 2. Відпрацювання режимів вимірювання кінетики світло індукованих процесів в КСЕ. |  | + |  |  |  |  |
| Завдання 3. Підготовка доповіді на конференцію міжнародного рівня |  | + |  |  |  |  |
| Завдання 4. Закупівля обладнання. |  |  |  |  |  |  |
| Розмір фінансування,  тис.грн. |  | 2947,6 |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| 3. Створення методики оцінювання кінетичних характеристик ВАХ в умовах ультразвукового навантаження |  |  | + |  |  |  |
| Завдання 1. Розробка методики оцінювання кінетичних характеристик перебудови дефектів у бар’єрних структурах в умовах ультразвукового навантаження. Тестові вимірювання. |  |  | + |  |  |  |
| Завдання 2. Визначення характеристик впливу світло-індукованого розпаду пар Fe-B на параметри вольт-амперних характеристик (фактор неідеальності, струм насичення, шунтуючий опір, напруга холостого ходу, струм короткого замикання) КСЕ; з’ясування кількісних характеристик кінетики зміни параметрів ВАХ внаслідок відновлення пар Fe-B. |  |  | + |  |  |  |
| Завдання 3. Програмна реалізація мета-еврістичного методу оптимізації Jaya; визначення величини фактору неідеальності для отриманого масив вольт-амперних характеристик відповідно до дво-діодної моделі. |  |  | + |  |  |  |
| Завдання 4. Підготовка доповіді на конференцію міжнародного рівня. |  |  | + |  |  |  |
| Завдання 5. Закупівля обладнання. |  |  |  |  |  |  |
| Розмір фінансування,  тис.грн. |  |  | 1772,8 |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| 4. Створення штучної нейронної мережі |  |  |  | + |  |  |
| Завдання 1. Визначення закономірностей змін параметрів КСЕ внаслідок світло-індукованої деградації в умовах ультразвукового навантаження при використанні повздовжніх хвиль. |  |  |  | + |  |  |
| Завдання 2. Визначення кінетичних характеристик зміни параметрів ВАХ внаслідок відновлення пар Fe-B в умовах ультразвукового навантаження при використанні повздовжніх хвиль. |  |  |  | + |  |  |
| Завдання 3. Налаштовування гіперпараметрів штучної нейронної мережі, спроможної передбачити концентрацію домішкових атомів заліза на основі фактору неідеальності; навчання нейронної мережі. |  |  |  | + |  |  |
| Завдання 4. Підготовка доповіді на конференцію міжнародного рівня. |  |  |  | + |  |  |
| Розмір фінансування,  тис.грн. |  |  |  | 617,5 |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| 5. Поперечні ультразвукові хвилі як інструмент керованої модифікації КСЕ. |  |  |  |  | + |  |
| Завдання 1. Визначення закономірностей змін параметрів КСЕ внаслідок світло-індукованої деградації в умовах ультразвукового навантаження при використанні поперечних хвиль. |  |  |  |  | + |  |
| Завдання 2. Визначення кінетичних характеристик зміни параметрів ВАХ внаслідок відновлення пар Fe-B в умовах ультразвукового навантаження при використанні поперечних хвиль. |  |  |  |  | + |  |
| Завдання 3. Підготовка статті у фаховий журнал. |  |  |  |  | + |  |
| Розмір фінансування,  тис.грн. |  |  |  |  | 606,4 |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| 6. Конкретизація фізичних механізмів акусто-дефектної взаємодії та розробка рекомендацій щодо практичного використання |  |  |  |  |  | + |
| Завдання 1. Визначення механізмів механізми впливу акустичних хвиль на процес перебудови дефектних комплексів, пов’язаних із атомами перехідних металів, у КСЕ. |  |  |  |  |  | + |
| Завдання 2. Розробка рекомендацій щодо практичного використання ультразвукового навантаження під час виробництва КСЕ. |  |  |  |  |  | + |
| Завдання 3. Розробка рекомендацій щодо методу кількісної оцінки електрично-активних дефектів у бар’єрних структурах за величиною фактору неідеальності. |  |  |  |  |  | + |
| Завдання 4. Підготовка статті у фаховий журнал. |  |  |  |  |  | + |
| Розмір фінансування,  тис.грн. |  |  |  |  |  | 492,2 |