

**Національний фонд досліджень України
Конкурс проєктів із виконання наукових досліджень і розробок
“Підтримка досліджень провідних та молодих вчених”**

Етапи та календарний план виконання проєкту учасника конкурсу

Назва проєкту

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

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

Науковий керівник проєкту

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.

The project's material and computation base formation.

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

The preparation for calculations and measurements.

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.

The development of a calculation model of silicon n^+p-p^+ structure for using in solar cell simulation program SCAPS 3.3.08; the model must take into account real values and temperature dependences of parameters for silicon and traps from modern literature; development of software for auto-creation model with various parameters.

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

The selection of silicon solar cells (SSCs) with a boron doped base and a high iron impurity concentration.

Індикатори виконання:

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

the software for auto-creation model of n^+p-p^+ structure for solar cell simulation program SCAPS 3.3.08; set of SSC with various doping degree.

ЕВП № 2: 01.10.2020-15.12.2020

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

The numerical simulation of current-voltage characteristics of n^+p-p^+ structure.

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

Національний фонд досліджень України
Конкурс проєктів із виконання наукових досліджень і розробок
“Підтримка досліджень провідних та молодих вчених”

To calculate an data array of IVC of n^+p structure with various parameters, to test a technique for measuring the kinetics of light-induced processes in SSC.

Завдання 1. Створення програмного забезпечення для парсингу файлів, які є результатом роботи SCAPS; проведення розрахунків вольт-амперних характеристик (ВАХ) для кремнієвих n^+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.

The development of software for parsing of SCAPS result file; the calculation of IVC for silicon n^+p structures with different base thickness (150-240 μm), base doping level (10^{15} - 10^{17} cm^{-3}), impurity concentration (10^{10} - 10^{13} cm^{-3}) over the temperature range 290-340 K.

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

The testing procedure for measuring the kinetics of light-induced processes in SSC.

Завдання 3. Підготовка доповіді на конференцію міжнародного рівня.

The preparation of a presentation for an international conference.

Завдання 4. Закупівля обладнання.

The equipment purchase.

Індикатори виконання:

масив даних розрахованих ВАХ для кремнієвих структур n^+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.

the data array of calculated IVC for silicon n^+p structures with various geometric and electrophysical characteristics; the software for parsing of SCAPS result file; a prepared presentation; test results of measuring of kinetics of light-induced processes in SSC; prepared documentation for the equipment purchase.

ЕВП № 3 : 01.01.2021 -31.03.2021

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

The development of procedure for estimation of IVC kinetic parameters under ultrasound loading conditions.

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.

to implement procedure for estimation of kinetic parameter of defect rebuilding in barrier structures under ultrasound loading conditions; to fit IVC data array accordingly to the two-diode model.

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

The development of procedure for estimation of kinetic parameter of defect rebuilding in barrier structures under ultrasound loading conditions. Testing measurements.

Національний фонд досліджень України
Конкурс проєктів із виконання наукових досліджень і розробок
“Підтримка досліджень провідних та молодих вчених”

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.

The determination of influence of light-induced Fe-B pair dissociation on the IVC parameters (an ideality factor, a saturation current, a shunt resistance, an open-circuit voltage, a short-circuit current) of silicon solar cells; the quantification of kinetic of IVC parameters change induced by Fe-B pair association.

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

The software implementation of the meta-heuristic optimization method Jaya; determination of ideality factor value for the calculated IVC array according to the two-diode model.

Завдання 4. Підготовка доповіді на конференцію міжнародного рівня.

The preparation of a presentation for an international conference.

Завдання 5. Закупівля обладнання.

The equipment purchase.

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-евристичного 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.

the setup of for estimation of kinetic parameter of defect rebuilding in barrier structures under ultrasound loading conditions; the quantification of influence of light-induced Fe-B pair dissociation on the IVC parameters; the software for Jaya implementation; the data array of ideality factor value for silicon n^+-p-p^+ structures with various geometric and electrophysical characteristics; a prepared presentation; prepared documentation for the equipment purchase.

ЕВП № 4 : 01.04.2021 -30.06.2021

Назва **ЕВП**: Створення штучної нейронної мережі для оцінки концентрації заліза в КСЕ.

Making of an artificial neural network for estimating the concentration of iron in SSC.

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

to find out the physical regularities of acousto-defective interaction in SSC under longitudinal ultrasound loading; to make an artificial neural network for estimation of impurity iron atom concentration by IVC parameters.

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

Національний фонд досліджень України
Конкурс проєктів із виконання наукових досліджень і розробок
“Підтримка досліджень провідних та молодих вчених”

The determination of regularities of SSC parameters change, which forced by light-induced degradation, under longitudinal ultrasonic loading condition.

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

The determination of kinetic characteristics of IVC parameters variation due to Fe-B pair association under longitudinal ultrasonic loading condition

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

The tinning of hyperparameters of an artificial neural network capable of predicting the impurity iron atom concentration by ideality factor value; neural network training.

Завдання 4. Підготовка доповіді на конференцію міжнародного рівня.

The preparation of a presentation for an international conference.

Індикатори виконання:

з'ясовані фізичні закономірності 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.

the recognized physical regularities of interaction of defect complexes, which associated with transition metal atoms, and longitudinal elastic waves; the tuned an artificial neural network for estimating the concentration of iron in $n^+ - p - p^+$ structures; a prepared presentation;

ЕВП № 5 : 01.07.2021 -30.09.2021

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

The transverse ultrasonic waves as a tool for SSC parameter driving.

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

to find out the physical regularities of interaction of defect complexes, which associated with transition metal atoms, and transverse ultrasonic waves in SSC.

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

The determination of regularities of SSC parameters change, which forced by light-induced degradation, under transverse ultrasonic loading condition.

The determination of regularities of SSC parameters variation due to light-induced degradation under transverse ultrasound loading.

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

The determination of kinetic characteristics of IVC parameters variation due to Fe-B pair association under transverse ultrasonic loading condition

Завдання 3. Підготовка статті у фаховий журнал.

The paper preparation.

Національний фонд досліджень України
Конкурс проєктів із виконання наукових досліджень і розробок
“Підтримка досліджень провідних та молодих вчених”

Індикатори виконання:

з'ясовані фізичні закономірності взаємодії дефектних комплексів, пов'язаних із атомами перехідних металів, у КСЕ з поперечними пружними хвилями; підготовлена стаття.

the recognized physical regularities of interaction of defect complexes, which associated with transition metal atoms, and longitudinal elastic waves; a prepared paper.

ЕВП № 6 : 01.10.2021 -15.12.2021

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

The specification of physical mechanisms of acousto-defective interaction and development of recommendations for practical use.

Цілі **ЕВП**: Узагальнення результатів, отриманих під час виконання проєкту у вигляді рекомендацій.

to summarize of the project obtained results in the recommendations.

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

The determination of the physical mechanisms of the influence of acoustic waves on the rebuilding of defect complexes, which associated with transition metal atoms, in SSC.

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

The development of recommendations about practical using of ultrasound loading during SSC manufacturing.

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

The development of recommendations for the method of quantitative evaluation of electrically active defects in barrier structures by the ideality factor value

Завдання 4. Підготовка статті у фаховий журнал.

The paper preparation.

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.

the explored physical mechanisms of the interaction between defect complexes, which associated with transition metal atoms, in SSC and ultrasonic waves; the recommendation both for the practical use of ultrasound loading in SSC manufacturing and for the quantitative evaluation of electrically active defects in barrier structures by the ideality factor value; a prepared paper

Національний фонд досліджень України
Конкурс проєктів із виконання наукових досліджень і розробок
“Підтримка досліджень провідних та молодих вчених”

4.2. Календарний план виконання проєкту (за кварталами)

Етап виконання проєкту та завдання	Термін реалізації					
	Рік 1		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 -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 -структур		+				
Завдання 1. Створення програмного забезпечення для парсингу файлів, які є результатом роботи SCAPS; проведення розрахунків вольт-амперних характеристик (ВАХ) для n^+p -структур з різною товщиною (150-240 мкм) та		+				

Національний фонд досліджень України
Конкурс проєктів із виконання наукових досліджень і розробок
“Підтримка досліджень провідних та молодих вчених”

ступенем легування ($10^{15} \div 10^{17}$ см ⁻³) бази при варіації концентрації домішки в інтервалі $10^{10} \div 10^{13}$ 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.			+			

Національний фонд досліджень України
Конкурс проєктів із виконання наукових досліджень і розробок
“Підтримка досліджень провідних та молодих вчених”

Завдання 3. Програмна реалізація мета-евристичного 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 для оцінки концентрації заліза в КСЕ				+		
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.				+		

Національний фонд досліджень України
Конкурс проєктів із виконання наукових досліджень і розробок
“Підтримка досліджень провідних та молодих вчених”

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 впливу акустичних хвиль на процес перебудови дефектних комплексів, пов'язаних із атомами перехідних металів, у						+

Національний фонд досліджень України
Конкурс проєктів із виконання наукових досліджень і розробок
“Підтримка досліджень провідних та молодих вчених”

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

Project implementation stage and tasks	Implementation period					
	Year 1		Year 2			
	3 quarter	4 quarter	1 quarter	2 quarter	3 quarter	4 quarter
1. The project's material and computation base formation	+					
Task 1. The development of a calculation model of silicon n^+p - p^+ structure for using in solar cell simulation program SCAPS 3.3.08; the model must take into account real values and temperature dependences of parameters for silicon and traps from modern literature; development of software for auto-creation model with various parameters	+					
Task 2. The selection of silicon solar cells (SSCs) with a boron doped base and a high iron impurity concentration.	+					

Національний фонд досліджень України
Конкурс проєктів із виконання наукових досліджень і розробок
“Підтримка досліджень провідних та молодих вчених”

Funding amount, thousand uah	72,3					
2. The numerical simulation of current-voltage characteristics of $n^+ - p - p^+$ structure		+				
Task 1. The development of software for parsing of SCAPS result file; the calculation of IVC for silicon $n^+ - p - p^+$ structures with different base thickness (150-240 μm), base doping level ($10^{15} - 10^{17} \text{ cm}^{-3}$), impurity concentration ($10^{10} - 10^{13} \text{ cm}^{-3}$) over the temperature range 290-340 K		+				
Task 2. The testing f procedure for measuring the kinetics of light-induced processes in SSC		+				
Task 3. The preparation of a presentation for an international conference		+				
Task 4. The equipment purchase.						
Funding amount, thousand uah		2947,6				
3. The development of procedure for estimation of IVC kinetic parameters under ultrasound loading conditions			+			
Task 1. The development of procedure for estimation of kinetic parameter of defect rebuilding in barrier structures under ultrasound loading conditions. Testing measurements			+			
Task 2. The determination of influence of light-induced Fe-B pair dissociation on the IVC parameters (an ideality factor, a			+			

Національний фонд досліджень України
Конкурс проєктів із виконання наукових досліджень і розробок
“Підтримка досліджень провідних та молодих вчених”

saturation current, a shunt resistance, an open-circuit voltage, a short-circuit current) of silicon solar cells; the quantification of kinetic of IVC parameters change induced by Fe-B pair association						
Task 3. The software implementation of the meta-heuristic optimization method Jaya; determination of ideality factor value for the calculated IVC array according to the two-diode model			+			
Task 4. The preparation of a presentation for an international conference			+			
Task 5. The equipment purchase						
Funding amount, thousand uah			1772,8			
4. Making of an artificial neural network for estimating the concentration of iron in SSC				+		
Task 1. The determination of regularities of SSC parameters change, which forced by light-induced degradation, under longitudinal ultrasonic loading condition				+		
Task 2. The determination of kinetic characteristics of IVC parameters variation due to Fe-B pair association under longitudinal ultrasonic loading condition				+		
Task 3. The tinning of hyperparameters of an artificial neural network capable of predicting the impurity iron atom concentration by ideality factor				+		

Національний фонд досліджень України
Конкурс проєктів із виконання наукових досліджень і розробок
“Підтримка досліджень провідних та молодих вчених”

value; neural network training						
Task 4. The preparation of a presentation for an international conference				+		
Funding amount, thousand uah				617,5		
5. The transverse ultrasonic waves as a tool for SSC parameter driving					+	
Task 1. The determination of regularities of SSC parameters change, which forced by light-induced degradation, under transverse ultrasonic loading condition					+	
Task 2. The determination of kinetic characteristics of IVC parameters variation due to Fe-B pair association under transverse ultrasonic loading condition					+	
Task 3. The paper preparation					+	
Funding amount, thousand uah					606,4	
6. The specification of physical mechanisms of acousto-defective interaction and development of recommendations for practical use						+
Task 1. The determination of the physical mechanisms of the influence of acoustic waves on the rebuilding of defect complexes, which associated with transition metal atoms, in SSC						+
Task 2. The development of recommendations about practical using of ultrasound loading						+

Національний фонд досліджень України
Конкурс проєктів із виконання наукових досліджень і розробок
“Підтримка досліджень провідних та молодих вчених”

during SSC manufacturing						
Task 3. The development of recommendations for the method of quantitative evaluation of electrically active defects in barrier structures by the ideality factor value						+
Task 4. The paper preparation						+
Funding amount, thousand uah						492,2