**Перелік основних наукових результатів, які дали змогу досягти впливу**

Науковий проєкт

Реципієнт: Київський Національний Університет імені Тараса Шевченка

Назва Проєкту: Розробка принципів створення та машинно-орієнтованої характеризації поруватих кремнієвих наноструктур з оптимальними теплотранспортними властивостями

Номер Проєкту: № 202/0252

Номер та назва грантової програми: 2023.03 Передова наука в Україні

Грантонадавач: Національний Фонд Досліджень України

Обсяг фінансування (загальний): 7 272 567, 34 грн.

Обсяг фінансування за виконаний етап (2024 р.): 1 461 773,00 грн.

Обсяг фінансування, наданий на 2025 р.: 2 849 700,00 грн.

**A list the main scientific results that made it possible to achieve the impact**

Scientific Project

Recipient: Taras Shevchenko National University of Kyiv

Project Title: Development of Principles for the Creation and Machine-Oriented Characterization of Porous Silicon Nanostructures with Optimized Heat Transport Properties

Project Number: No. 202/0252

Grant Program Number and Title: 2023.03 Advanced Science in Ukraine

Grantor: National Research Foundation of Ukraine

Total Funding Amount: 7,272,567.34 UAH

Funding for the Completed Stage (2024): 1,461,773.00 UAH

Funding Allocated for 2025: 2,849,700.00 UAH

**ОПИС ОСНОВНИХ НАУКОВИХ РЕЗУЛЬТАТІВ, ЯКІ ДАЛИ ЗМОГУ ДОСЯГТИ ЦЬОГО ВПЛИВУ**

В межах проведених досліджень було розроблено та узагальнено оптимізовані методи фотоакустичних вимірювань для визначення теплофізичних, оптичних та механічних властивостей неоднорідних об’ємних та наноструктурованих матеріалів. Дослідження виконувалися в контексті фундаментальних і прикладних задач фізики конденсованого стану, зокрема, з метою покращення розуміння механізмів поглинання світла та теплового транспорту в нанорозмірних системах. Було вдосконалено методологію використання газо-мікрофонного та п'єзоелектричного фотоакустичних способів реєстрації інформативного сигналу. Це дозволило підвищити чутливість вимірювань та розширити їх застосування в дослідженні структур різної розмірності та морфології, зокрема, напівпровідникових поруватих матеріалів і композитних систем на їх основі. Одним із ключових досягнень стало поглиблене розуміння механізмів формування фотоакустичного сигналу, що є критично важливим для інтерпретації майбутніх досліджень фотоакустичними методами. Також було продемонстровано можливість застосування фотоакустичних методів для візуалізації неоднорідних матеріалів.

**DESCRIPTION OF THE MAIN SCIENTIFIC RESULTS THAT ENABLED THIS IMPACT**

As part of the conducted research, optimized photoacoustic measurement methods were developed and generalized to determine the thermophysical, optical, and mechanical properties of heterogeneous bulk and nanostructured materials. The studies were carried out in the context of fundamental and applied problems in condensed matter physics, specifically aimed at improving the understanding of light absorption mechanisms and heat transport in nanoscale systems. The methodology for utilizing gas-microphone and piezoelectric photoacoustic signal detection techniques was refined, which significantly increased measurement sensitivity and expanded their application to structures of various sizes and morphologies, particularly semiconductor porous materials and composite systems based on them. One of the key achievements was the deepened understanding of photoacoustic signal formation mechanisms, which is critically important for interpreting future research using photoacoustic methods. Additionally, the feasibility of applying photoacoustic methods for visualizing heterogeneous materials was demonstrated.

**ОПИС ВПЛИВУ**

Результати проведених досліджень мають значний вплив на розвиток науки та технологій у сфері матеріалознавства, енергетики та медичної діагностики. Фотоакустичні методи, розроблені в ході досліджень.

Механізми впливу: Удосконалені методики фотоакустичного аналізу впроваджено в дослідницькі лабораторії для характеристики наноматеріалів і прогнозування їхніх властивостей залежно від умов виготовлення. Запропоновані підходи лягли в основу нових алгоритмів машинного навчання для автоматизованого аналізу матеріалів. Вдосконалені методи забезпечують вищу точність результатів, що є критично важливим для створення матеріалів із контрольованими теплофізичними та оптичними властивостями.

Бенефіціари впливу: Наукові установи та дослідницькі групи, що працюють у сфері наноматеріалознавства, зокрема, міжнародні партнери з Франції, Німеччини, Литви (без підтвердження..). КНУ імені Тараса Шевченка, де ці методи використовуються для освітніх програм.

Характер впливу: Збільшення точності та швидкості аналізу властивостей неоднорідних матеріалів. Створення передумов для розробки мультимодальних сенсорів на основі фотоакустичного аналізу.

Масштаб впливу: Наукові публікації отримали значну кількість цитувань в публікаціях престижних міжнародних журналах, які індексуються у базі Scopus. Розроблені методики вже використовуються в лабораторіях КНУ імені Тараса Шевченка.

Період впливу: Основні результати почали активно впроваджуватись протягом звітного періоду, а їхній вплив триває донині, з перспективою розширення у наступні роки. Результати досліджень лягли в основу численних наукових публікацій у міжнародних рецензованих журналах, що викликало значний інтерес серед закордонних науковців, про що свідчать численні посилання в базі Scopus. Крім того, Національний Фонд Досліджень України підтримує подальший розвиток цих досліджень у рамках проєкту № 202/0252.

**DESCRIPTION OF IMPACT**

The research results have had a significant impact on the advancement of science and technology in materials science, energy, and medical diagnostics. The photoacoustic methods developed during these studies have contributed to:

Mechanisms of Impact: Enhanced photoacoustic analysis methodologies have been implemented in research laboratories for the characterization of nanomaterials and prediction of their properties depending on fabrication conditions. The proposed approaches have formed the basis for new machine learning algorithms aimed at the automated analysis of materials. The improved methods provide higher measurement accuracy, which is critically important for the development of materials with controlled thermophysical and optical properties.

Beneficiaries of Impact: Scientific institutions and research groups working in the field of nanomaterials science, including international partners from France, Germany, and Lithuania (?). Taras Shevchenko National University of Kyiv (KNU), where these methods are incorporated into educational programs.

Nature of Impact: Increased accuracy and speed in analyzing the properties of heterogeneous materials. Establishment of prerequisites for the development of multimodal sensors based on photoacoustic analysis.

Scale of Impact: The scientific publications resulting from this research have received numerous citations in prestigious international journals indexed in the Scopus database. The developed methodologies are already being utilized in the laboratories of Taras Shevchenko National University of Kyiv.

Period of Impact: The main results began to be actively implemented during the reporting period, and their influence continues to grow, with prospects for further expansion in the coming years. The research findings have formed the basis of numerous scientific publications in internationally peer-reviewed journals, attracting significant interest among foreign researchers, as evidenced by numerous citations in the Scopus database. Additionally, the National Research Foundation of Ukraine continues to support the further development of this research within the framework of Project No. 202/0252.

**РОЛЬ УСТАНОВИ, ЩО ЗВІТУЄ, У ДОСЯГНЕННІ ВПЛИВУ**

Дослідження, які стали основою для досягнення заявленого впливу, були проведені на кафедрі загальної фізики фізичного факультету КНУ імені Тараса Шевченка в Науково-дослідній лабораторії «Фізичне матеріалознавство твердого тіла». Ключовий внесок у вдосконалення фотоакустичних методів аналізу наноматеріалів зробили співробітники кафедри с.н.с. Кузьмич А.Г., ас. Ліщук П.О., м.н.с. Чепела Л.І..

Для реалізації досліджень використовувалася сучасна наукова інфраструктура університету, що забезпечила високий рівень точності та достовірності отриманих результатів. Зокрема, було залучено:

* Лазерні системи з різними довжинами хвиль та потужностями вихідного випромінювання для збудження фотоакустичного сигналу.
* Синхронні нановольтметри, призначені для високочутливого вимірювання фотоакустичного відгуку.
* Високопродуктивну обчислювальну станцію для чисельного моделювання теплофізичних процесів у досліджуваних матеріалах.

Завдяки поєднанню експериментальних і теоретичних підходів, а також ефективному використанню наявної дослідницької бази, кафедра загальної фізики КНУ імені Тараса Шевченка відіграла ключову роль у формуванні наукового підґрунтя для реалізації фотоакустичних методів дослідження неоднорідних матеріалів.

**ROLE OF THE REPORTING INSTITUTION IN ACHIEVING IMPACT**

The research that formed the basis for the reported impact was conducted at the Department of General Physics of the Faculty of Physics at Taras Shevchenko National University of Kyiv in the Research Laboratory of "Solid-State Physical Materials Science". A key contribution to the advancement of photoacoustic methods for nanomaterial analysis was made by department staff members: Senior Researcher A.G. Kuzmych, Assistant P.O. Lishchuk, Junior Researcher L.I. Chepela.

To conduct the research, the university's state-of-the-art scientific infrastructure was utilized, ensuring a high level of accuracy and reliability of the obtained results. Specifically, the following equipment was employed:

* Laser systems with various wavelengths and output power levels for photoacoustic signal excitation.
* Synchronous nanovoltmeters designed for highly sensitive measurement of the photoacoustic response.
* A high-performance computing workstation for numerical modeling of thermophysical processes in the studied materials.

Through the integration of experimental and theoretical approaches, as well as the efficient use of the available research infrastructure, the Department of General Physics of Taras Shevchenko National University of Kyiv played a crucial role in establishing the scientific foundation for implementing photoacoustic methods in the study of heterogeneous materials.