

Облікова картка ДіР



I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0225U004601

Державний реєстраційний номер: 0124U004242

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 13-12-2025

II. Етап виконання ДіР

Номер етапу: 3

Назва етапу: Дослідження фізичних процесів плазмово-поверхневої взаємодії і механізмів утворення пилу під дією газової плазми.

Початок етапу: 07.2025

Закінчення етапу: 12.2025

Вид звітнього документа: Проміжний звіт

III. Відомості про виконавця ДіР

Повне найменування юридичної особи (або ПІБ фізичної особи): Національний науковий центр "Харківський фізико-технічний інститут" Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 14312223

Місцезнаходження: вул. Академічна, буд. 1, м. Харків, Харківський р-н., Харківська обл., 61108, Україна

Форма власності:

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

Розмір організації:

Телефон: 380573353530, 380573356607

IV. Відомості про співвиконавців ДіР

V. Відомості про замовника ДіР

Повне найменування юридичної особи (або ПІБ фізичної особи): Міністерство освіти і науки України

Код за ЄДРПОУ: 38621185

Місцезнаходження: проспект Берестейський, буд. 10, м. Київ, 01135, Україна

Форма власності:

Сфера управління: Кабінет Міністрів України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

Розмір організації:

Телефон: 380444813221

VI. Джерела, напрями та обсяги фінансування ДіР

Підстава для проведення ДіР: 34 - договір (замовлення) з центральним органом виконавчої влади, академією наук (головними розпорядниками бюджетних коштів на проведення НДДКР)

Напрямок фінансування: 2.2 - прикладні дослідження і розробки

Джерела фінансування

7713 - кошти держбюджету

Код програмної класифікації видатків і кредитування (КПКВК): 2201380

Фактичний обсяг фінансування (тис. грн.): 689.700
--

VII. Відомості про ДіР

Назва роботи українською:

Ключові аспекти взаємодії плазми з поверхнями в освоєнні термоядерної енергії

Назва роботи англійською:

Key aspects of the interaction of plasma with surfaces in the development of thermonuclear energy

Реферат українською:

Екстремальне послідовне теплове стаціонарне та імпульсне вплив енергії на компонентах DEMO, що контактують з плазмою (PFC), спричиняє значне пошкодження вольфрамових захисних матеріалів. Для оцінки їхніх характеристик в умовах, що відповідають умовам реактора, зразки вольфраму класу ITER (PLANSEE) були піддані впливу високих температур та потоків частинок. Стаціонарне попереднє навантаження зразків було виконано в установці Magnum-PSI. Сканування температури (400 K; 500 K; 600 K; 700 K) було проведено при флюенсі 1027 м^{-2} під час послідовних експозицій плазми D - H - D. Енергія частинок досягала 40 eV при стаціонарному навантаженні плазмою. Після цих експозицій були застосовані імпульсний плазмовий вплив з високим тепловим потоком за допомогою квазістаціонарного плазмового прискорювача КСПП Х-50. Теплові навантаження на поверхню перевищували поріг плавлення вольфраму (густина енергії до $0,9 \text{ МДж/м}^2$, тривалість імпульсу $0,25 \text{ мс}$). Перед плазмовим імпульсом зразки мали приблизно кімнатну температуру. Аналіз поверхні проводився за допомогою оптичного мікроскопа та SEM. Розплавлення поверхні, утворення повторно затверділих шарів та тріщин на поверхні зразка були визначені як основні особливості впливу імпульсної водневої плазми КСПП. Модифікація поверхні та розвиток тріщин призвели до збільшення шорсткості опромінених поверхонь у 5 разів. Було досліджено ерозію мішеней з вольфраму (W) з капілярною пористою структурою (КПС), заповнених літієм (Li), під дією перехідних плазмових навантажень в КСПП Х-50. Плазмові імпульси були застосовані до двох мішеней КПС, одна з яких була орієнтована нормально, а інша – під кутом до падаючого плазмового потоку. Спостереження взаємодії плазми з поверхнею виявили викид частинок з відкритої мішені, який залежав від густини енергії вхідного потоку плазми. Аналіз мішені КПС після впливу похилого плазмового потоку виявив ерозію на передньому краї, що вказує на цю область як на критичний фактор стійкості мішені.

Реферат англійською:

The extreme sequential thermal steady-state and transient energy deposition on the DEMO Plasma-Facing Components (PFCs) causes significant damage to tungsten armor materials. To evaluate their performance under reactor-relevant conditions, ITER-grade tungsten samples (PLANSEE) were exposed to high heat and particle fluxes. Steady-state pre-loading of samples was performed in the Magnum-PSI facilities. Temperature scans (400 K; 500 K; 600 K; 700 K) were performed during successive D - H - D plasma exposures at a fluence of 1027 м^{-2} . The energy of particles reached 40 eV under steady-state plasma loading. After these exposures, high heat flux transient plasma impacts were applied using the quasi-stationary plasma accelerator QSPA Kh-50. The surface heat loads exceeded the melting threshold of tungsten (energy density up to 0.9 MJ/m^2 , pulse duration of 0.25 ms). The samples were initially at approximately room temperature before the plasma pulse. Surface analysis was conducted using optical microscopy and SEM. Surface melting, the formation of re-solidified layers, and cracking of the sample surface were identified as the main features of the QSPA pulsed hydrogen plasma exposure. Surface modification and crack development led to an increase in the roughness of the exposed surfaces up to 5 times. The erosion behavior of selective laser melting (SLM) tungsten (W) Capillary Porous Structure (CPS) targets filled with lithium (Li) was examined under transient plasma loads in the QSPA Kh-50. Plasma pulses were applied to two CPS targets, one oriented normally and the other inclined relative to the incident plasma stream. Observations of plasma-surface interactions revealed particle ejection from the exposed target, which depended on the energy density of the incoming plasma stream. Post-mortem analysis of the CPS target under oblique plasma exposure

revealed erosion at the leading edge, pointing to this region as a critical factor in target resilience.

Індекс УДК: 533.9, 533.9.004.14;621.039.6, 621.039.6

Коди тематичних рубрик: 29.27

Керівники роботи

Власне Прізвище Ім'я По-батькові: Гаркуша Ігор Євгенійович

Науковий ступінь: д. ф.-м. н.

Вчене звання: професор, академік НАН України

Ідентифікатор ORCID ID:

Додаткова інформація:

VIII. Наукова (науково-технічна) продукція (НТП)

Назва НТП українською: Досліджено фізичних процесів плазмово-поверхневої взаємодії і механізмів утворення пилу під дією газової плазми.

Назва НТП англійською: The physical processes of plasma-surface interaction and the mechanisms of dust formation under the influence of gas plasma were investigated.

НТП, яку передбачалося створити: Створено

Причини, через які НТП не було створено:

Отримані результати: Методи, теорії, гіпотези

Галузь застосування: Реакторна техніка (73.10.01)

Реєстраційний номер картки технології:

Опис НТП: Вперше проведено послідовне опромінення стаціонарними та імпульсними потоками водневої плазми вольфраму в умовах імітації теплових навантажень в диверторі реактора DEMO. Показано, що рельєф поверхні, характерний для фізичного розпорошення, спостерігався після стаціонарного плазмового опромінення. Виявлені блістери після опромінення при температурі поверхні вище $T = 600\text{ K}$ за дози опромінення 1027 м^{-2} . Після імпульсного плазмового опроміненні питомою енергією, що обумовлює плавлення вольфраму, на поверхні утворювався повторно затверділих шарів, розтріскування поверхні привело до утворення мережі великих (розмір осередків до $0,4\text{ мм}$ з шириною до 1 мкм) та міжкристалітних (розмір осередків до 40 нм) тріщин. На поверхні утворюються пори в результаті руйнування кришок блістерів. Модифікація поверхні і розвиток тріщин призвели до збільшення шорсткості опромінених поверхонь майже в 5 разів, що потрібно враховувати для оцінки деградації вольфрамових поверхонь в термоядерному реакторі під дією комбінованого опромінення.

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

Вплив НТП на довкілля:

Впровадження НТП: Не впроваджено

Практична реалізація НТП

Початок етапу: 07.2025

Закінчення етапу: 12.2025

Споживачі продукції: ITER Organization (Франція), Термоядерні реактори України і ЄС, Дослідницькі центри, в яких розв'язуються задачі керованого термоядерного синтезу.

Перспективні ринки: Швеція, Україна, США, Японія, країни ЄС .

Характер співробітництва з інвестором

Потрібний обсяг інвестицій, тис. грн.:

Права, що надаються інвестору після завершення роботи:

Наявність бізнес-плану:

Техніко-економічне обґрунтування:

Потенціальний обсяг продажу, тис. грн.:

Очікуваний термін окупності (років):

Додаткова інформація:

Назва НТП українською: Виявлено механізми утворення пилу під дією газової плазми.

Назва НТП англійською: Mechanisms of dust formation under the influence of gas plasma have been identified.

НТП, яку передбачалося створити: Створено

Причини, через які НТП не було створено:

Отримані результати: Методи, теорії, гіпотези

Галузь застосування: Реакторна техніка (73.10.0)

Реєстраційний номер картки технології:

Опис НТП: Досліджено пошкодження зразка вольфрамової 3D-друкованої капілярно-пористої структури (КПС) заповненої літієм під впливом потужних потоків плазми з параметрами наближеними до умов термоядерного реактора. Досліджено ерозію мішеней з вольфраму (W) з капілярною пористою структурою (КПС), заповнених літієм (Li), під дією перехідних плазмових навантажень в КСПП X-50. Плазмові імпульси ($t \sim 0,25$ мс, $q \sim 3$ МДж/м²). Встановлено, що при опроміненні з енергією ($< 1,2$ МДж/м²) веде лише до незначного викидання частинок (продуктів ерозії). Збільшення навантаження призводило до значного викиду частинок зі швидкістю до 33 м/с. При похилому опроміненні виявлена істотна ерозія переднього краю.

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

Вплив НТП на довкілля:

Впровадження НТП: Не впроваджено

Практична реалізація НТП

Початок етапу: 07.2025

Закінчення етапу: 12.2025

Споживачі продукції: ITER Organization (Франція), Термоядерні реактори України і ЄС. Дослідницькі центри, в яких розв'язуються задачі керованого термоядерного синтезу.

Перспективні ринки:

Характер співробітництва з інвестором

Потрібний обсяг інвестицій, тис. грн.:

Права, що надаються інвестору після завершення роботи:

Наявність бізнес-плану:

Техніко-економічне обґрунтування:

Потенціальний обсяг продажу, тис. грн.:

Очікуваний термін окупності (років):

Додаткова інформація:

IX. Бібліографічний опис

1. V.A. Makhlai, I.E. Garkusha, S.V. Malykhin, S.S. Herashchenko, O.V. Manuilenko, B.V. Zajtsev, I.N. Onishchenko, Yu.V. Petrov, K.V. Pavlii, D.V. Yelisyeyev, P.B. Shevchuk, Yu.Ye. Volkova, N.V. Kulik, Yu.V. Siromolot, S.V. Surovitskiy, M. Wirtz Irradiation of sintered tungsten samples with Combined helium ion beam and high-heat fluxes of QSPA hydrogen plasma// Problems of Atomic Science and Technology. 2025. №1(155) p. 75-78
<https://doi.org/10.46813/2025-155-075>
2. Characterization of W production during ICRF operations: experiments and modeling G. Urbanczyk, R. Ochoukov, V. Bobkov, S. Shiraiwa, R. Bilato, N. Bertelli, W. Tierens, L. Colas, R. Dux, M. Dreval, L.F. Lu, W. Helou // Nuclear Fusion 2025, vol. 65, p. 046018 <https://doi.org/10.1088/1741-4326/adbd52>
3. Vadym Makhlai, Igor Garkusha, Yuliia Volkova, Stanislav Herashchenko, Yurii Petrov, Dmytro Yelisyeyev, Pavel Shevchuk, Thomas Morgan Erosion and Modification of Tungsten Surfaces Under Sequential Steady-State and High Heat Fluxes Transient Plasma Impacts // Proc. 20th International Conference on Plasma-Facing Materials and Components for Fusion Applications, 19–23 May 2025 Ljubljana, Slovenia 19 - 22, 2025, P. 101
<https://zenodo.org/api/records/15395013/files-archive>
4. Yurii Martsenuik, Yurii Kovtun, Serhii Maznichenko, Oleksandr Krasiuk, Oleksandr Yevsiukov, Demian Baron, Mykhailo Makhov, Anatolii Shapoval, Volodymyr Moiseenko, Valerii Korovin. Upgrade glow discharge cleaning system on the Uragan-2M stellarator. 51st EPS Conference on Plasma Physics, Vilnius, Lithuania, 7 – 11 July, 2025. 2 P 110. https://lac913.epfl.ch/epsppd3/2025/html/PDF/P2_110.pdf
5. Yu.S. Kulyk, Yu.V. Kovtun, V.E. Moiseenko, Yu.P. Martseniuk, T. Stange, A. Knieps, D. Naujoks, C.P. Dhard, A. Gorlaev, G. Schlisio, K.J. Brunner, H. Laqua, M. Jakubowski, S. Brezinsek and the W7-X Team. Ultrashort pulse series of electron cyclotron resonance heating for wall conditioning at Wendelstein 7-X. 51st EPS Conference on Plasma Physics, Vilnius, Lithuania, 7 – 11 July, 2025. P5. 254. https://lac913.epfl.ch/epsppd3/2025/html/PDF/P5_254.pdf
6. В.О. Махлай, І.Є. Гаркуша, Ю.Є. Волкова, С.С. Геращенко, Ю.В. Петров, Д.В. Єлісєєв, П.Б. Шевчук, Ю.В. Сіромолот, С.В. Малихін, С.В. Суровицький, Т. Морган. Ерозія та модифікація вольфрамових поверхонь під дією послідовних стаціонарних та імпульсних потужних плазмових потоків, VII Міжнародна конференція "Високочисті Матеріали: Отримання, Застосування, Властивості" 15-17 вересня 2025р. Харків, Україна Матеріали тез доповідей, С. 64 https://www.kipt.kharkov.ua/conferences/2025/materials_7_2025.p
7. I.E. Garkusha, V.A. Makhlai, S.S. Herashchenko 1, Yu.V. Petrov 1, Y.E. Volkova, N.V. Kulik 1, D.V. Yelisyeyev, P.B. Shevchuk 1, Yu. V. Siromolot, T.W. Morgan Performance of Li- and Sn-filled CPS targets under the transient plasma loads in QSPA// Proc. 30th IAEA Fusion Energy Conference (IAEA FEC 2025) Oct 13 – 18, 2025 Tianfu International Convention Center, China <https://conferences.iaea.org/event/392/contributions/36438/>
8. V.A. Makhlai, I.E. Garkusha, S.S. Herashchenko, Y.E. Volkova, Yu.V. Petrov, D. V. Yelisyeyev, P.B. Shevchuk, Yu.V. Siromolot, T.W. Morgan The damaging and erosion of Li-CPS structure under transient plasma loads V.A. Makhlai, I.E. Garkusha, S.S. Herashchenko, Y.E. Volkova, Yu.V. Petrov, D. V. Yelisyeyev, P.B. Shevchuk, Yu.V. Siromolot, T.W. Morgan // Proc. XXI International Scientific Conference Electronics And Applied Physics – APHYS 2025 October, 21-24, 2025, Kyiv, Ukraine <http://aphys.knu>

Х. Заключні відомості

Керівник юридичної особи

Азаренков Микола Олексійович

д. ф.-м. н., 01.04.08

Перелік осіб-виконавців

Волкова Юлія Євгенівна

(д.філософ, 105)

Геращенко Станіслав Сергійович

Древаль Микола Борисович

(к. ф.-м. н., старший науковий співробітник, 01.04.08)

Ковтун Юрій Вікторович

(к. ф.-м. н., с.д., 01.04.08)

Кулик Юлія Сергіївна

(к. ф.-м. н., 01.04.08)

Мазніченко Сергій Михайлович

Марценюк Юрій Павлович

(д.філософ, 104)

Махлай Вадим Олександрович

(к. ф.-м. н., старший науковий співробітник, 01.04.08)

Павліченко Ростислав Олегович

(к. ф.-м. н., старший науковий співробітник, 01.04.08)

Відповідальний за підготовку

ННЦ ХФТІ ОКД

облікових документів

Телефон

097 686 3244

Реєстратор

Юрченко Тетяна Анатоліївна

**Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є
відповідальним за реєстрацію наукової
діяльності**



Юрченко Тетяна Анатоліївна