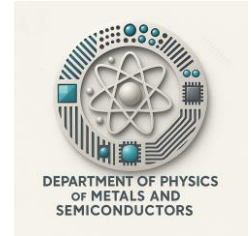




Силабус освітнього компонента

Програма навчальної дисципліни

Плазмова та радіаційна поверхнева взаємодія матеріалів в екстремальних умовах



Шифр та назва спеціальності

Е6 – Прикладна фізика та наноматеріали

Інститут

ННІ Комп'ютерного моделювання, прикладної фізики та математики

Освітня програма

Прикладна фізика наноматеріалів і радіотехнологій

Кафедра

Фізики металів та напівпровідників (165)

Рівень освіти

Магістр

Тип дисципліни

Вибіркова, професійної підготовки

Семестр

2

Мова викладання

Українська

Викладачі, розробники



Малихін Сергій Володимирович

I Seryii.Malykhin@khti.edu.ua

Доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри фізики металів та напівпровідників НТУ «ХПІ».

Досвід роботи – 40 років.

Автор понад 150 наукових та навчально-методичних праць.

Провідний лектор з дисциплін: «Матеріали атомної енергетики», «Матеріали в екстремальних умовах», «Дифракційні методи вивчення дефектної структури»

[Детальніше про викладача на сайті кафедри](#)



Махлай Вадим Олександрович

makhlay@khti.kharkov.ua

Кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу Плазмодинаміки ННЦ Харківський фізико-технічний інститут

Досвід роботи 30 років

Автор понад 270 наукових праць

Детальніше про наукову діяльність

<https://old.nas.gov.ua/UA/Department/Pages/default.aspx?DepartmentID=0001538>

<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6507538564>

<https://www.webofscience.com/wos/author/record/ABB-6211-2021>

Загальна інформація

Анотація

Дисципліна спрямована на здобуття теоретичних знань, умінь та навичок достатніх для продукування нових ідей та розв'язання наукових проблем у галузі експериментальних досліджень еволюції морфології поверхні та структурно-напруженого стану конструкційних матеріалів першої стінки та вольфраму дивертора термоядерного реактора, а також матеріалів елементів та конструкцій ядерного реактора під впливом опромінення. Розглядаються сучасні проблеми стійкості матеріалів в умовах ядерної та термоядерної енергетики та складові та причини еволюції морфології поверхні, напруженого стану та параметрів тонкої кристалічної структури.

Мета та цілі дисципліни

Виробити у магістрантів теоретичні уявлення та практичні навички щодо процесів та наслідків радіаційної та плазмової взаємодії, а також модифікації структури і властивостей твердих тіл при опроміненні їх потоками часток та плазми, оволодіти сучасними методиками вивчення структурного стану та узагальнення отриманих результатів в процесі наукової роботи.

Формат занять

Лекції, самостійна робота, консультації. Підсумковий контроль – залік.

Компетентності

ЗК01. Здатність реалізувати свої права і обов'язки як члена суспільства, усвідомлювати цінності громадянського (демократичного) суспільства та необхідність його сталого розвитку, верховенства права, прав і свобод людини і громадянина в Україні
ЗК03. Здатність до абстрактного мислення, аналізу, синтезу.
ЗК04. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях
ЗК05. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.
ЗК09. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

Результати навчання

ПК-1. Здатність до організації та проведення наукових досліджень в області фізики конденсованого стану із залученням сучасних методів та інформаційних технологій, що мають теоретичне та практичне значення
ПК-2. Здатність розробляти проекти по дослідженню поведінки матеріалів в умовах інтенсивного радіаційного та теплового впливу
ПК-3. Здатність розробити та проектувати заходи безпеки навколишнього середовища від шкідливого впливу виробничих процесів
ПКс-4. Готовність до викладацької діяльності в межах спеціальності «Прикладна фізика та наноматеріали

Обсяг дисципліни

Загальний обсяг дисципліни 120 год.: лекції – 32 год, практичні заняття - 16 год., самостійна робота – 72 год.

Передумови вивчення дисципліни (пререквізити)

«Матеріали для атомної і термоядерної енергетики»

Особливості дисципліни, методи та технології навчання

Лекції проводяться інтерактивно з використанням мультимедійних технологій. На практичних заняттях використовується проектний підхід до навчання, ігрові методи,

Програма навчальної дисципліни

Теми лекційних занять

Тема 1. Матеріалознавчі проблеми в ядерній та термоядерній енергетиці

1. Розвиток ядерно-енергетичного комплексу в Україні
2. Інтернаціональний термоядерний експериментальний реактор
3. Вибір оптимального «набору» конструкційних матеріалів для кожного з вузлів та систем реактора

Тема 2. Фізика плазми, як підрозділ фізики суцільних середовищ

1. Стійкість плазми в зовнішніх полях
2. Електричні, магнітні та оптичні властивості плазми
3. Утримання плазми в магнітних пастках; керований термоядерний синтез

Тема 3. Фізичні процеси при взаємодії потужних потоків плазми з поверхнею твердих тіл

1. Основні фактори радіаційної ерозії конструкційних матеріалів в умовах значних корпускулярно-енергетичних навантажень
2. Критерії вибору матеріалів дивертора ТЯР та напрями дослідження
3. Стійкість матеріалів першої стінки та дивертора ТЯР в умовах значних корпускулярно-енергетичних навантажень
4. Модифікація структури та властивостей поверхневих шарів твердих тіл при опроміненні імпульсними плазмовими потоками

Тема 4. Фізичні процеси в поверхні твердих тіл при взаємодії з потужними потоками плазми

Основні чинники радіаційної ерозії конструкційних матеріалів в умовах значних корпускулярно-енергетичних навантажень.

Механізми розпорошення

Дугоутворення, катодні плями

Нагрівання, імпульсне нагрівання

Плавлення, випарування

Механізми гальмування

Акумуляція гелію та водню

Радіаційне опромінення та структурні зміни

Тема 5. Сучасні методики вивчення структурного стану

1. Класифікація дефектів по М.Я. Кривоглаза.
2. Вивчення залишкових напружень в матеріалах із різною структурою та текстурою.
3. Період решітки в ненапруженому стані та характеристики структури, субструктури.
4. Дослідження напружень в ковзної геометрії.

Тема 6. Особливості стимульованих змін у зразках вольфраму в умовах циклічних плазмових навантажень типу ELM

1. Механізми радіаційної ерозії при опроміненні
2. Радіаційна ерозія при корпускулярно-енергетичних навантаженнях, типових для зриву струму в токамаке-реакторі ІТЕР
3. Структура опромінених поверхонь.
4. Вплив імпульсного плазмового навантаження на процеси структурних змін та ерозії W та WTa5

Тема 7. Розтріскування зразків вольфраму в умовах циклічних плазмових навантажень типу ELM

1. Залежність процесу розтріскування від параметрів плазмового навантаження та температури зразка.
2. Зв'язок процесу розтріскування з накопиченням та розвитком внутрішніх залишкових напружень.
3. Особливості стимульованих змін напруженого стану поверхні пластин вольфраму в умовах циклічних плазмових навантажень типу ELM
5. Змінення характеристик субструктури вольфрамових зразків опромінених водневою плазмою

6. Механізм зародження тріщин у високочистому вольфрамі під дією інтенсивних потоків водневої плазми

Тема 8. Вплив плазових навантажень на структурний стан тонких покриттів

1. Поведінка вольфрамових покриттів на сталях першої стінки при опроміненні водневою плазмою
2. Стійкість квазікристалічних тонких покриттів під дією плазових навантажень

Теми практичних занять

Тема 1. Первинні процеси взаємодії частинок і випромінювання з твердим тілом

Нагрівання, імпульсне нагрівання, плавлення, випарування

Пружний та непружний механізми дефектоутворення в твердом тілі

Радіаційна пошкоджуваність металів, радіаційно-стимульовані процеси

Впорядкування сплавів, дифузія, фазові перетворення, розвиток пористості в опромінених матеріалах

Критерії вибору матеріалів, що контактуватиме з плазмою

Тема 2. Експериментальні установки і методики експериментів

Експериментальні установки та обладнання.

Квазістаціонарний потужнострумний плазовий прискорювач КСПП Х-50.

Стержневий інжектор IBIS

Імпульсний прискорювач плазми ІПУ.

Електронні пучки, іонні пучки

Лінійні пристрої (PSI-2, Magnum)

Методики вимірювання параметрів плазми, що впливає на поверхню.

Основні характеристики плазових навантажень на матеріали в експериментах на КСПП Х-50

Тема 3. Рентгено дифракційне вивчення стимульованих опроміненням плазмою змінень в структурі матеріалів дивертору та першої стінки

Методики дослідження напруженого стану в вольфрамових пластинах з різним типом та досконалістю текстури.

Методики вивчення характеристик субструктури та комплексів точкових дефектів.

Тема 4. Тонкі плівки, як модельний матеріал для радіаційного матеріалознавства

Особливості змінень структурного стану та напруженого стану вакуумних конденсатів при опроміненні іонами та під дією факторів відкритого космічного простору

Теми лабораторних робіт

Лабораторні роботи в рамках дисципліни не передбачені.

Самостійна робота

Енергетична незалежність України.

Оцінка глибини імпульсного теплового впливу, оцінка товщини розплавленого шару

Формування вторинних радіаційних дефектів

Способи підвищення точності дифракційних вимірювань

Механізми радіаційно-стимульованих процесів

Будова та робота сучасних ТОКОМАКів.

Модифікація структури і властивостей поверхневих шарів твердих тіл при опроміненні імпульсними плазовими потоками

Література та навчальні матеріали

Основна література

1. Krivoglaz M. A. Theory of X-Ray and Thermal Neutron Scattering by Real Crystals, Springer-Verlag New York Inc., 1969, 405 p.

2. Warren B.E. X-Ray diffraction. -New York: Dover publication.- 1969.-393 p.
3. Noyan I.C., Cohen I.B. Residual Stress.- Springer-Verlag, New York, 1987.-274 p.
4. R. Behrisch Plasma Facing Materials for Fusion Devices // Journal of surface investigation. x-ray, synchrotron and neutron techniques Vol. 4 p. 549–562 (2010)
5. R. Behrisch First-wall erosion in fusion reactors // Nuclear fusion.- 12 (1972) p. 695-713
6. R. Behrisch Surface erosion from plasma materials interaction // Journal of Nuclear Materials.- 85 &86(1979), 1047-1061
7. G. Federici et al. Plasma–material interactions in current tokamaks and their implications for next step fusion reactors //Nuclear Fusion, Vol. 41, No. 12R (2001)P. 1967
8. Malykhin S. V. X-ray Methods for analysis of condensed films / Serhyi Malykhin, Igor Mikhailov, Svitlana Borisova // Transactions on Physics & Math in Engineering Science. Series A: Materials & Technology : coll. monograph / ed. by: Serhyi Malykhin. – Vol. 2. – Kharkiv : NTU “KhPI”, 2025. – 85 p.

Додаткова література

Система оцінювання

Критерії оцінювання успішності студента та розподіл балів

Опис структури підсумкової оцінки, обов'язкових завдань та процедури нарахування балів, особливо звертаючи увагу на самостійну роботу та індивідуальні завдання.

Шкала оцінювання

Сума балів	Національна оцінка	ECTS
90–100	Відмінно	A
82–89	Добре	B
75–81	Добре	C
64–74	Задовільно	D
60–63	Задовільно	E
35–59	Незадовільно (потрібне додаткове вивчення)	FX
1–34	Незадовільно (потрібне повторне вивчення)	F

Норми академічної етики і політика курсу

Студент повинен дотримуватися «Кодексу етики академічних взаємовідносин та доброчесності НТУ «ХПІ»: виявляти дисциплінованість, вихованість, доброзичливість, чесність, відповідальність. Конфліктні ситуації повинні відкрито обговорюватися в навчальних групах з викладачем, а при неможливості вирішення конфлікту – доводитися до відома співробітників дирекції інституту. Нормативно-правове забезпечення впровадження принципів академічної доброчесності НТУ «ХПІ» розміщено на сайті: <http://blogs.kpi.kharkov.ua/v2/nv/akademichna-dobrochesnist/>