



ЕПІТАКСІЙНІ ГЕТЕРОСТРУКТУРИ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Третій (доктор філософії)</i>
Галузь знань	<i>13 Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>132 Матеріалознавство</i>
Освітня програма	<i>Матеріалознавство Material Science and Engineering</i>
Статус дисципліни	<i>вибіркова</i>
Форма навчання	<i>Очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>2 курс, 3 семестр (осінній)</i>
Обсяг дисципліни	<i>4,5 кредити ЕКТС (135 годин): лекції – 13 год.; практичні роботи – 26 год.; самостійна робота студента – 96 год.</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік, модульна контрольна робота (МКР)</i>
Розклад занять	<i>http://roz.kpi.ua/</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: д. т. н., професор Макогон Юрій Миколайович, y.makogon@kpi.ua, моб. +38(068)806-07-63 Практичні: к. т. н, ст. викл. Вербицька Тетяна Іванівна, verbitska@kpm.kpi.ua, моб. +38(093)976-69-13</i>
Розміщення курсу	<i>https://classroom.google.com/c/MzY2NjY0NjY1ODUy?cjc=aukduxh</i>

Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Дисципліна присвячена технологіям отримання функціональних елементів наноелектроніки, які є основою пристроїв сучасного мікро- та наноприладобудування.

Особливість подання цієї проблематики аспірантам: *надаються відомості щодо впливу на фазовий склад, структуру і властивості епітаксійних шарів таких факторів як: легуючі елементи; забруднюючі домішки; ступінь вакууму; середовище відпалу; поверхнева енергія. Показано вплив проміжних шарів, основне призначення яких полягає в перетворенні шару з дифузійного бар'єру в дифузійну мембрану складного хімічного складу. Поступове руйнування дифузійної мембрани призводить до рівномірну дифузії атомів до підкладки Si і формування епітаксійної плівки.*

Предмет навчальної дисципліни та кредитного модуля: *технології отримання функціональних елементів наноелектроніки та закономірності фізичних процесів, що відбуваються у плівкових композиціях нанометрових товщин при формуванні епітаксійних шарів різними методами осадження та ступеня вакууму шляхом вирощування на монокристалічних підкладках кремнію та сапфіру різної орієнтації.*

Метою навчальної дисципліни є поглиблення у аспірантів компетентностей та здатностей у відповідності до ОНП, а саме:

Загальні компетентності (ЗК)	
З К 01	Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу
З К 02	Здатність проводити критичний аналіз, оцінку і синтез нових та складних ідей;
З К 03	Здатність розв'язувати комплексні проблеми матеріалознавства в сфері науки та виробництва на основі системного наукового світогляду та загального культурного кругозору із дотриманням принципів професійної етики та академічної доброчесності
З К 04	Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел
Фахові компетентності (ФК)	
ФК 01	<i>Здатність здійснювати та організовувати науково-педагогічну діяльність у вищій освіті застосовуючи новітні педагогічні підходи і практики, у тому числі інформаційні технології у навчальному процесі, урізноманітнювати методики викладання з метою кращого сприйняття матеріалу</i>
ФК 02	<i>Здатність забезпечувати безперервний саморозвиток і самовдосконалення, відповідальність за розвиток інших у професійній галузі, дотримуючись педагогічної етики, правил академічної доброчесності у науково-педагогічній діяльності.</i>
ФК 03	<i>Здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання у матеріалознавстві, дотичних та міждисциплінарних напрямках і можуть бути опубліковані у провідних наукових виданнях з матеріалознавства.</i>
ФК 04	<i>Здатність проводити теоретичні й експериментальні дослідження, математичне й комп'ютерне моделювання матеріалознавчих задач.</i>
ФК 05	<i>Здатність аналізувати стан проблеми в галузі матеріалознавства, ідентифікувати шляхи вирішення та синтезувати нове знання на основі власного досвіду розв'язання проблеми.</i>
ФК 07	<i>Здатність адаптувати і узагальнювати результати сучасних досліджень структури та властивостей матеріалів для вирішення наукових і практичних проблем, модернізації, конструювання та створення нових матеріалів, компонентів та процесів.</i>
ФК 08	<i>Здатність на основі фундаментальних та спеціальних знань проектувати та створювати нові матеріали заданого функціонального призначення.</i>
Програмні результати навчання	
РН01	Презентувати та вільно обговорювати результати досліджень, наукові та прикладні проблеми матеріалознавства державною та іноземною мовами, працюючи в міжнародному та міжгалузевому науковому контексті, кваліфіковано відображати результати досліджень у наукових публікаціях в українських та міжнародних виданнях
РН02	Застосовувати сучасні інструменти і технології пошуку, оброблення та аналізу інформації, зокрема сучасні бібліографічні і реферативні бази даних, наукометричні платформи, статистичні методи аналізу даних великого обсягу та/або складної структури
РН04	Визначати закономірності керування складом, структурою та властивостями матеріалів різної природи та функціонального призначення, фізико-хімічними процесами в матеріалах (у тому числі наноматеріалах) для створення матеріалів із заданими структурами та властивостями
РН06	Використовувати у науковій і практичній діяльності основні тенденції, напрями та перспективи створення нових матеріалів різної природи, основи сучасних методів

	виробництва конструкційних та функціональних матеріалів, біокомпозитів, матеріалів з відновлювальних джерел
PH09	Знати та застосовувати термодинамічні принципи матеріалознавства та закономірності кінетики процесів в матеріалах

алгоритми дій в стандартних професійних ситуаціях:

- за допомогою методів фізичного матеріалознавства сформулювати хімічний, фазовий склад, структуру нанорозмірних плівок та властивості відповідно до поставленого завдання на основі науково-технічної документації, вітчизняного та закордонного досвіду для застосування їх в якості функціональних елементів мікроприладів різного призначення.
- використання сучасних технічних засобів проведення експерименту та отримання відповідних даних для вирішення науково-технічних задач.

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Пререквізити: дисципліна базується на курсах: «Електронна мікроскопія», «Спеціальні фізичні методи досліджень матеріалів», «Зондові нанотехнології модифікації поверхні».

Постреквізити: дисципліна є базовою для написання дисертації доктора філософії.

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1 Методи отримання епітаксійних шарів тонких плівок та їх застосування в мікроприладобудуванні.

Тема 1.1 Застосування епітаксійних шарів тонких плівок в мікроприладобудуванні.

Тема 1.2.. Методи отримання епітаксійних шарів тонких плівок.

Розділ 2. Фактори, що впливають на формування структурно-фазового складу тонких плівок

Тема 2.1 Хімічний склад вихідного матеріалу, що розпилюється. Умови осадження. Умови термічної обробки. Структурно-фазовий стан підкладки.

Тема 2.2 Домішки. Фактор нанорозмірності. Роль сурфактанту в епітаксійному зростанні плівки

Тема 2.3. Внутрішні макронапруження в вакуумних конденсатах, механізми їх формування і класифікація.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Конспект лекцій доступний в інформаційній системі Електронний кампус. Інші навчальні матеріали доступні у бібліотеці університету. Обов'язковою до вивчення є базова література, інші матеріали - факультативні. Розділи та теми, з якими студент має ознайомитись самостійно, викладач зазначає на лекційних та практичних заняттях.

Усі видання наявні в бібліотеці КПІ ім. Ігоря Сікорського або в електронному вигляді за посиланням <https://classroom.google.com/c/MzY2NjY0NjY1ODUy?cjc=aukduxh>

Базова література:

1. Основи наноелектроніки у 2-х книгах Книга 2, частина 1 Матеріали і наноелектронні технології Ю.І. Якименко, Д.М. Заячук, В. М. Співак, А.Т. Орлов, О. В. Богдан, В.М. Коваль К: НТУУ «КПІ», 2016. - 400 с.
2. С.І. Сидоренко, Ю.М. Макогон, О.П. Павлова. Тонкоплівкові силіциди. Фактор нанорозмірності. – Київ: Наукова думка, 2011. С. 45 – 63.

3. Нанофізика, наноматеріали, наноелектроніка: навч. посіб. / Ю.М. Поплавко, О.В. Борисов, Ю.І. Якименко. К.: НТУУ «КПІ», 2012.-300 с.
4. Дифузійне формування нанорозмірних магнітних матеріалів на основі FePt C.I. Сидоренко, Ю.М. Макогон, І.А. Владимірський .КІІВ Наукова думка 2016, С.-343

Додаткова література (Усі видання наявні в бібліотеці КПІ ім. Ігоря Сікорського та/або в електронному вигляді):

5. Сидоренко, Ю.Н. Макогон, Е.П. Павлова, С.М. Волошко. Многослойные гетероструктуры. Силициды. Раздел в монографии Л.Л. Товажнянского, А.Т. Пугачева, А.Л. Топтыгина «Лев Самойлович Палатник: У истоков эры микро- и нанотехнологии». Харьков. Издательство «Підручник НТУ «ХПІ»». 2011 – С. 145 - 1679.
6. Д.М. Заячук, Нанотехнології і наноструктури. Навч. посібник. –Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2009. –580с.
7. Д.М. Заячук, Низькорозмірні структури і надгратки. Навч. посібник. –Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2006. –220с.
8. Modern Magnetic and Spintronic Materials. Properties and Application// Edited by A. Kaidatzis, S. Sidorenko, I. Vladymyrskyi, D. Niarchos, Springer Nato Series – В 2020. P.162.

Навчальний контент

7. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Мета лекційних занять: для викладача надати, а для студента засвоїти систематизовані основи наукових знань (включаючи стан розвитку і перспективи прогресу) в області тонкоплівкового матеріалознавства; розвинути у аспіранта здатність критично і креативно мислити, шляхом приділення більшої уваги складним і вузловим питанням, залишаючи прості питання і питання, які є результатом причинно-наслідкових зв'язків, на самостійну роботу з наступним їх аналізом.

На лекційних заняттях розглядаються основні уявлення щодо отримання та застосування плівкових нанорозмірних матеріалів (напівпровідникові, металеві плівки) у комп'ютерній техніці. Отримання нанорозмірних композицій з потрібними властивостями шляхом застосування різних методів осадження, зміни кількості шарів та товщин плівок, послідовності осадження і розташування після термічної обробки. Надаються відомості щодо впливу на фазовий склад, структуру і властивості нанорозмірних плівкових матеріалів таких факторів як: 1. Хімічний фактор (легуючі елементи, забруднюючі домішки); 2. Структурний фактор (розмір зерен та їх орієнтація); 3. Термічно-активовані дифузійні процеси, які дозволяють отримати нанорозмірні плівкові матеріали як в монокристалічному, практично бездефектному, так і в аморфному, нестабільному дефектному станах. 4. Розмірний фактор - роль поверхневої енергії у змінах фазового складу, структури і властивостей нанорозмірних плівкових композицій.

Лекційні заняття (13 годин, 7 лекцій)

No з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
1	<p>Тема 1.1</p> <p>Лекція 1 Тонкі плівки епітаксійних силицидів перехідних металів в мікроелектроніці. Завдання фізичного матеріалознавства при використанні плівок силицидів перехідних металів в якості функціональних елементів мікросхем, мікроприладів. Застосування тонких плівок перехідних металів як функціональних елементів мікроприладобудування і мікроелектроніки. 5 етапів розвитку електроніки. Процес утворення силицидів з необхідними</p>

	<p>експлуатаційними властивостями шляхом термічно активованої твердотільної хімічної реакції між металом і кремнієм.</p> <p>Завдання на СРС: Вимоги до чистоти плівкових матеріалів. Вплив домішкових атомів в плівках на їх фізико-механічні властивості. Отримання аморфного стану плівок.</p> <p>Література: [1, 2]</p>
2	<p>Тема 1.2</p> <p>Лекція 2 Формування епітаксійних плівок силіцидів перехідних металів на кремнії. Методи епітаксії з використанням між плівкою і підкладкою кремнію проміжного шару Ti (TIME – Ti-interlayer mediated epitaxy). Методи епітаксії з використанням між плівкою і підкладкою кремнію проміжного шару оксиду SiO₂ (OME - oxide mediated epitaxy). Комбінований метод епітаксії з використанням проміжних шарів Ti і SiO₂ між плівкою і підкладкою Si. Умови епітаксимального зростання плівок дисиліциду кобальту, дисиліциду нікелю і дисиліциду хрому на монокристалічному кремнії. Особливості одержання багатошарових плівок методом електронно-променевого осадження. Адсорбція. Адгезія, методи оцінки. Епітаксія це явище, що має важливе практичне значення, так як дозволяє отримати шари (плівки), які за своїми структурними характеристиками можуть розглядатися як монокристалічні, тобто плівки з мінімальною дефектністю кристалічної структури.</p> <p>Завдання на СРС: Причини зміни періоду кристалічної решітки фаз в тонких плівках. Механізми зростання епітаксійних плівок. Дислокації невідповідності</p> <p>Література: [2, 3, 4]</p>
3	<p>Тема 1.2</p> <p>Лекція 3 Методи отримання тонких плівок. Метод термічного (вакуумного) напилення. Метод електронно-променевого осадження. Метод катодного розпилювання. Фізичне катодне розпилювання. Реактивне катодне розпилювання. Діодне розпорошення. Метод тріодного розпилювання. Магнетронне розпилювання. Метод надвисокочастотного плазмового осадження (13,6 МГц). Твердофазна реакція. Двошаровий метод. Реактивне осадження. Метод шаблону. Мезотаксія. Алотаксія. Адсорбція, абсорбція. Адгезія. Методи визначення адгезії. Показано, як структурно-фазовий склад і експлуатаційні властивості тонких плівок визначаються фізико-технологічними параметрами осадження.</p> <p>Завдання на СРС: Механізми зростання епітаксійних плівок. Дислокації невідповідності. Структурні характеристики плівок, які не спостерігаються в масивних матеріалах.</p> <p>Література: [3, 5]</p>
4	<p>Тема 2.1</p> <p>Лекція 4 Фактори, що впливають на формування структурно-фазового складу тонких плівок.</p> <p>Хімічний склад вихідного матеріалу, що розпилюється. Умови осадження. Умови термічної обробки. Структурно-фазовий стан підкладки. Домішки. Фактор нанорозмірності.</p> <p>Завдання на СРС: Аномалії структурного стану вакуумних конденсатів, які можна пояснити домішковорозмірним чинником. Поведінка домішкових атомів в плівці. Парціальний тиск.</p>

	Література: [3-8]
5	<p>Тема 2.2 Лекція 5 Нанокристалічні матеріали (НКМ). Вплив розмірного фактора на фазовий склад та структуру плівок. Фазовий розмірний ефект.</p> <p>Модульна контрольна робота</p> <p>Завдання на СРС: Вплив розмірного чинника на температуру фазового переходу в плівках. Особливості структурного стану нанокристалічних матеріалів. Вплив впорядкування на властивості твердих розчинів.</p> <p>Література: [3, 6-8]</p>
6	<p>Тема 2.3 Лекція 6 Методи оцінки внутрішніх механічних напружень у плівках: рентгенографічні, оптичні, механічні. Вплив напружень на фізичні властивості у феромагнітних плівках – магнітну анізотропію, зміну коерцитивної сили. Вплив на механічні властивості.</p> <p>Завдання на СРС: Способи визначення механічних напружень в плівках. Рентгенотензометричний спосіб визначення механічних макронапружень в плівках.</p> <p>Література: [1, 5]</p>
7	Залік

Практичні заняття (26 годин, 13 занять)

На практичних заняттях опановуються методи оцінки фазового складу, орієнтації структури і розрахунки механічних напружень у шарах плівкових композицій, які застосовуються у сучасному мікро- та наноприладобудування.

№ з/п	Назва практичного заняття	Кількість ауд. годин
1	<p>Назва: Поняття про фізичні методи конденсації тонких плівок і покриттів: електронно-променевий, термічний, катодний і магнетронний методи.</p> <p>Мета роботи: опанувати фізичні методи конденсації тонких плівок і покриттів: електронно-променевий, термічний, катодний і магнетронний методи.</p>	2
2	<p>Назва: Визначення фазового складу, структури та орієнтації епітаксійних шарів методом рентгеноструктурного фазового аналізу.</p> <p>Мета роботи: опанувати методи якісного та кількісного рентгеноструктурного аналізу нанорозмірних тонких плівок, а саме: навчитись визначати фазовий склад, параметри ґратки, ступінь тетрагональності, розмір зерна у плівкових гетероструктурах Ni/Pt/Si_{en}/Si(001)</p>	4
3	<p>Назва: Визначення товщини епітаксійних плівок методом рентгенівської рефлектометрії</p> <p>Мета роботи: опанувати метод рентгенівської рефлектометрії експерименту та засвоїти методику розрахунку товщини нанорозмірних плівок.</p>	2
4	<p>Назва: Пошаровий хімічний аналіз епітаксійних плівок на основі FePt методом Резерфордівського зворотного розсіювання.</p>	4

№ з/п	Назва практичного заняття	Кількість ауд. годин
	Мета роботи: опанувати методику пошарового хімічного аналізу епітаксійних плівок на основі FePt за допомогою методу Резерфордівського зворотного розсіювання, навчитись моделювати спектри Резерфордівського зворотного розсіювання шаруватих нанорозмірних плівок та порівнювати їх з експериментальними.	2
5	Назва: Оцінка напруженого стану методом $\sin^2\psi$ у нанорозмірних плівкових композиціях. Мета роботи: опанувати метод $\sin^2\psi$ для визначення напруженого стану у нанорозмірних плівкових композиціях	4
6	Назва: Визначення термічних напружень в шаруватих нанорозмірних плівках. Мета роботи: опанувати методику розрахунку термічних напружень в шаруватих плівках	2
7	Назва: Особливості дослідження морфології поверхні плівок за допомогою атомно-силової мікроскопії. Мета роботи: опанувати фізичні основи атомно-силової мікроскопії; ознайомитися з будовою та принципом дії атомно-силового мікроскопу; набутти практичного досвіду роботи з програмою Gwyddion для визначення шорсткості поверхні нанорозмірних плівок	2
8	Назва: Дослідження магнітних властивостей нанорозмірних плівок на основі $MnSi_2$ методом SQUID. Мета роботи: опанувати фізичні основи методу SQUID; ознайомитися з будовою та принципом дії SQUID-магнітометру; визначити коерцитивну силу, залишкову намагніченість та намагніченість насичення в нанорозмірних плівках на основі FePt.	2
9	Назва: Визначення енергії магнітної анізотропії у нанозмірних плівках на основі FePt. Мета роботи: опанувати методику визначення енергії магнітної анізотропії у нанозмірних плівках на основі нанорозмірних плівок на основі $MnSi_2$.	2
10	Назва: Дослідження магнітних властивостей епітаксійних плівок на основі $MnSi_2$ методом MOKE Мета роботи: опанувати фізичні основи методу MOKE; ознайомитися з будовою та принципом дії приладу, що працює на принципі магнітооптичного ефекту Керра (MOKE); набутти практичного досвіду роботи з експериментальними петлями гістерезису в програмах Origin та MOKE Explorer для визначення коерцитивної сили в нанорозмірних плівках на основі FePt.	2

8. Самостійна робота аспіранта

Вид самостійної роботи аспіранта	Кількість робіт	Норма часу на роботу, год.	Термін часу, год.
<i>Засвоєння додаткових питань до лекцій</i>	7	5	35
<i>Підготовка до практичних робіт та опрацювання результатів</i>	10	4	40
<i>Підготовка до МКР</i>	1	15	15
<i>Підготовка до заліку</i>	1	6	6
		Всього	96

Всі аспіранти протягом семестру самостійно опановують частину матеріалу, що винесена на самостійну роботу (СРС). Відповідні завдання та строки їх виконання викладач повідомляє протягом аудиторних занять.

Аспірант самостійно виконує завдання практичного заняття.

Необхідно підготувати звіт з кожної практичної роботи з відповідними розрахунками та висновками, відповісти на контрольні питання.

Політика та контроль

9. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

- 1. При очній формі навчання лекційні заняття проводяться в аудиторіях згідно розкладу занять. Користуватись мобільним телефоном під час занять можна тільки з дозволу викладача. Звук мобільного телефону повинен бути вимкнений. У разі важливих вхідних дзвінків необхідно спитати дозволу викладача, вийти в коридор і провести розмову там. Заборонено відволікати викладача від викладання матеріалу. Питання та уточнення студенти задають у відведений для цього час (визначається викладачем).*
- 2. У разі змішаного/дистанційного навчання, аспірант повинен забезпечити себе персональним комп'ютером з доступом до інтернету і встановленим програмним забезпеченням ZOOM, та будь-яким браузером.*
- 3. На лекції викладач користується власним презентаційним матеріалом, використовує відповідні додатки для викладання матеріалу поточної лекції, додаткових ресурсів. Викладач відкриває доступ аспірантам до матеріалів освітнього компоненту, викладених у classmoot для користування електронними матеріалами лекцій, а також для звітів та відповідей на питання самостійної роботи. Пропущені лекційні заняття аспіранту необхідно опрацювати та законспектувати самостійно (у випадку змішаного/дистанційного навчання робиться відеозапис лекцій). Теми або окремі питання, які виносяться на самостійний розгляд, також повинні бути опрацьовані та законспектовані.*
- 4. У разі пропуску практичних занять необхідно попередити викладача і дізнатись про шляхи відпрацювання. Результати робіт необхідно оформити у вигляді протоколу та захистити його. Бали за роботу нараховуються після перевірки електронного звіту з відповідними розрахунками.*
- 5. Під час проведення контрольних заходів забороняється користуватися мобільними телефонами, і допомогою інших. У випадку пропуску контрольних заходів, необхідно за домовленістю з викладачем пройти їх в інший час. Контрольні роботи та семестровий*

контроль проводиться за окремими правилами які викладач повинен довести до слухачів на попередньому занятті і які залежать від форми проведення навчання. Модульна контрольна робота пишеться на лекційних заняттях.

6. Під час навчання аспіранту необхідно дотримуватись Правил внутрішнього розпорядку (<https://kpi.ua/admin-rule>) та політики академічної доброчесності, які визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (<https://kpi.ua/code>).

10. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Оцінювання результатів навчання відбувається за схемою:



Контрольні заходи:

- Поточний контроль:** захист практичних робіт, МКР.
- Календарний контроль:** проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.
- Семестровий контроль:** залік

Таблиця видів контролю та максимальної кількості балів за них.

Вид контролю	Кількість	Максимальна кількість балів на 1	Максимальна кількість балів
Захист практичних робіт	10	6	60
МКР	1	40	40
		Всього	100

Оцінювання захисту практичних робіт:

Критерії	Бали
до оформлення роботи немає зауважень, дані правильні відповіді при захисті роботи, активність при виконанні роботи	6
до оформлення роботи немає зауважень, дані правильні відповіді при захисті роботи	5
є не принципові зауваження до оформлення роботи та дані відповіді з помилками при захисті роботи	4
є не принципові зауваження до оформлення роботи та дані відповіді з помилками при захисті роботи	3
є принципові зауваження до оформлення роботи та/або не дані відповіді (дані неправильні) при захисті роботи	робота не здана

МКР відбувається у вигляді проходження тесту, який складається з 5 питань. За кожну правильну відповідь студент отримує вісім балів. Якщо сумарна кількість правильних відповідей менше 24, МКР вважається не зданою, при цьому бали не нараховуються. Умовою допуску до заліку є захист всіх лабораторних робіт, здана МКР та сумарний семестровий рейтинг не менше 60 балів. Семестровий рейтинг можна підвищити за рахунок заохочувальних балів (максимум на 10) шляхом виконання додаткових індивідуальних завдань (видає викладач). На заліку слухачу необхідно дати розгорнуті відповіді на 4 питання, кожне з яких оцінюється за наступними критеріями:

Перший календарний контроль проводиться на 8 тижні і на момент його проходження здобувач може отримати максимум 5(практ.)x6=30 балів. Здобувач вважається атестованим, якщо набрав більше 14 балів.

Другий календарний контроль проводиться на 14 тижні і на момент його проходження здобувач може отримати максимум 8(практ.)x6+40(МКР)=88 балів. Здобувач вважається атестованим, якщо набрав більше 40 балів.

Сумарно за роботу в семестрі здобувач може отримати 60(практ.)+40(МКР)=100 балів. Умовою допуску до семестрового контролю є захист всіх практичних робіт, захищена МКР та сумарний семестровий рейтинг не менше 60 балів. Семестровий рейтинг можна підвищити за рахунок заохочувальних балів (максимум на 10) шляхом виконання додаткових індивідуальних завдань (видає викладач).

Зі здобувачами, які виконали всі умови допуску до заліку та мають рейтингову оцінку менше 60 балів, а також з тими здобувачами, хто бажає підвищити свою рейтингову оцінку, на останньому за розкладом занятті з дисципліни в семестрі викладач проводить семестровий контроль у вигляді залікової контрольної роботи. На якій слухачу необхідно дати розгорнуті відповіді на 4 питання, кожне з яких оцінюється за наступними критеріями:

Критерії	Бали
правильна відповідь, можливо з несуттєвими зауваженнями, повнота відповіді більша 90%	10
є не принципові зауваження, повнота відповіді більша 75%	8-9
є принципові зауваження, але можна вважати що суть питання розкрита, повнота відповіді не менша 60%	6-7
суть питання не розкрита та/або повнота відповіді менша 60%	0

Якщо сумарна кількість отриманих балів менше 60, то залік вважається не зданим (незадовільно). Для перескладання заліку є дві додаткові спроби.

У випадку успішного виконання залікової контрольної роботи (кількість балів 60 і більше), якщо оцінка за залікову контрольну роботу більша ніж за рейтингом, здобувач отримує оцінку за результатами залікової контрольної роботи. Якщо оцінка за залікову контрольну роботу менша ніж за рейтингом, застосовується «жорстка» РСО – попередній рейтинг здобувача скасовується і він отримує оцінку залікової контрольної роботи.

Отриманні слухачем рейтингові бали переводять в університетські оцінки за шкалою:

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

11. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

- *Весь контроль здійснюється через відповідні розділи в системі “Електронний кампус”. Відомості для контролю відкриваються та закриваються в певний час, про який заздалегідь повідомляють. Для перескладання семестрового контролю студент має дві спроби, які також лімітовані по часу.*
- *У разі змішаного/дистанційного навчання спілкування з викладачем відбувається через Telegram та Viber.*
- *Результати навчання за даним освітнім компонентом, здобуті у неформальній/інформальній освіті, зокрема із використанням відкритих навчальних он-лайн курсів (Prometeus, Coursera тощо), визнаються за умови одержання відповідних сертифікатів. При цьому може бути перезарахований як освітній компонент повністю, так і його окремі складові (змістовні модулі, окремі теми, окремі практичні заняття). Можливість перезарахування (відповідність змісту дисципліни) та обсяг навчальних годин визначається викладачем для кожного конкретного випадку і здійснюється за процедурою, яка відповідає "Положенню про визнання в КПІ ім. Ігоря Сікорського результатів навчання, набутих у неформальній / інформальній освіті" (<https://osvita.kpi.ua/node/179>).*

Перелік запитань до контрольних робіт та семестрового контролю наведено в Додатках.

Складено професором кафедри фізичного матеріалознавства та термічної обробки, д. т. н. Макогоном Ю. М. та старшим викладачем, к.т.н. Вербицькою Т.І.

Ухвалено:

кафедрою Фізичного матеріалознавства та термічної обробки НН ІМЗ ім. Є.О. Патона (протокол № 11/25 від 12 лютого 2025 р.)

кафедрою Високотемпературних матеріалів та порошкової металургії НН ІМЗ ім. Є.О. Патона (протокол № 9 від 14 лютого 2025 р.)

Погоджено:

Методичною комісією НН ІМЗ ім. Є.О. Патона (протокол № 6/25 від 19 лютого 2025 р.)

Перелік питань для модульної контрольної роботи та семестрового контролю з дисципліни "Епітаксійні гетероструктури":

1. Метод термічного (вакуумного) напилення.
2. Метод електронно-променевого осадження.
3. Двошаровий метод.
4. Метод катодного розпилювання.
5. Фізичне катодне розпилювання
6. Реактивне катодне розпилювання.
7. Метод шаблону.
8. Діодне розпорошення.
9. Метод тріодного розпилювання.
10. Магнетронне розпилювання.
11. Метод надвисокочастотного плазмового осадження (13,6 МГц).
12. Мезотаксія. Алотаксія.
13. Твердофазна реакція.
14. Використання сурфактанту в епітаксійному зростанні плівки
15. Отримання аморфного стану.
16. Механізми зростання епітаксійних плівок. Дислокації невідповідності.
17. Адгезія. Методи визначення адгезії.
18. Адсорбція, абсорбція.
19. Застосування епітаксійних шарів тонких плівок в мікроприладобудуванні.
20. Хімічний склад вихідного матеріалу, що розпилюється.
21. Умови осадження.
22. Умови термічної обробки.
23. Структурно-фазовий стан підкладки.
24. Домішки.
25. Фактор нанорозмірності.
26. Внутрішні макронапруження в вакуумних конденсатах,
27. Механізми формування внутрішніх макронапружень.
28. Класифікація внутрішніх макронапружень.
29. Фазовий розмірний ефект.
30. Причини зміни періоду кристалічної решітки фаз в тонких плівках.
31. Поведінка домішкових атомів в плівці. Парціальний тиск.
32. Аномалії структурного стану вакуумних Вплив впорядкування на властивості твердих розчинів, конденсатів. Домішково-розмірний чинник.
33. Рентгенотензометричний спосіб визначення механічних макронапружень в плівках.
34. Вплив розмірного чинника на температуру фазового переходу в плівках.
35. Нанокристалічні матеріали. Особливості структурного стану.
36. Структурні характеристики плівок, які не спостерігаються в масивних матеріалах.
37. Вимоги до чистоти плівкових матеріалів. Вплив домішкових атомів в плівках на їх фізико-механічні властивості.

Назви тем і питань, що виносяться на самостійне опрацювання:

1. Причини зміни періоду кристалічної решітки фаз в тонких плівках.
 2. Рентгенотензометричний спосіб визначення механічних макронапружень в плівках.
 3. Фазовий розмірний ефект.
 4. Вплив впорядкування на властивості твердих розчинів.
 5. Способи визначення механічних напружень в плівках.
 6. Аномалії структурного стану вакуумних конденсатів, які можна пояснити домішковорозмірним чинником.
 7. Вплив розмірного чинника на температуру фазового переходу в плівках.
 8. Поведінка домішкових атомів в плівці. Парціальний тиск.
 9. Способи визначення механічних напружень в плівках.
 10. Аномалії структурного стану вакуумних конденсатів, які можна пояснити домішковорозмірним чинником.
 11. Нанокристалічні матеріали. Особливості структурного стану.
 12. Механізми зростання епітаксійних плівок. Дислокації невідповідності Структурні характеристики плівок, які не спостерігаються в масивних матеріалах.
 13. Отримання аморфного стану.
 14. Вимоги до чистоти плівкових матеріалів. Вплив домішкових атомів в плівках на їх фізико-механічні властивості.
 15. Отримання аморфного стану плівок.
- Необхідно підготувати звіт з кожного питання, які були винесені на самостійне опрацювання.

Додаток В

Питання для проведення заліку

Питання для проведення заліку складаються з питань, сформованих в білети по 3 запитання з різних розділів.