Облікова картка дисертації

I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0825U001990

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 28-05-2025

Статус: Наказ про видачу диплома

Реквізити наказу МОН / наказу закладу: № НСВС/56/25 від 08.07.2025

II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Цао Цзесян ---

2. Zexiang Cao

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: ні

Шифр наукової спеціальності: 105

Назва наукової спеціальності: Прикладна фізика та наноматеріали

Галузь / галузі знань:

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: Прикладна фізика та наноматеріали

Дата захисту: 18-06-2025

Спеціальність за освітою: Прикладна фізика та наноматеріали

Місце роботи здобувача:

Код за ЄДРПОУ:

Місцезнаходження:

Форма власності:

Сфера управління:

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

III. Відомості про організацію, де відбувся захист

Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради): PhD 8892

Повне найменування юридичної особи: Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Код за ЄДРПОУ: 02070921

Місцезнаходження: проспект Берестейський, буд. 37, Київ, 03056, Україна

Форма власності:

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

IV. Відомості про підприємство, установу, організацію, в якій було виконано дисертацію

Повне найменування юридичної особи: Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Код за ЄДРПОУ: 02070921

Місцезнаходження: проспект Берестейський, буд. 37, Київ, 03056, Україна

Форма власності:

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

V. Відомості про дисертацію

Мова дисертації: Українська

Коди тематичних рубрик: 29.19, 29.31, 29.33

Тема дисертації:

1. Термодинамічні та кінетичні процеси модифікування гетеросистем на телуриді кадмію, ініційовані наносекундною дією інтенсивного лазерного випромінювання

2. Thermodynamic and kinetic processes of modification of heterosystems on cadmium telluride initiated by nanosecond action of intense laser radiation

Реферат/анотація:

1. Дисертаційні дослідження присвячені встановленню та опису закономірностей термодинамічних (нагрів, фазові переходи) та кінетичних (дифузія, масоперенос) процесів у телуриді кадмію та гетеросистемі плівка металу/CdTe при потужному наносекундному лазерному опроміненні у різних середовищах, і, відповідно, вирішенню проблеми формування та керованої зміни фізичних (електричних, фотоелектричних, оптичних) властивостей поверхневих шарів даних напівпровідників при реалізації умов істотного відхилення від термодинамічної рівноваги. При теоретичному описі експериментальних результатів буде враховано часова та просторова нелокальність у кінетичних явищах переносу. На основі отриманих експериментальних даних і теоретичного аналізу будуть отримані принципово нові фундаментальні та науково-практичні результати

щодо формування та модифікації нано- та мікро- розмірних шарів телуриду кадмію та кремнію, оскільки потужне наносекундне лазерне опромінення гетеросистем у різних середовищах (гази, рідини) дозволяє значно змінювати та варіювати в широкому діапазоні коефіцієнти сегрегації, дифузії і розчинності домішок, легуючих елементів та власних точкових дефектів. А також, що важливо, ефективно використовувати так званий ефект «замороження» активованих атомів та «нетепловий» процес введення заданого легуючого елементу за механізмом бародифузії. На основі даних досліджень в подальшому може бути створена широка гама високоефективних елементів інформаційної техніки. Проблема формування та керованої зміни фізичних (в т.ч. електричних, оптичних) властивостей напівпровідникових гетероструктур і тонкоплівкових систем при дії потужного наносекундного лазерного випромінювання, при якому реалізуються умови істотного відхилення від термодинамічної рівноваги в умовах порушення принципу локальної термодинамічної рівноваги. Це, відповідно, потребує вивчення та опису процесів дифузії (масопереносу) та дефектоутворення в умовах порушення даного, одного з основних, принципів класичної термодинаміки. Такі умови, при яких відбуваються швидкі фазові перетворення та сублімація, реалізуються наприклад при наносекундному імпульсному лазерному опроміненні (ІЛО) напівпровідників в області фундаментального поглинання та металів. Такий спосіб, на відміну від типових (квазірівноважних) методів вирощення та формування нано- та мікро- розмірних напівпровідникових шарів, дозволяє значно змінювати та варіювати в широкому діапазоні коефіцієнти сегрегації, дифузії і розчинності домішок, легуючих елементів, точкових дефектів у напівпровідниках та подавити ефект самокомпенсації домішкових центрів активації через так званий ефект «замороження». Наближення локальної рівноваги справедливе, якщо час релаксації, протягом якого встановлюється рівновага у макроскопічно малих (але з великою кількістю частинок) областях, набагато менше характерного часу конкретного фізичного процесу (зокрема при ІЛО), тобто швидкість руйнування рівноваги, багато менше швидкості релаксації системи до локальної рівноваги. Комплекс експериментальних та теоретичних досліджень дозволить отримати загальні закономірності термодинамічних та кінетичних процесів модифікування гетеросистем та оптимізувати параметри та режими лазерного опромінення для формування приповерхневих шарів у напівпровідникових матеріалах із заданими електричними, фотоелектричними та оптичними характеристиками, що може бути використано для приладних функціональних структур різноманітного призначення (наприклад, детектування ІЧ, рентгенівського та гамма випромінювання). Термодинамічні та кінетичні процеси модифікування гетеросистем на основі кремнію та телуриду кадмію, а саме встановлення та опис закономірностей дифузії легуючих атомів та генераційно-релаксаційних процесів у дефектній підсистемі при наносекундному лазерному опроміненні CdTe, Si та систем плівка металу/напівпровідник, коли реалізуються умови локальної часової та(або) просторової нерівноважності, зазнає сильного впливу фізичної та геометричної нелінійностей. Зокрема, відбуваються надшвидкі процеси фазових переходів – тверде тіло-газ, тверде тіло-розплав-тверде тіло з великою швидкістю поширення фазової границі (1-20 м/с)

2. Dissertation studies are devoted to establishing and describing regularities of thermodynamic (heating, phase transitions) and kinetic (diffusion, mass transfer) processes in cadmium telluride and the metal film/CdTe heterosystem under powerful nanosecond laser irradiation in various environments. and, accordingly, solving the problem of formation and controlled change of the physical (electrical, photoelectric, optical) properties of the surface layers of these semiconductors when implementing conditions of significant deviation from thermodynamic equilibrium. The theoretical description of the experimental results will take into account temporal and spatial non-locality in the kinetic transfer phenomena. Based on the obtained experimental data and theoretical analysis, fundamentally new fundamental and scientific-practical results will be obtained regarding the formation and modification of nano- and micro-sized layers of cadmium and silicon telluride, because powerful nanosecond laser irradiation of heterosystems in various media (gases, liquids) allows to significantly change and vary in a wide range the coefficients of segregation, diffusion and solubility of impurities, alloying elements and intrinsic point defects. And also, what is important, effectively use the so-called effect of "freezing" of activated atoms and the "non-thermal" process of introducing a given doping element by the barodiffusion mechanism. On the basis of these studies, a wide range of highly effective elements of information technology can be created in

the future. The problem of the formation and controlled change of the physical (including electrical, optical) properties of semiconductor heterostructures and thin-film systems under the action of powerful nanosecond laser radiation, in which conditions of significant deviation from thermodynamic equilibrium are realized, and especially in conditions of violation of the principle of local thermodynamic equilibrium. This, accordingly, requires the study and description of the processes of diffusion (mass transfer) and defect formation in conditions of violation of this, one of the main principles of classical thermodynamics. Such conditions, under which rapid phase transformations and sublimation occur, are realized, for example, during nanosecond (pulse) laser irradiation (PLI) of semiconductors in the field of fundamental absorption and metals. This method, in contrast to typical (quasi-equilibrium) methods of growing and forming nano- and micro-sized semiconductor layers, makes possible to significantly change and vary in a wide range the coefficients of segregation, diffusion and solubility of impurities, doping elements, point defects in semiconductors and suppress the effect of self-compensation impurity activation centers due to the so-called "freezing" effect. The approximation of local equilibrium is valid if the relaxation time during which equilibrium is established in macroscopically small (but with a large number of particles) regions is much less than the characteristic time of a specific physical process (in particular, in the case of PLI), i.e., the rate of equilibrium destruction is much less than the rate of relaxation of the system to the local balance. A complex of experimental and theoretical studies will allow to obtain general regularities of thermodynamic and kinetic processes of heterosystem modification and to optimize conditions and regimes of laser irradiation for the formation of near-surface layers of semiconductors with specified electrical, photoelectric and optical characteristics, which can be used for instrumented functional structures of various applicatons (for example, detection of IR, X-ray and gamma radiation). Thermodynamic and kinetic processes of modification of heterosystems based on silicon and cadmium telluride, namely establishment and description of laws of diffusion of alloying atoms and generation-relaxation processes in the defective subsystem during nanosecond laser irradiation of CdTe, Si and metal film/semiconductor systems, when conditions of local temporal and/or spatial imbalance, strong influence of physical and geometric nonlinearities are realized.

Державний реєстраційний номер ДіР:

Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки: Фундаментальні наукові дослідження з найбільш важливих проблем розвитку науково-технічного, соціально-економічного, суспільно-політичного, людського потенціалу для забезпечення конкурентоспроможності України у світі та сталого розвитку суспільства і держави

Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності: Освоєння нових технологій виробництва матеріалів, їх оброблення і з'єднання, створення індустрії наноматеріалів та нанотехнологій

Підсумки дослідження: Теоретичне узагальнення і вирішення важливої наукової проблеми

Публікації:

- S.M.Levytskyi, T. Zhao, Z. Cao, A.V.Stronski. Modeling of Diffusion Motion of in Nanoparticles in a CdTe Crystal during Laser-Induced Doping / PHYSICS AND CHEMISTRY OF SOLID STATE V. 22, No. 2 (2021) pp. 301-306.
- LEVYTSKYI Serhii, CAO Zexiang, KOBA Alexander, KOBA Maria. Dependence of the Melting Threshold of CdTe on the Wavelength and Pulse Lifetime of Laser Radiation / MATERIALS REPORTS, 2024,Vol. 38, No. 7, p. 22120127-1 – 22120127-6.
- S. Levytskyi, Z. Cao, O. Koba, M. Koba. Change of the Optoelectronic Properties of Semiconductor Compounds Induced by Nanosecond Laser Irradiation Pulses / PHYSICS AND CHEMISTRY OF SOLID STATE V.25, No.4(2024) pp.892-902.
- Цао Цзесян, Дмитро Гнатюк, Сергій Левицький. Особливості фотоелектричних та електричних властивостей діодів на основі CdTe / 9-та Українська наукова конференція з фізики напівпровідників. Матеріали конференції, Ужгород, 22 - 26 травня 2023, с. 342-343.

- Cao Z., Levytskyi S.M., Stronski A.V. FEATURES OF THE ORIGIN AND PROPAGATION OF A SHOCK WAVE IN SEMICONDUCTORS DURING NANOSECOND LASER IRRADIATION / Proceedings of the XI-th International Conference “Topical Problems of Semiconductors Physics” / Edited by Ihor Stolyarchuk. – Drohobych, MAY 27-31, 2024, p. 80
- Cao Z., Levytskyi S.M., Stronski A.V. FEATURES OF THE ORIGIN AND PROPAGATION OF A SHOCK WAVE IN SEMICONDUCTORS DURING NANOSECOND LASER IRRADIATION / Proceedings of the XI-th International Conference “Topical Problems of Semiconductors Physics” / Edited by Ihor Stolyarchuk. – Drohobych, MAY 27-31, 2024, p. 80
- Ц. Цао, С.М. Левицький, О.В. Стронський. Акустичний відгук в напівпровідниках при лазерному опроміненні / Матеріали VIII Міжнародна науково-практична конференція «ФІЗИКА І ХІМІЯ ТВЕРДОГО ТІЛА: СТАН, ДОСЯГНЕННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ», м. Луцьк, 18.10.2024 – 19.10.2024 р., м. Луцьк: ІВВ ЛНТУ, 2024. С.148-149.
- S.M. Levytskyi, Z. Cao, A.V. Stronski. Mechanisms of indium mass transfer in Cd(Zn)Te under the action of nanosecond laser pulses / Optoelectron. Semicond. Tech. 58, 178-186 (2023)
- S.M. Levytskyi, Z. Cao, A.V. Stronski. Laser-induced nanosecond pulse peocesses of mass transfer and formation of inversion and varizon layers in solid solutions based on cadmium telluride / Optoelectron. Semicond. Tech. 59, C.124-132 (2024)

Наукова (науково-технічна) продукція: технології; матеріали

Соціально-економічна спрямованість: створення принципово нової продукції (матеріалів, технологій тощо) для забезпечення експортного потенціалу та заміщенню імпорту

Охоронні документи на ОПІВ:

Впровадження результатів дисертації: Впроваджено

Зв'язок з науковими темами: 0121U107979

VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Стронський Олександр Володимирович
2. Alexander Stronski

Кваліфікація: д.ф.-м.н., с.н.с., 01.04.10

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-5096-3740

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Інститут фізики напівпровідників імені В. Є. Лашкарьова Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 05416952

Місцезнаходження: проспект Науки, буд. 41, Київ, 03028, Україна

Форма власності:

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Левицький Сергій Миколайович

2. Serhii Levytskyi

Кваліфікація: к. т. н., с.д., 05.27.06

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-3909-0993

Додаткова інформація: Scopus Author ID: 25923472700

Повне найменування юридичної особи: Інститут фізики напівпровідників імені В. Є. Лашкарьова Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 05416952

Місцезнаходження: проспект Науки, буд. 41, Київ, 03028, Україна

Форма власності:

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів

Офіційні опоненти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Кондратенко Сергій Вікторович

2. Serhiy V. Kondratenko

Кваліфікація: д.ф.-м.н., проф., 01.04.05

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-4403-7732

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Код за ЄДРПОУ: 02070944

Місцезнаходження: вул. Володимирська, буд. 60, Київ, 01033, Україна

Форма власності:

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Насєка Юрій Миколайович

2. Yuriy M. Naseka

Кваліфікація: д. ф.-м. н., с.д., 01.04.07

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-3431-8856

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Інститут фізики напівпровідників імені В. Є. Лашкарьова Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 05416952

Місцезнаходження: проспект Науки, буд. 41, Київ, 03028, Україна

Форма власності:

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

Рецензенти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Іванова Віта Вікторівна
2. Vita V. Ivanova

Кваліфікація: к. т. н., доц., 05.11.07

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0003-1746-9246

Додаткова інформація: https://scholar.google.com/citations?user=A-gMt9gAAAAJ&hl=en

Повне найменування юридичної особи: Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Код за ЄДРПОУ: 02070921

Місцезнаходження: проспект Берестейський, буд. 37, Київ, 03056, Україна

Форма власності:

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Котовський Віталій Йосипович
2. Vitalii Y. Kotovskyi

Кваліфікація: д. т. н., професор, 05.13.09

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0003-3372-7815

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Код за ЄДРПОУ: 02070921

Місцезнаходження: проспект Берестейський, буд. 37, Київ, 03056, Україна

Форма власності:

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

VIII. Заключні відомості

Власне Прізвище Ім'я По-батькові голови ради	Воронов Сергій Олександрович
Власне Прізвище Ім'я По-батькові головуючого на засіданні	Воронов Сергій Олександрович
Відповідальний за підготовку облікових документів	Левицький Сергій Миколайович
Реєстратор	УкрІНТЕІ
Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є відповідальним за реєстрацію наукової діяльності	Юрченко Тетяна Анатоліївна