

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР
«ХАРКІВСЬКИЙ ФІЗИКО-ТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Генеральний директор

Микола ШУЛЬГА

« 30 »

2022 р.



РОБОЧА ПРОГРАМА

навчальної дисципліни

Радіаційні пошкодження в речовині

Назва навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти

Доктор філософії

галузь знань

10 Природничі науки

спеціальність

104 -фізика та астрономія

освітня програма

освітньо-професійна програма «Фізика та астрономія»

спеціалізація

вид дисципліни

обов'язкова

Інститут

фізики високих енергій і ядерної фізики
ІНЦ ХФТІ

2022 / 2023 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження
Науково-технічною радою ННЦ ХФТІ

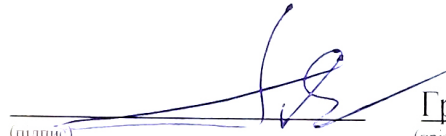
Від “ 29 ” 11 2022 року, протокол № 6

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:
к.ф-м.н., с.н.с. Є.В.Рудичев

Програму схвалено на засіданні Науково-технічної ради Інституту
фізики високих енергій і ядерної фізики

від “ 03 ” 08 2022 року, протокол № 3

Директор Інституту фізики високих енергій і ядерної фізики


(підпис) Григорій КОВАЛЕНКО
(прізвище та ініціали)

Програму погоджено з гарантом освітньо-професійної програми
«Фізика та астрономія»
назва освітньої програми

Гарант освітньо-професійної програми «Фізика та астрономія»


(підпис) Віктор ТКАЧЕНКО
(прізвище та ініціали)

Вступ

Дисципліна «Радіаційні пошкодження в речовині» є частиною професійної підготовки аспірантів за вибором ННЦ ХФТІ за напрямом 10 Природничі науки, за спеціальністю – 104 фізика і астрономія, яка викладається протягом другого року навчання.

1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

1.1. Метою дисципліни є вивчення ініційованих високоенергетичною радіацією процесів деградації та модифікування структури та властивостей матеріалів, а також формування нових структурних фаз та систем, зокрема нанорозмірних систем. Важливими складовими дисципліни є вивчення радіаційних методів отримання та еволюції під дією радіації нанорозмірних систем, радіаційно-стимульованих та радіаційно-індукованих процесів, що протікають у них, радіаційної стійкості нанорозмірних систем та їх практичного використання в наноелектроніці, аерокосмічній техніці, ядерній енергетиці. Базовими дисциплінами є: вища математика, загальна фізика, фізика конденсованого стану, квантова механіка, загальна та фізична хімія, теорія дефектів у твердих тілах, фізика напівпровідників, фізико-хімія наноструктурованих матеріалів, фізичні властивості об'ємних та наноструктурованих матеріалів.

1.2. Вимоги до рівня освоєння змісту дисципліни.

Вивчення дисципліни передбачає освоєння аспіратами фундаментальних основ радіаційного матеріалознавства, зокрема радіаційного матеріалознавства нанорозмірних систем, отримання знань про вплив різних видів високоенергетичних випромінювань на фізичні властивості та структуру матеріалів, у тому числі наноматеріалів, а також радіаційних методів створення нанорозмірних систем, еволюції, унікальних властивостей та радіаційної стійкості.

1.2.1. Формування інтегральних компетентностей.

Здатність продукувати нові ідеї, розв'язувати комплексні проблеми науково-дослідницької та інноваційної діяльності у сфері фізики, застосовувати методологію науково-дослідницької та педагогічної діяльності, а також проводити власне наукове дослідження, результати якого мають наукову новизну, теоретичне та практичне значення і застосування.

1.2.2. Формування наступних загальних компетентностей.

ЗК01. Здатність генерувати нові ідеї (креативність).

ЗК02. Здатність працювати в міжнародному контексті.

ЗК03. Здатність розв'язувати комплексні наукові проблеми на основі системного наукового світогляду та загального культурного кругозору із дотриманням професійної етики та академічної доброчесності.

1.2.3. Формування наступних спеціальних (фахових) компетентностей:

СК01. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми дослідницького характеру в сфері радіаційної фізики та фізики твердого тіла, інтегрувати знання з різних галузей, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень.

СК02. Здатність відстежувати тенденції розвитку радіаційної фізики та фізики твердого тіла, їх прикладних застосувань, критично переосмислювати наявні знання та методи фундаментальних та прикладних наукових досліджень.

СК03. Здатність представляти та обговорювати результати своєї науково-дослідницької роботи державною мовою, а також англійською мовою чи одною з офіційних мов Європейсько Союзу, в усній та у письмовій формі, опрацьовувати наукову літературу з фізики радіаційної фізики та фізики твердого тіла і ефективно використовувати нову інформацію з різних джерел.

СК04. Здатність організовувати та здійснювати науково-педагогічну діяльність у сфері радіаційної фізики та фізики твердого тіла.

СК05. Здатність ініціювати, розробляти та реалізовувати науково-дослідницькі, розробницькі та інноваційні проекти у сфері радіаційної фізики та фізики твердого тіла, планувати й організовувати роботу науково-дослідницьких, розробницьких та інноваційних колективів.

СК06. Здатність застосовувати сучасні методи, методики, технології, інструменти та обладнання для проведення прикладних та фундаментальних наукових досліджень у галузі фізики радіаційної фізики та фізики твердого тіла.

СК14. Компетентність у сфері радіаційного матеріалознавства.

СК24. Компетенція у сфері радіаційних пошкоджень в речовині.

1.3. Кількість кредитів – 4.

1.4. Загальна кількість годин – 120.

1.5. Характеристика навчальної дисципліни:

Опис навчальної дисципліни «Радіаційні пошкодження в речовині»

Галузь знань, напрям підготовки, спеціальність, освітньо-кваліфікаційний рівень	
Галузь знань	10 – Природничі науки
напрямок підготовки	104 – фізика та астрономія
спеціальність	
освітньо-кваліфікаційний рівень	Доктор філософії
Характеристика навчальної дисципліни	
Вид	Вибір ННЦ ХФТІ
Загальна кількість годин	120
Кількість кредитів ECTS	4

Кількість змістових модулів	3		
Форма контролю	іспит		
Показники навчальної дисципліни			
Рік підготовки	II		
Обсяг дисципліни та види навчальної роботи			
Вид навчальної роботи	Всього годин		
Загальна трудомісткість дисципліни	120		
Аудиторні заняття	50		
Лекції (Л)	32		
Практичні заняття (ПЗ)	16		
Семінари (С)	-		
Самостійна робота	70		
Консультація	2		
Реферат	-		
та (або) інші види самостійної роботи	-		
Вид підсумкового контролю (залік, іспит)	Іспит		

1.6. Заплановані результати навчання

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми здобувачі повинні:

РН01. Мати сучасні концептуальні та методологічні знання з радіаційної фізики та фізики твердого тіла та дотичних до них міждисциплінарних напрямів, а також необхідні навички, достатні для проведення фундаментальних і прикладних наукових досліджень з метою отримання нових знань та/або здійснення розробок та інновацій.

РН02. Вільно презентувати та обговорювати державною мовою, а також англійською мовою чи одною з офіційних мов Європейського Союзу, результати наукових досліджень, фундаментальні та прикладні проблеми радіаційної фізики та фізики твердого тіла, публікувати результати наукових досліджень у наукових виданнях, що індексуються у базах Scopus та WoS Core Collection.

РН03. Формулювати і перевіряти гіпотези; використовувати для обґрунтування висновків належні докази, зокрема, результати теоретичних і експериментальних досліджень, математичного моделювання, комп'ютерного експерименту, а також наявні літературні дані.

РН04. Розробляти моделі процесів і систем у радіаційній фізиці та фізиці твердого тіла та дотичних міждисциплінарних напрямках, використовувати їх у науково-дослідницькій діяльності для отримання нових знань та/або створення розробок та інноваційних продуктів.

РН05. Планувати і виконувати прикладні та/або фундаментальні дослідження з радіаційної фізики та фізики твердого тіла та дотичних міждисциплінарних напрямів з використанням сучасних методів, методик, технологій, інструментів та обладнання, з дотриманням норм академічної

етики, критично аналізувати результати наукових досліджень у контексті усього комплексу сучасних знань щодо досліджуваної проблеми; готувати проєктні пропозиції щодо фінансування наукових досліджень та/або розробницьких і інноваційних проєктів.

РН06. Застосовувати сучасні інструменти і технології пошуку, оброблення та аналізу інформації, зокрема, статистичні методи аналізу даних великого обсягу та/або складної структури, спеціалізовані бази даних та інформаційні системи.

РН07. Розробляти та реалізовувати наукові та/або інноваційні інженерні проєкти, які дають можливість переосмислити наявне та створити нове цілісне знання та/або професійну практику і розв'язувати значущі наукові та технологічні проблеми радіаційної фізики та фізики твердого тіла з врахуванням соціальних, економічних, екологічних та правових аспектів; управляти науковими проєктами.

РН08. Глибоко розуміти загальні принципи та методи природничих наук, а також методологію наукових досліджень, місце фізики в системі наукових знань як методологічної основи природничих, інженерних наук та технологій; застосовувати їх у власних дослідженнях у сфері радіаційної фізики та фізики твердого тіла та у викладацькій діяльності.

РН10. Організовувати освітній процес і проводити педагогічну діяльність у сфері радіаційної фізики та фізики твердого тіла, забезпечувати відповідне наукове, навчально- методичне та нормативне забезпечення.

Після вивчення курсу здобувач повинен знати:

- фундаментальні основи радіаційного матеріалознавства, зокрема радіаційного матеріалознавства нанорозмірних систем, отримання знань про вплив різних видів високоенергетичних випромінювань на фізичні властивості та структуру матеріалів, у тому числі наноматеріалів, а також радіаційних методів створення нанорозмірних систем, еволюції, унікальні властивості та радіаційна стійкість.

В результаті вивчення дисципліни аспірант повинен вміти:

- вибирати ту чи іншу теоретичну модель для опису фізичних процесів ядерних взаємодій;
- застосовувати потрібні теоретичні методи для розв'язування рівнянь в межах обраної моделі;
- аналізувати фізичний сенс отриманих розв'язків та давати фізичну інтерпретацію досліджуваних явищ;
- самостійно опановувати та використовувати літературу з радіаційної фізики та фізики твердого тіла;
- вміти написати статтю до журналу та доповідь на конференцію за результатами досліджень.

Контроль знань аспіранта здійснюється за модульно-рейтинговою системою. Змістовий модуль 1 включає теми 1–4, змістовий модуль 2 – теми 5–9.

2. ЗМІСТ ТА СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

2.1. Модулі дисципліни та види занять.

№ п /п	Розділ дисципліни	Лекції	Практичні заняття
1	Фізичні основи фізики радіаційних пошкоджень	10	-
2	Загальні питання радіаційного матеріалознавства	10	-
3	Радіаційне матеріалознавство низькорозмірних систем	12	-

2.2. Зміст розділів дисципліни

Модуль 1. Фізичні основи фізики радіаційних пошкоджень: 48 годин.

1.1. Введення. Радіаційне матеріалознавство як науково-технічний напрямок.

1.2. Види та джерела випромінювань.

1.2.1. Види випромінювань – корпускулярне, електромагнітне. Електрони, протони, іони, альфа-, бета-частинки, гамма-кванти, нейтрони та ін. Характеристики випромінювань: енергія, флюєнс, потік, щільність потоку, доза та ін. Хвильові властивості частинок. Потенціал та енергія іонізації. Радіоактивні ізотопи. Характеристики радіоактивних ізотопів. Спектр випромінювання. Період напіврозпаду.

1.2.2. Джерела випромінювань. Прискорювачі. Ізотопні джерела – природні та штучні. Ядерні реакції в атомному та термоядерному реакторі. Радіаційні пояси Землі – природні та штучні. Космічні промені. Ядерні вибухи.

1.2.3. Методи реєстрації випромінювань. Фотоядерні методи. Іонізаційні, іскрові, сцинтиляційні, напівпровідникові лічильники. Загальне уявлення про спектроскопію випромінювань.

1.3. Поглинання випромінювання речовиною. Фізична природа взаємодії нейтронного, протонного, електронного та інших видів випромінювань з твердими тілами. Пружна та непружна взаємодія. Питомі енергетичні втрати. Ефективні перерізи пружних та непружних взаємодій. Ефективні перерізи взаємодії високоенергетичних електронів із речовиною. Фотоядерні реакції. Потенціали взаємодії. Експериментальні виміри енергетичних втрат. Поглинання випромінювань кристалами. Особливості поглинання високоенергетичних нейтральних важких частинок. Загальний теоретичний розгляд траєкторій під час зіткнення. Глибина проникнення для різних високоенергетичних частинок. Концепція проектного пробігу прискорених частинок. Ефект каналування заряджених частинок у кристалах. Ефект блокування (тіней). Каналування за низьких енергій первинних частинок. Каналування при високих енергіях. Класична та квантова теорії каналування. Деканалізація високоенергетичних частинок. Прикладне використання

ефектів каналування та блокування для вивчення структури та розташування чужорідних атомів, тетрагональності кристалічних ґрат і т. д. Непружні процеси поглинання випромінювань речовиною. Ядерні реакції. Ядерні реакції при впливі на речовину легких заряджених частинок. Ядерні реакції при впливі на речовину нейтронів. Розподіл первинних атомів віддачі.

1.4. Утворення дефектів у кристалічних твердих тілах за впливом випромінювань різних видів.

1.4.1. Будова реального кристалу. Термодинаміка дефектоутворення. Класифікація дефектів. Номенклатура дефектів. Точкові дефекти. Вакансії. Дефекти вкорінення. Дефекти в йонних кристалах. Дефекти за Шотткі. Дефекти за Френкелем. Електрони та дірки. Дислокації. Інші типи дефектів.

1.4.2. Елементарні процеси утворення радіаційних точкових дефектів у кристалах. Порогова енергія утворення пар Френкеля. Анізотропія енергії утворення пари Френкеля. Радіуси спонтанної анігіляції вакансій та міждоузельних атомів. Рекомбінаційний об'єм. Атомні усунення поблизу порога утворення точкових дефектів (підпорогові ефекти). Перетин дефектоутворення. Каскади зіткнень. Елементарна теорія каскадів зіткнень. Визначення первинної енергії атомів віддачі. Каскади зіткнень при високих та низьких енергіях. Ефект фокусування атомних зіткнень. Фокусування атомних зіткнень у ГЦК та ОЦК кристалах. Будова каскаду зміщень. Збіднені зони. Розрахунок числа зміщених атомів у каскаді зміщень. Визначення числа дефектів, що вводяться різними видами випромінювань. Каскадне перемішування. Відпал радіаційних дефектів у кристалах. Стадії відпалу та його природа. Утворення каскадів зсувів при фотоядерних реакціях. Теплові піки. Експериментальне дослідження каскадів усунення. Роль непружних процесів при нейтронному, протонному, електронному опроміненні в дефектоутворення кристалах. Уламки розподілу. Трасмутанти. Визначення концентрації трансмутантів.

1.5. Радіаційно-індуковані та радіаційно-стимульовані процеси в металевих та напівпровідникових матеріалах. Радіаційно-індукована сегрегація компонентів у опромінених сплавах. Радіаційно-індуковані та радіаційно-стимульовані фазові перетворення у сплавах. Радіаційно-стимульована дифузія. Взаємодія радіаційних дефектів з дислокаціями та атомами домішок. Дислокації як стоки міждоузельних атомів та вакансій. Преференс. Домішні атмосфери. Радіаційно-стимульовані процеси у напівпровідникових матеріалах.

1.6. Взаємодія імпульсних випромінювань із речовиною. Взаємодія лазерного випромінювання із речовиною. Зміна структури та властивостей матеріалів при лазерному впливі в режимах вільної генерації та модульованої добротності. Вплив високоенергетичних імпульсів плазми на властивості матеріалів. Взаємодія надтвердого рентгенівського випромінювання з речовиною. Модифікація поверхонь шарів імпульсними радіаційними потоками та випромінюванням.

1.7. Радіаційний блістеринг у матеріалах. Залежність ступеня ерозії поверхні при розпиленні та блістерингу від енергії частинок, флюєнсу, температури та інших факторів. Вплив поверхневої структури матеріалу на блістеринг. Розпилення матеріалів під впливом високоенергетичних нейтронів. Способи підвищення стійкості матеріалів по відношенню до розпилення та блістерингу.

1.8. Взаємодія імпульсних випромінювань із речовиною. Взаємодія лазерного випромінювання із речовиною. Зміна структури та властивостей матеріалів при лазерному впливі в режимах вільної генерації та модульованої добротності. Вплив високоенергетичних імпульсів плазми на властивості матеріалів. Взаємодія надтвердого рентгенівського випромінювання з речовиною.

Модуль 2. Загальні питання радіаційного матеріалознавства: 12 годин.

2.1. Вплив високоенергетичних випромінювань на об'ємні фізичні властивості неорганічних матеріалів. Вплив електронного, протонного, нейтронного випромінювань, реакторного опромінення, випромінювань радіаційних поясів Землі на електричні властивості металів, напівпровідників, ізоляторів. Радіаційно-стимульована зміна електричних властивостей резисторних матеріалів. Вплив електронного, протонного, нейтронного випромінювань на надпровідні матеріали, зміна температури переходу у надпровідний стан. Вплив випромінювань на опір ізоляційних матеріалів. Зміна електричних властивостей напівпровідників та напівпровідникових з'єднань при впливі випромінювань. Зміна магнітних властивостей матеріалів під впливом випромінювань. Зміна механічних властивостей конструкційних та функціональних матеріалів космічної та атомної техніки під впливом електронного та протонного випромінювань.

2.2. Вплив високоенергетичних випромінювань на структуру металевих та напівпровідникових матеріалів. Радіаційно-стимульовані структурно-фазові перетворення у конструкційних та функціональних матеріалах космічної та атомної техніки. Вплив нейтронного, електронного і протонного випромінювань на структуру сплавів на основі алюмінію, магнію, міді, нікелю, заліза, ванадію та ін. Потіючі самовідновлюються при опроміненні алюміній-літійові та алюміній-мідні сплави. Радіаційно-стимульовані кристалохімічні процеси у напівпровідникових матеріалах.

2.3. Радіаційна стійкість конструкційних матеріалів атомної та термоядерної енергетики. Окрихчування конструкційних матеріалів при нейтронному опроміненні. Низькотемпературне та високотемпературне окрихчування. Способи придушення радіаційного окрихчування легуванням та пластичною деформацією. Основні вимоги до матеріалів для ядерних та термоядерних реакторів. Радіаційне розпухання та методи його придушення. Поверхнева радіаційна стійкість матеріалів термоядерної енергетики. Розпилення та блістеринг, способи їх придушення. Захисні покриття, що застосовуються на

першій стінці термоядерного реактора; матеріали захисних покриттів (графіти, пірографіти, карбіди та ін.). Способи нанесення захисних покриттів. Матеріали для дивертора токамака.

Матеріали ізотопних джерел. Проблема створення малоактивованих матеріалів (матеріалів зі швидким спадом наведеної радіоактивності) для використання в конструкціях атомної та термоядерної енергетики.

2.4. Радіаційна стійкість матеріалів космічної техніки. Радіаційна стійкість конструкційних матеріалів космічної техніки та матеріалів радіоелектронної апаратури. Фізичне та хімічне розпилення поверхні космічних апаратів під дією кисневої плазми, протонного та метеорного потоків, прискорених частинок власної атмосфери. Радіаційна стійкість оптичних та терморегулюючих покриттів космічних апаратів. Радіаційна стійкість кремнієвих сонячних батарей. Радіаційна стійкість полімерних матеріалів. Радіаційна стійкість графіту. Радіаційна стійкість скла. Накопичення електростатичного заряду на поверхні космічних апаратів та способи боротьби з цим явищем.

2.5. Радіаційна стійкість матеріалів електронної техніки. Радіаційна стійкість металевих матеріалів електровакуумних приладів та елементів електронних схем. Радіаційна стійкість керамічних матеріалів. Радіаційна стійкість ізоляційних матеріалів. Радіаційна стійкість графітів та карбідних матеріалів. Радіаційна стійкість скла. Радіаційна стійкість полімерних матеріалів. Радіаційна стійкість магнітних матеріалів.

2.6. Радіаційна обробка та модифікація матеріалів. Іонне легування та його застосування у машинобудуванні, електронній техніці, хімічній та інших галузях промисловості. Радіаційне легування. Використання ядерних реакцій для легування напівпровідникових матеріалів. Радіаційна обробка металевих, напівпровідникових та діелектричних матеріалів з метою їх модифікування та надання їм спеціальних властивостей.

Модуль 3. Радіаційне матеріалознавство низькорозмірних систем: 60 годин.

3.1. Загальна характеристика низькорозмірних систем.

3.2. Радіаційні методи одержання низькорозмірних систем.

3.2.1. Іонний синтез. Особливості процесу іонного синтезу, необхідні режими (енергія іонів, дози імплантації, орієнтаційні умови опромінення, розподіл пробігів імплантованих іонів, фотонічний імпульсний відрадіс фоторади). Іонний синтез сполук A_3B_5 у кремнієвій матриці. Іонний синтез шарів перехідних металів у кремнії. Створення методом іонного синтезу наноструктур для тривимірної наноелектроніки.

3.2.2. Іонне розпилення. Формування нанорозмірних структур під час іонного розпилення поверхні напівпровідників. Теоретичні моделі методу (моделі, засновані на розподілі енергії за Гауссом; моделювання розпилення методом Монте-Карло; уточнення розподілу енергії, що поглинається). Розпилення підкладок, що обертаються. Вплив параметрів опромінення на особливості формування нанорозмірних структур при іонному розпиленні підкладок

(варіація напруги, що прискорює, кута падіння іонів). Морфологія поверхні при іонному розпорошенні.

3.2.3. Лазерне опромінення. Формування фулеренів при лазерному випаровуванні графітів. Одержання вуглецевих нанотрубок при термічному розпиленні графіту лазерним опроміненням. Використання імпульсних лазерних методів для одержання наноструктур. Ударно-хвильовий синтез нанокластерів під впливом на метали лазерних гігантських імпульсів.

3.2.4. Плазмові методи в технології створення нанорозмірних структур. Плазмові методи створення поверхневих періодичних наноструктур. Специфіка використовуваного плазмового устаткування. Технологічні проблеми забезпечення створення періодичних нанорозмірних структур. Плазмохімічний синтез нанокристалів Особливості травлення діелектричних шарів субмікронних наноструктур.

3.2.5. Формування нанорозмірних фаз у металевих та напівпровідникових матеріалах при опроміненні багатокомпонентними пучками іонів. Іонно-імплантаційна технологія синтезування в металевій матриці (алюмінієві сплави, нержавіючі сталі та ін.) в умовах низькодозного і низькотемпературного опромінення монодисперсної нанорозмірної надтвердої карбонвтридної фази (наприклад, карбонітрида бору при опроміненні іонами гелію, вугілля з метою отримання матеріалів з унікальними характеристиками міцності. Гелієві пори як центри зародження вторинних фаз. Синтезування нанокристалів у структурі опромінених газовими іонами (наприклад, іонами гелію) напівпровідникових матеріалів.

3.2.6. Використання ядерних мембран для матричного синтезу наноструктур. Ядерні фільтри, їх отримання та застосування в різних галузях науки та техніки. Використання ядерних мембран для створення нанодротів. Режими процесу створення нанодротів (енергія та щільність потоку важких іонів при опроміненні полімерних плівок, особливості травлення полімерних плівок, електролізу та заповнення нанопор різними металами), структура нанодротів, створених матричним синтезом, їх властивості та галузі застосування.

3.3. Радіаційні методи аналізу нанорозмірних систем.

Використання синхротронного випромінювання для аналізу нанорозмірних структур. Дослідження нанорозмірних систем методом електрон-позитронної анігіляції.

3.4. Радіаційно-пучкові методи нанолітографії. Електронно-променева літографія – принципи, обладнання, режими. Іонна літографія – іонна проєкційна літографія та іонно-променева літографія, принципи, обладнання та використання в нанотехнологіях Літографічно-індуковане самозбирання наноструктур (ЛІС). Використання екстремальної ультрафіолетової літографії для створення наночипів розмірами 10-100 нм при виготовленні ультравеликих інтегральних схем.

3.5. Радіаційно-стимульовані та радіаційно-індуковані процеси в нанорозмірних системах.

3.5.1. Ефект самоорганізації наноструктур, створених методом іонного синтезу, механізми самоорганізації. Самоорганізація, що зумовлена накопиченням радіаційних дефектів. Самоорганізація та нестабільність дефектної системи у напівпровідниках під опроміненням. Формування надграт у розподілі щільності дефектів при опроміненні бінарних сполук. Порівняння особливостей самоорганізації у напівпровідниках та металах.

3.5.2. Формування квантових точок та квантових дрітків, створених радіаційними методами, моделі їх формування. Форма та впорядкування квантових точок.

3.6. Фрактальні нанорозмірні структури. Концепція фрактал. Фрактальна розмірність, методи визначення. Концепція фрактального кластера. Властивості фрактальних кластерів. Одержання фрактальних наноструктур (ниток) при опроміненні лазерними, електронними та іонними пучками металевих поверхонь. Режими процесу одержання. Будова та властивості фрактальних ниток. Нанорозмірні плівки міді із фрактальною структурою. Механізми формування фрактальних структур у мікро- та нанотехнології. Фрактальний аналіз самоорганізованих напівпровідникових структур.

3.7. Радіаційна стійкість нанорозмірних систем. Радіаційна стійкість кристалів із квантовими точками. Радіаційна стійкість напівпровідникових з'єднань АЗВ5 для фотоелектроніки нанорозмірної.

3.8. Нанорозмірні системи наноелектроніки, отримані радіаційними методами.

3.8.1. Одержання квантових точок у плівках SiO_2 з монокристалічного кремнію при іонній імплантації. Оптичні та люмінесцентні властивості опромінених плівок SiO_2 .

3.8.2. Самоорганізовані квантові точки Si-Ge, які отримують методом іонного синтезу. Властивості самоорганізованих SiGe – наноструктур; механізм в'язкого перебігу матеріалу за наявності радіаційних дефектів.

Енергозалежна пам'ять на нанокристалах, синтезованих іонними пучками. Використання похованих шарів нанокристалів, створених іонним синтезом, для зберігання заряду у флеш-пам'яті.

3.8.3. Особливості дісиліциду кобальту як кращого матеріалу серед силіцидів для наноелектроніки (висока провідність, висока температурна стабільність, гарна сполучність з ґратами кремнію). Наноструктуровані шари дісиліциду кобальту в кремнії, що утворюються під час бомбардування кремнію іонами кобальту та впровадження іонів кобальту в кремнієву підкладку. Самоорганізовані та самоподібні нанорозмірні структури із силіциду кобальту в кремнії, отримані іонним синтезом. Фрактальний аналіз структур. Квантові дроти та квантові точки дісиліциду кобальту, отримані іонним синтезом, їх застосування в ультравеликих інтегральних схемах, біполярних транзисторах та ін.

3.9. Наноматеріали для захисту від електромагнітного випромінювання. Створення тонкошарових покриттів із наноструктурами заданого типу для поглинання або відображення електромагнітного випромінювання

(лазерного, мікрохвильового та ін.) заданої частоти. Нанокристали з радіаційно-захисними властивостями, поглиначі електромагнітного випромінювання. Наноструктурні матеріали (плівки TiNi, TiB₂ та ін.) для захисних екранів електромагнітного випромінювання.

3.10. Наноматеріали для аерокосмічної та ракетно-космічної техніки. Композиційні наноматеріали (на основі TiN/MoS₂, TiB₂/MoS₂, WC/аморфний вуглець / WS₂ та ін.) для аерокосмічної техніки – одержання магнетронним або лазерним опроміненням та властивості. Модифікація наночастинками полімерних матеріалів, призначених для використання у космічній техніці. Наноматеріали в ракетно-космічній техніці, їх фізико-хімічні властивості та радіаційна стійкість. Створення нанопокриттів для сонячних панелей із високим к. п.д.

3.11. Наноматеріали для ядерної енергетики Модифікація матеріалів відбивачів та розмножувачів нейтронів наночастинками. Пористий берилій, модифікований нанокластерами, його властивості. Використання нанокристалічних матеріалів для створення малорозпухальних оболонкових та паливних матеріалів тепловиділяючих елементів ядерних реакторів.

2.3. План проведення лекційних занять

Кількість годин лекцій	Зміст розділів дисципліни
	1 семестр
2	Введення. Радіаційне матеріалознавство як науково-технічний напрямок. Види та джерела випромінювань. Види випромінювань – корпускулярне, електромагнітне. Електрони, протони, іони, альфа-, бета-частинки, гамма-кванти, нейтрони та ін. Характеристики випромінювань: енергія, флюєнс, потік, щільність потоку, доза та ін. Хвильові властивості частинок. Потенціал та енергія іонізації. Радіоактивні ізотопи. Характеристики радіоактивних ізотопів. Спектр випромінювання. Період напіврозпаду.
4	Джерела випромінювань. Прискорювачі. Ізотопні джерела – природні та штучні. Ядерні реакції в атомному та термоядерному реакторі. Радіаційні пояси Землі – природні та штучні. Космічні промені. Ядерні вибухи. Методи реєстрації випромінювань. Фотоядерні методи. Іонізаційні, іскрові, сцинтиляційні, напівпровідникові лічильники. Загальне уявлення про спектроскопію випромінювань.
2	Поглинання випромінювання речовиною. Фізична природа взаємодії нейтронного, протонного, електронного та інших видів випромінювань з твердими тілами. Пружна та непружна

	взаємодія. Питомі енергетичні втрати. Ефективні перерізи пружних та непружних взаємодій. Ефективні перерізи взаємодії високоенергетичних електронів із речовиною. Фотоядерні реакції.
2	Потенціали взаємодії. Експериментальні виміри енергетичних втрат. Поглинання випромінювань кристалами. Особливості поглинання високоенергетичних нейтральних важких частинок.
4	Загальний теоретичний розгляд траєкторій під час зіткнення. Глибина проникнення для різних високоенергетичних частинок. Концепція проектного пробігу прискорених частинок. Ефект каналування заряджених частинок у кристалах. Ефект блокування (тіней). Каналування за низьких енергій первинних частинок. Каналування при високих енергіях. Класична та квантова теорії каналування. Деканалізація високоенергетичних частинок. Прикладне використання ефектів каналування та блокування для вивчення структури та розташування чужорідних атомів, тетрагональності кристалічних ґрат і т. д.
4	Непружні процеси поглинання випромінювань речовиною. Ядерні реакції. Ядерні реакції при впливі на речовину легких заряджених частинок. Ядерні реакції при впливі на речовину нейтронів. Розподіл первинних атомів віддачі.
2	Будова реального кристалу. Термодинаміка дефектоутворення. Класифікація дефектів. Номенклатура дефектів. Точкові дефекти. Вакансії. Дефекти вкорінення. Дефекти в йонних кристалах. Дефекти за Шотткі. Дефекти за Френкелем. Електрони та дірки. Дислокації. Інші типи дефектів.
4	Утворення дефектів у кристалічних твердих тілах за впливом випромінювань різних видів. Елементарні процеси утворення радіаційних точкових дефектів у кристалах. Порогова енергія утворення пар Френкеля. Анізотропія енергії утворення пари Френкеля. Радіуси спонтанної анігіляції вакансій та міждоузельних атомів. Рекомбінаційний об'єм. Атомні усунення поблизу порога утворення точкових дефектів (підпорогові ефекти). Перетин дефектоутворення.
2	Каскади зіткнень. Елементарна теорія каскадів зіткнень. Визначення первинної енергії атомів віддачі. Каскади зіткнень при високих та низьких енергіях. Ефект фокусування атомних зіткнень. Фокусування атомних зіткнень у ГЦК та ОЦК кристалах. Будова каскаду зміщень. Збіднені зони.
2	Розрахунок числа зміщених атомів у каскаді зміщень. Визначення числа дефектів, що вводяться різними видами випромінювань. Каскадне перемішування. Відпал радіаційних дефектів у кристалах. Стадії відпалу та його природа. Утворення каскадів зсувів при фотоядерних реакціях. Теплові піки. Експериментальне дослідження каскадів усунення. Торренса-

	Робінсона-Норгетта.
2	Роль непружних процесів при нейтронному, протонному, електронному опроміненні в дефектоутворення кристалах. Уламки розподілу. Трасмутанти. Визначення концентрації трансмутантів.
4	Радіаційно-індуковані та радіаційно-стимульовані процеси в металевих та напівпровідникових матеріалах. Радіаційно-індукована сегрегація компонентів у опромінених сплавах.
4	Радіаційно-індуковані і радіаційно-стимульовані фазові перетворення у сплавах.
4	Радіаційно-індуковані та радіаційно-стимульовані фазові перетворення у сплавах. Радіаційно-стимульована дифузія. Взаємодія радіаційних дефектів з дислокаціями та атомами домішок. Дислокації як стоки міжвузельних атомів та вакансій. Преференс. Домішні атмосфери. Радіаційно-стимульовані процеси у напівпровідникових матеріалах. Закономірності та механізми радіаційної повзучості матеріалів.
2	Взаємодія імпульсних випромінювань із речовиною. Взаємодія лазерного випромінювання із речовиною. Зміна структури та властивостей матеріалів при лазерному впливі в режимах вільної генерації та модульованої добротності. Вплив високоенергетичних імпульсів плазми на властивості матеріалів. Взаємодія надтвердого рентгенівського випромінювання з речовиною. Модифікація поверхонь шарів імпульсними радіаційними потоками та випромінюванням
	2 мод
2	Радіаційний блістеринг у матеріалах. Залежність ступеня ерозії поверхні при розпиленні та блістерингу від енергії частинок, флюєнсу, температури та інших факторів. Вплив поверхневої структури матеріалу на блістеринг. Розпилення матеріалів під впливом високоенергетичних нейтронів. Способи підвищення стійкості матеріалів по відношенню до розпилення та блістерингу.
2	Фізичні принципи імітації одних видів випромінювань іншими. Прогнозування властивостей матеріалів. Загальні принципи машинної імітації радіаційних ушкоджень у кристалах. Імітація впливу швидких нейтронів високоенергетичними важкими іонами та електронами. Імітація за допомогою фотоядерних реакцій. Експериментальні методи імітації. Загальні методи прогнозування нагромадження радіаційних дефектів у кристалах залежно від реальних умов.
4	Радіаційна стійкість конструкційних матеріалів атомної та термоядерної енергетики. Окрихчування конструкційних матеріалів при нейтронному опроміненні. Низькотемпературне та високотемпературне окрихчування. Способи придушення

	радіаційного окрихчування легуванням та пластичною деформацією. Основні вимоги до матеріалів для ядерних та термоядерних реакторів. Радіаційне розпухання та методи його придушення. Поверхнева радіаційна стійкість матеріалів термоядерної енергетики. Розпилення та блістеринг, способи їх придушення. Захисні покриття, що застосовуються на першій стінці термоядерного реактора; матеріали захисних покриттів (графіти, пірографіти, карбіди та ін.). Способи нанесення захисних покриттів. Матеріали для дивертора токамака.
4	Матеріали ізотопних джерел. Проблема створення малоактивованих матеріалів (матеріалів зі швидким спадом наведеної радіоактивності) для використання в конструкціях атомної та термоядерної енергетики. Радіаційна стійкість матеріалів космічної техніки. Радіаційна стійкість конструкційних матеріалів космічної техніки та матеріалів радіоелектронної апаратури. Фізичне та хімічне розпилення поверхні космічних апаратів під дією кисневої плазми, протонного, метеорного потоків, прискорених частинок власної атмосфери. Радіаційна стійкість оптичних та терморегулюючих покриттів космічних апаратів. Радіаційна стійкість кремнієвих сонячних батарей. Радіаційна стійкість полімерних матеріалів.
2	Радіаційна стійкість графітів. Радіаційна стійкість скла. Накопичення електростатичного заряду на поверхні космічних апаратів та способи боротьби з цим явищем. Радіаційна стійкість матеріалів електронної техніки. Радіаційна стійкість металевих матеріалів електровакуумних приладів та елементів електронних схем. Радіаційна стійкість керамічних матеріалів. Радіаційна стійкість ізоляційних матеріалів. Радіаційна стійкість графітів та карбідних матеріалів. Радіаційна стійкість скла. Радіаційна стійкість полімерних матеріалів. Радіаційна стійкість магнітних матеріалів.
4	Радіаційна обробка та модифікація матеріалів. Іонне легування та його застосування у машинобудуванні, електронній техніці, хімічній та інших галузях промисловості. Радіаційне легування. Використання ядерних реакцій для легування напівпровідникових матеріалів. Радіаційна обробка металевих, напівпровідникових та діелектричних матеріалів з метою їх модифікування та надання їм спеціальних властивостей.
4	Загальна характеристика нанорозмірних систем. Радіаційні методи отримання нанорозмірних систем. Іонний синтез. Особливості процесу іонного синтезу, необхідні режими (енергія іонів, дози імплантації, орієнтаційні умови опромінення, розподіл пробігів імплантованих іонів,

	фотонічний імпульсний відрадіс фоторади). Іонний синтез сполук A_3B_5 у кремнієвій матриці. Іонний синтез шарів перехідних металів у кремнії. Створення методом іонного синтезу наноструктур тривимірної наноелектроніки.
2	Іонне розпилення. Формування нанорозмірних структур під час іонного розпилення поверхні напівпровідників. Теоретичні моделі методу (моделі, засновані на розподілі енергії за Гауссом; моделювання розпилення методом Монте-Карло; уточнення розподілу енергії, що поглинається). Розпилення підкладок, що обертаються. Вплив параметрів опромінення на особливості формування нанорозмірних структур при іонному розпиленні підкладок (варіація напруги, що прискорює, кута падіння іонів). Морфологія поверхні при іонному розпорошенні.
2	Лазерне опромінення. Формування фулеренів при лазерному випаровуванні графітів. Одержання вуглецевих нанотрубок при термічному розпиленні графіту лазерним опроміненням. Використання імпульсних лазерних методів для одержання наноструктур. Ударно-хвильовий синтез нанокластерів під впливом на метали лазерних гігантських імпульсів.
2	Плазмові методи у технології створення нанорозмірних структур. Плазмові методи створення поверхневих періодичних наноструктур Специфіка використовуваного плазмового устаткування. Технологічні проблеми забезпечення створення періодичних нанорозмірних структур. Плазмохімічний синтез нанокристалів Особливості травлення діелектричних шарів субмікронних наноструктур
2	Формування нанорозмірних фаз у металевих та напівпровідникових матеріалах при опроміненні багатокомпонентними пучками іонів. Іонно-імплантаційна технологія синтезування в металевій матриці (алюмінієві сплави, нержавіючі сталі та ін.) в умовах низькодозного і низькотемпературного опромінення монодисперсної нанорозмірної надтвердої карбонітридної фази (наприклад, карбонітриду бору при опроміненні іонами гелію, вугілля з метою отримання матеріалів з унікальними характеристиками міцності. Гелієві пори як центри зародження вторинних фаз. Синтезування нанокристалів у структурі опромінених газовими іонами (наприклад, іонами гелію) напівпровідникових матеріалів.
4	Використання ядерних мембран для матричного синтезу наноструктур. Ядерні фільтри, їх отримання та застосування в різних галузях науки і техніки. Використання ядерних мембран для створення нанодротів. Режими процесу створення нанодротів (енергія та щільність потоку важких іонів при опроміненні полімерних плівок, особливості травлення

	полімерних плівок, електролізу та заповнення нанопор різними металами), структура нанодротів, створених матричним синтезом, їх властивості та галузі застосування.
2	Радіаційні методи аналізу нанорозмірних систем Використання синхротронного випромінювання для аналізу нанорозмірних структур. Дослідження нанорозмірних систем методом електрон-позитронної анігіляції.
4	Радіаційно-пучкові методи нанолітографії. Електронно-променева літографія – принципи, обладнання, режими. Іонна літографія – іонна проекційна літографія та іонно-променева літографія, - принципи, обладнання та використання у нанотехнологіях.
4	Літографічно-індуковане самозбирання наноструктур (ЛІС). Використання екстремальної ультрафіолетової літографії для створення наночипів розмірами 10-100 нм при виготовленні ультравеликих інтегральних схем.
2	Радіаційно-стимульовані та радіаційно-індуковані процеси в нанорозмірних системах.
2	Ефект самоорганізації наноструктур, створених методом іонного синтезу, механізми самоорганізації. Самоорганізація, що зумовлена накопиченням радіаційних дефектів. Самоорганізація та нестабільність дефектної системи у напівпровідниках під опроміненням.
2	Формування надіраток у розподілі густини дефектів при опроміненні бінарних з'єднань. Порівняння особливостей самоорганізації у напівпровідниках та металах.
2	Формування квантових точок та квантових дотів, створених радіаційними методами, моделі їх формування. Форма та впорядкування квантових точок.
2	Фрактальні нанорозмірні структури. Концепція фрактал. Поняття фрактального кластера. Властивості фрактальних кластерів. Одержання фрактальних наноструктур (ниток) при опроміненні лазерними, електронними та іонними пучками металевих поверхонь.
4	Режими процесу одержання. Будова та властивості фрактальних ниток. Нанорозмірні плівки міді із фрактальною структурою. Механізми формування фрактальних структур у мікро- та нанотехнології. Фрактальний аналіз самоорганізованих напівпровідникових структур
2	Радіаційна стійкість нанорозмірних систем. Радіаційна стійкість кристалів із квантовими точками. Радіаційна стійкість напівпровідникових з'єднань A_3B_5 для фотоелектроніки нанорозмірної.
2	Нанорозмірні системи наноелектроніки, отримані радіаційними методами.

2	Одержання квантових точок у плівках SiO_2 з монокристалічних кремнію та германію при іонній імплантації. Оптичні та люмінесцентні властивості опромінених плівок SiO_2 .
4	Самоорганізовані квантові точки Si-Ge, які отримують методом іонного синтезу. Властивості самоорганізованих SiGe – наноструктур; механізм в'язкого перебігу матеріалу за наявності радіаційних дефектів. Енергозалежна пам'ять на нанокристалах, синтезованих іонними пучками. Використання похованих шарів нанокристалів, створених іонним синтезом, для зберігання заряду у флеш-пам'яті.
4	Особливості дисіліциду кобальту як кращого матеріалу серед силіцидів для наноелектроніки (висока провідність, висока температурна стабільність, гарна сполучність з ґратами кремнію). Наноструктуровані шари дисіліциду кобальту в кремнії, що утворюються під час бомбардування кремнію іонами кобальту та впровадження іонів кобальту в кремнієву підкладку. Самоорганізовані та самоподібні нанорозмірні структури із силіциду кобальту в кремнії, отримані іонним синтезом. Фрактальний аналіз структур. Квантові дроти та квантові точки дисіліциду кобальту, отримані іонним синтезом, їх застосування в ультравеликих інтегральних схемах, біполярних транзисторах та ін.
2	Наноматеріали для захисту від електромагнітного випромінювання. Створення тонкошарових покриттів із наноструктурами заданого типу для поглинання або відображення електромагнітного випромінювання (лазерного, мікрохвильового та ін.) заданої частоти. Нанокристали з радіаційно-захисними властивостями, поглиначі електромагнітного випромінювання. Наноструктурні матеріали (плівки TiNi , TiB_2 та ін.) для захисних екранів від електромагнітного випромінювання.
2	Наноматеріали для аерокосмічної та ракетно-космічної техніки. Композиційні наноматеріали (на основі TiN/MoS_2 , $\text{TiB}_2/\text{MoS}_2$, $\text{WC}/\text{аморфний вуглець}$ / WS_2 та ін.) для аерокосмічної техніки – одержання магнетронним або лазерним опроміненням та властивості. Модифікація наночастинками полімерних матеріалів, призначених для використання у космічній техніці. Наноматеріали у ракетно-космічній техніці, їх фізико-хімічні властивості та радіаційна стійкість. Створення нанопокриттів для сонячних панелей із високим к.к.д.
2	Наноматеріали для ядерної енергетики Модифікація матеріалів відбивачів та розмножувачів нейтронів наночастинками. Пористий берилій, модифікований нанокластерами, його властивості. Використання монокристалічних матеріалів для

	створення малорозпухуваних оболонкових та паливних матеріалів тепловиділяючих елементів ядерних реакторів.
--	--

Запитання до заліку

1. Види випромінювань – корпускулярне, електромагнітне. Характеристики випромінювань:
 2. Хвильові властивості частинок. Потенціал та енергія іонізації.
 3. Радіоактивні ізотопи, Спектр випромінювання. Період напіврозпаду.
 4. Методи реєстрації випромінювань. Фотоядерні методи.
 5. Іонізаційні, іскрові, сцинтиляційні, напівпровідникові лічильники.
- Загальне уявлення про спектроскопію випромінювань.
6. Поглинання випромінювання речовиною. Фізична природа взаємодії нейтронного, протонного, електронного та інших видів випромінювань з твердими тілами.
 7. Питомі енергетичні втрати. Ефективні перерізи пружних та непружних взаємодій.
 8. Ефективні перерізи взаємодії високоенергетичних електронів з речовиною.
 9. Фотоядерні реакції.
 10. Потенціали взаємодії. Експериментальні виміри енергетичних втрат.
 11. Поглинання випромінювань кристалами. Особливості поглинання високоенергетичних нейтральних важких частинок.
 12. Загальний теоретичний розгляд траєкторій під час зіткнення. Глибина проникнення для різних високоенергетичних частинок.
 13. Поняття проективного пробігу прискорених частинок. Ефект каналування заряджених частинок у кристалах.
 14. Ефект блокування (тіней). Каналування за низьких енергій первинних частинок.
 15. Каналування при високих енергіях. Деканалізація високоенергетичних частинок.
 16. Непружні процеси поглинання випромінювань речовиною. Ядерні реакції. Ядерні реакції при впливі на речовину легких заряджених частинок.
 17. Ядерні реакції при впливі на речовину нейтронів. Розподіл первинних атомів віддачі.
 18. Утворення дефектів у кристалічних твердих тілах при дії випромінювань різних видів. Елементарні процеси утворення радіаційних точкових дефектів у кристалах.
 19. Порогова енергія утворення пар Френкеля. Анізотропія енергії утворення пари Френкеля. Радіуси спонтанної анігіляції вакансій та міждоузельних атомів. Рекомбінаційний об'єм.
 20. Атомні зміщення поблизу порога утворення точкових дефектів (підпорогові ефекти). Перетин дефектоутворення.
 21. Каскади зіткнень. Визначення первинної енергії атомів віддачі. Каскади зіткнень при високих та низьких енергіях.

22. Фокусування атомних зіткнень у ГЦК та ОЦК кристалах. Будова каскаду зміщень. Збіднені зони.
23. Каскадне перемішування. Відпал радіаційних дефектів у кристалах. Стадії відпалу та його природа.
24. Утворення каскадів усунення при фотоядерних реакціях. Теплові піки. Експериментальне дослідження каскадів усунення.
25. Модель Торренса-Робінсона-Норгетта.
26. Роль непружних процесів при нейтронному, протонному, електронному опроміненні в дефектоутворенні в кристалах.
27. Радіаційно-індуковані та радіаційно-стимульовані процеси в металевих та напівпровідникових матеріалах.
28. Радіаційно-індукована сегрегація компонентів у опромінених сплавах.
29. Радіаційно-індуковані та радіаційно-стимульовані фазові перетворення у сплавах.
30. Радіаційно-стимульована дифузія. Взаємодія радіаційних дефектів з дислокаціями та атомами домішок.
31. Дислокації як стоки міждоузельних атомів та вакансій. Преференс. Домішні атмосфери.
32. Закономірності та механізми радіаційної повзучості матеріалів.
33. Взаємодія імпульсних випромінювань із речовиною. Взаємодія лазерного випромінювання із речовиною.
34. Зміна структури та властивостей матеріалів при лазерному впливі в режимах вільної генерації та модульованої добротності.
35. Вплив високоенергетичних імпульсів плазми на властивості матеріалів. Взаємодія надтвердого рентгенівського випромінювання з речовиною.
36. Модифікація поверхонь шарів імпульсними радіаційними потоками та випромінюванням.

Запитання до екзамену

1. Радіаційний блістеринг у матеріалах. Залежність ступеня ерозії поверхні при розпиленні та блістерингу від енергії частинок, флюенсу, температури та інших факторів.
2. Вплив поверхневої структури матеріалу на блістеринг. Розпилення матеріалів під впливом високоенергетичних нейтронів. Способи підвищення стійкості матеріалів по відношенню до розпилення та блістерингу.
3. Загальні принципи машинної імітації радіаційних ушкоджень у кристалах. Імітація впливу швидких нейтронів високоенергетичними важкими іонами та електронами.
4. Імітація за допомогою фотоядерних реакцій. Експериментальні методи імітації. Загальні методи прогнозування нагромадження радіаційних дефектів у кристалах залежно від реальних умов.
5. Радіаційна стійкість конструкційних матеріалів атомної та термоядерної енергетики. Окрихчування конструкційних матеріалів при нейтронному опроміненні.

6. Низькотемпературне та високотемпературне окрихчування. Способи придушення радіаційного окрихчування легуванням та пластичною деформацією.

7. Основні вимоги до матеріалів для ядерних та термоядерних реакторів. Радіаційне розпухання та методи його придушення. Поверхнева радіаційна стійкість матеріалів термоядерної енергетики.

8. Захисні покриття, що застосовуються на першій стінці термоядерного реактора; матеріали захисних покриттів (графіти, пірографіти, карбіди та ін.). Способи нанесення захисних покриттів. Матеріали для дивертора токамака.

9. Матеріали ізотопних джерел. Проблема створення малоактивованих матеріалів (матеріалів зі швидким спадом наведеної радіоактивності) для використання в конструкціях атомної та термоядерної енергетики.

10. Радіаційна стійкість матеріалів космічної техніки. Радіаційна стійкість конструкційних матеріалів космічної техніки та матеріалів радіоелектронної апаратури.

11. Фізичне та хімічне розпилення поверхні космічних апаратів під дією кисневої плазми, протонного, метеорного потоків, прискорених частинок власної атмосфери.

12. Радіаційна стійкість оптичних та терморегулюючих покриттів космічних апаратів. Радіаційна стійкість кремнієвих сонячних батарей. Радіаційна стійкість полімерних матеріалів.

13. Радіаційна стійкість графітів. Радіаційна стійкість скла. Накопичення електростатичного заряду на поверхні космічних апаратів та способи боротьби з цим явищем.

14. Радіаційна стійкість матеріалів електронної техніки. Радіаційна стійкість металевих матеріалів електровакуумних приладів та елементів електронних схем. Радіаційна стійкість керамічних матеріалів.

15. Радіаційна стійкість ізоляційних матеріалів. Радіаційна стійкість графітів та карбідних матеріалів. Радіаційна стійкість скла. Радіаційна стійкість полімерних матеріалів. Радіаційна стійкість магнітних матеріалів.

16. Радіаційна обробка та модифікація матеріалів. Іонне легування та його застосування у машинобудуванні, електронній техніці, хімічній та інших галузях промисловості.

17. Радіаційне легування. Використання ядерних реакцій для легування напівпровідникових матеріалів.

18. Радіаційна обробка металевих, напівпровідникових та діелектричних матеріалів з метою їх модифікування та надання їм спеціальних властивостей.

19. Іонний синтез. Особливості процесу іонного синтезу, необхідні режими (енергія іонів, дози імплантації, орієнтаційні умови опромінення, розподіл пробігів імплантованих іонів, фотонічний імпульсний відрадіс фоторади).

20. Іонне розпилення. Формування нанорозмірних структур під час іонного розпилення поверхні напівпровідників. Теоретичні моделі методу (моделі, засновані на розподілі енергії за Гаусом).

21. Моделювання розпилення методом Монте-Карло; уточнення розподілу енергії, що поглинається). Розпилення підкладок, що обертаються.

22. Вплив параметрів опромінення на особливості формування нанорозмірних структур при іонному розпиленні підкладок (варіація напруги, що прискорює, кута падіння іонів). Морфологія поверхні при іонному розпорошенні.

23. Лазерне опромінення. Формування фулеренів при лазерному випаровуванні графітів. Одержання вуглецевих нанотрубок при термічному розпиленні графіту лазерним опроміненням.

24. Використання імпульсних лазерних методів отримання наноструктур. Ударно-хвильовий синтез нанокластерів під впливом на метали лазерних гігантських імпульсів.

25. Плазмові методи створення поверхневих періодичних наноструктур. Специфіка використовуваного плазмового устаткування. Технологічні проблеми забезпечення створення періодичних нанорозмірних структур.

26. Плазмохімічний синтез нанокристалів. Особливості травлення діелектричних шарів субмікронних наноструктур.

27. Формування нанорозмірних фаз у металевих та напівпровідникових матеріалах при опроміненні багатокомпонентними пучками іонів.

28. Іонно-імплантаційна технологія синтезування в металевій матриці (алюмінієві сплави, нержавіючі сталі та ін.).

29. Гелієві пори як центри зародження вторинних фаз. Синтезування нанокристалів у структурі опромінених газовими іонами (наприклад, іонами гелію) напівпровідникових матеріалів.

30. Використання ядерних мембран для матричного синтезу наноструктур. Ядерні фільтри, їх отримання та застосування в різних галузях науки та техніки.

31. Використання ядерних мембран для створення нанодротів. Режими процесу створення нанодротів (енергія та щільність потоку важких іонів при опроміненні полімерних плівок).

32. Особливості травлення полімерних плівок, електролізу та заповнення нанопор різними металами), структура нанодротів, створених матричним синтезом, їх властивості та сфери застосування.

33. Використання синхротронного випромінювання для аналізу нанорозмірних структур. Дослідження нанорозмірних систем методом електрон-позитронної анігіляції.

34. Електронно-променева літографія – принципи, устаткування, режими. Іонна літографія – іонна проєкційна літографія та іонно-променева літографія, - принципи, обладнання та використання у нанотехнологіях.

35. Літографічно-індуковане самозбирання наноструктур (ЛІС). Використання екстремальної ультрафіолетової літографії для створення наночипів розмірами 10-100 нм при виготовленні ультравеликих інтегральних схем.

36. Ефект самоорганізації наноструктур, створених методом іонного синтезу, механізми самоорганізації.

37. Самоорганізація, що зумовлена накопиченням радіаційних дефектів. Самоорганізація та нестабільність дефектної системи у напівпровідниках під опроміненням.

38. Формування надграт у розподілі щільності дефектів при опроміненні бінарних сполук. Порівняння особливостей самоорганізації у напівпровідниках та металах.

39. Формування квантових точок та квантових дріотів, створених радіаційними методами, моделі їх формування. Форма та впорядкування квантових точок.

40. Поняття фракталу. Фрактальна розмірність, методи її визначення.

41. Поняття фрактального кластера. Властивості фрактальних кластерів. Одержання фрактальних наноструктур (ниток) при опроміненні лазерними, електронними та іонними пучками металевих поверхонь.

42. Режими процесу одержання. Будова та властивості фрактальних ниток. Нанорозмірні плівки міді із фрактальною структурою.

43. Механізми формування фрактальних структур у мікро- та нанотехнології. Фрактальний аналіз самоорганізованих напівпровідникових структур.

44. Радіаційна стійкість кристалів із квантовими точками. Радіаційна стійкість напівпровідникових з'єднань A_3B_5 для фотоелектроніки нанорозмірної.

45. Енергозалежна пам'ять на нанокристалах, синтезованих іонними пучками. Використання похованих шарів нанокристалів, створених іонним синтезом, для зберігання заряду у флеш-пам'яті.

46. Наноструктуровані шари дісиліциду кобальту в кремнії, що утворюються під час бомбардування кремнію іонами кобальту та впровадження іонів кобальту в кремнієву підкладку.

47. Самоорганізовані та самоподібні нанорозмірні структури із силіциду кобальту в кремнії, отримані іонним синтезом.

48. Фрактальний аналіз структур. Квантові дроти та квантові точки дісиліциду кобальту, отримані іонним синтезом, їх застосування в ультравеликих інтегральних схемах, біполярних транзисторах та ін.

49. Наноматеріали захисту від електромагнітного випромінювання. Створення тонкошарових покриттів із наноструктурами заданого типу для поглинання або відображення електромагнітного випромінювання (лазерного, мікрохвильового та ін.) заданої частоти.

50. Нанокристали з радіаційно-захисними властивостями, поглиначі електромагнітного випромінювання. Наноструктурні матеріали (плівки $TiNi$, TiB_2 та ін.) для захисних екранів від електромагнітного випромінювання.

51. Модифікація наночастинками полімерних матеріалів, призначених для використання у космічній техніці.

52. Наноматеріали в ракетно-космічній техніці, їх фізико-хімічні властивості та радіаційна стійкість. Створення нанопокриттів для сонячних панелей із високим к.к.д.

53. Наноматеріали для ядерної енергетики Модифікація матеріалів відбивачів та розмножувачів нейтронів наночастинками. Пористий берилій, модифікований нанокластерами, його властивості.

54. Використання нанокристалічних матеріалів для створення малорозпухуваних оболонкових та паливних матеріалів тепловиділяючих елементів ядерних реакторів.

6. Методи контролю

Складання колоквиумів за темами модулів, письмовий екзамен.

7. Схема нарахування балів

Матеріал курсу «Радіаційні пошкодження у речовині» згідно навчальної програми містить 3 модулі. Оцінка роботи здобувачів проводиться за модульно-рейтинговою системою і включає такі види роботи над курсом: практичні роботи, засвоєння теоретичного матеріалу та домашні завдання.

Модулі за курсом			Залік	Екзамен	Разом
M1	M2	M3			
24	6	30	20	20	100

M1, M2 ... - номери модулів.

Оцінка за модуль складається з оцінки за практикум, поточний контроль, виконання домашніх письмових завдань. Здобувачі повинні виконати та оформити всі практичні роботи.

Здобувачі пишуть відповідно до кожного модуля письмові контрольні роботи, кожна з яких оцінюється балами від 6 до 30 відповідно до обсягу модуля.

Для допуску до підсумкового семестрового контролю здобувач в сумі за практикум, поточний контроль, виконання домашніх письмових завдань має набрати не менше 30-ти балів з 60-ти можливих, тобто не менше 50% від максимально можливого.

На заліку та екзамені здобувач може одержати від 10 до 20 балів. Між 0 та 10 балами оцінка не виставляється, залік або екзамен вважається не зданим. Бали, одержані на екзамені від 10 до 20 додаються до балів, одержаних у семестрі (30-60 балів). За цією сумою згідно таблиці шкали оцінювання виставляється підсумкова оцінка до залікової книжки.

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка
	за чотирирівневою шкалою оцінювання
90-100	відмінно
70-89	добре
50-69	задовільно
1-49	незадовільно

Критерії оцінювання питань екзаменаційного білету (контрольної роботи)

Екзаменаційний білет (контрольна робота) містить кілька завдань (теоретичні питання або задачі). Кожне завдання має свій ваговий бал (вказується у дужках біля питання) та оцінюється окремо. Сумарно за всі відповіді на екзаменаційні питання можна отримати максимально 20 балів. Сумарний бал за контрольну роботу вказується в тексті відповідної роботи.

	Характеристика відповіді на кожне з питань екзаменаційного білету (контрольної роботи)	% від max балу за відповідь на питання
	Повна та вірна відповідь на питання або у повному обсязі правильно вирішена практична задача білету	100 %
	Повна відповідь з незначними помилками (або незначні помилки у розрахунках практичних завдань за наявності вірної розрахункової формули);	80-95 %
	Неповна, але вірна відповідь (або значні помилки у розрахунках практичних завдань за наявності вірної розрахункової формули для розв'язання практичних завдань);	50-80 %
	Відповідь повна, але містить грубі помилки (або вирішення практичних завдань білету містить грубі помилки, розрахункові формули для розв'язання практичних завдань містять помилки)	30-50 %
	Неповна відповідь з суттєвими помилками	5-30 %
	Невірна відповідь	0-5 %
	Відсутня відповідь на теоретичне питання (або відсутнє вирішення практичних завдань білету)	0 %

9. Рекомендована література

Основна література

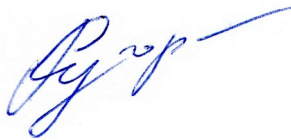
1. Матеріалознавство : підручник / С. С. Дяченко, І. В. Дощечкіна, А. О. Мовлян, Е.І. Плешаков; за ред. проф. С. С. Дяченко. – Харків : ХНАДУ, 2007. - 440 с.
2. Пахолюк А. П. Основи матеріалознавства і конструкційні матеріали : посібник / А. П. Пахолюк, О. А. Пахолюк. – Львів : Світ, 2005. – 172 с., іл.
3. Попович В. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство : підручник / В. В. Попович, В. В. Попович. – Львів : Світ, 2006. – 624 с.
4. Проценко І. Ю. Прилади і методи дослідження плівкових матеріалів / І. Ю. Проценко, А. М. Чорноус, С. І. Проценко. – Суми : СДУ, 2007. – 263 с.
5. Poate J. M. Surface Modification and Alloying by Laser, Ion, and Electron Beams / J. M. Poate, G. Foti, D. C. Jacobson. – New York: Plenum Press, 1983.

6. Наноматеріали і нанотехнології : навчальний посібник / Азаренков М.О., Неклюдов І.М., Береснев В.М., Воєводін В.М., Погребняк О.Д., Ковтун Г.П., Соболев О.В., Удовиський В.Г., Литовченко С.В., Турбін П.В., Чишкала В.О. - Харків: ХНУ імені В.Н. Каразіна. - 2014. – 322 с.

Допоміжна література

1. Функціональні матеріали і покриття : навчальний посібник / М.О. Азаренков, В.М. Береснев, С.В. Литовченко, П.В. Турбін, В.О. Чишкала. - Х.: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2013. – 208 с.
3. Manufacturing Nano-structures. Ch. 11. Influence of deposition parameters on the structure and properties of nitride coatings / A.D. Pogrebnjak, N.A. Azarenkov, V.M. Beresnev, S.V. Lytovchenko // One Central Press (OCP), 2014. – P. 294 – 317.
4. Vasudevan A.K. A Comparative Overview of MoSi₂ Based Composites / A.K. Vasudevan, J.J. Petrovic // Materials Science & Engineering – 1992. – V. A155. – P. 1-17.
5. Kelly A. Concise encyclopedia of composite materials / A. Kelly - Pergamon Press, 1994. – 349 p.
6. Gleiter H. Nanostructured materials: basic concepts and microstructure // Acta Materialia. – 2000. – Vol. 48, No. 1. – P. 1-29.

Розробник програми к.ф.-м.н.,
с.н.с ІФВЕЯФ ННЦ ХФТІ



Єгор РУДИЧЕВ