

СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

1. Загальна інформація про навчальну дисципліну

Повна назва навчальної дисципліни	Технологія тонких плівок
Повна офіційна назва закладу вищої освіти	Сумський державний університет
Повна назва структурного підрозділу	Факультет електроніки та інформаційних технологій. Кафедра електроніки, загальної та прикладної фізики
Розробник(и)	Шумакова Наталія Іванівна
Рівень вищої освіти	Перший рівень вищої освіти, НРК – 6 рівень, QF-LLL – 6 рівень, FQ-EHEA – перший цикл
Семестр вивчення навчальної дисципліни	16 тижнів протягом 7-го семестру
Обсяг навчальної дисципліни	Обсяг становить 5 кред. ЄКТС, 150 год., з яких 48 год. становить контактна робота з викладачем (24 год. лекцій, 24 год. лабораторних занять)
Мова викладання	Українська

2. Місце навчальної дисципліни в освітній програмі

Статус дисципліни	Обов'язкова навчальна дисципліна для освітньої програми "Електронні інформаційні системи"
Передумови для вивчення дисципліни	Передумови для вивчення відсутні
Додаткові умови	Додаткові умови відсутні
Обмеження	Обмеження відсутні

3. Мета навчальної дисципліни

Дати студентам поглиблене розуміння основ технології одержання, про структурні і функціональні особливості тонких плівок і покриттів, які мають широке застосування в електронних приладах і, зокрема, у мікроелектроніці; - сприяти формуванню у студентів глибоких теоретичних знань з фізичних властивостей плівкових матеріалів та покриттів; - формувати у студентів уміння та навички до логічного мислення, ставити і пояснювати експерименти з технології тонких плівок.

4. Зміст навчальної дисципліни

Тема 1 Методи одержання тонких плівок.

Рівноважний тиск металевої пари, залежність її від температури. Розподіл атомів металевої пари за швидкостями і енергіями. Конструкції випарників та їх застосування. Електронно-променево випарування. Іонне та реактивне розпилення.

<p>Тема 2 Методи контролю та вимірювання товщини тонких плівок.</p> <p>Ваговий метод, метод мікро зважування, метод кварцового резонатора. Загальна характеристика оптичних методів вимірювання, в т.ч. інтерференційного. Інші непрямі методи вимірювання.</p>
<p>Тема 3 Механізми конденсації плівок.</p> <p>Уявлення про адатом, кластер і критичний зародок.. Чотири стадії росту тонкої плівки. Критична товщина, критична температура конденсації. Узагальнена діаграма механізмів конденсації</p>
<p>Тема 4 Утворення дефектів в плівках.</p> <p>Типи дефектів у тонких плівках. Утворення дислокацій в плівках, механізми утворення дислокацій. Залежність концентрації дислокацій від товщини плівок. Порівняльна характеристика концентрації дислокацій в плівках і масивних матеріалах.</p>
<p>Тема 5 Межі зерен в плівках.</p> <p>Структура і фізичні особливості межі зерен. Уявлення про субструктуру зерен. Залежність середнього розміру зерен від товщини, швидкості конденсації, температури відпалювання, температури підкладки.</p>
<p>Тема 6 Ріст епітаксialних плівок.</p> <p>Механізми епітаксialного росту і зародження епітаксialних частинок. Види спряжень кристалів при епітаксialному рості. Псевдоморфний ріст, змінювання параметра решітки при псевдоморфному рості.</p>
<p>Тема 7 Нанокристалічні та аморфні плівкові матеріали.</p> <p>Моделі аморфної речовини. Залежність температури кристалізації аморфної фази від товщини в процесі конденсації або термовідпалювання. Порівняльна характеристика та нанокристалічних речовин.</p>
<p>Тема 8 Макронапруження в тонких плівках.</p> <p>Види і природа макронапружень в тонких плівках. Залежність величини макронапружень від товщини плівки, температури підкладки, швидкості конденсації та температури відпалювання. Методи вимірювання та розрахунку макронапружень.</p>
<p>Тема 9 Старіння в тонких плівках.</p> <p>Типи старіння. Загальна характеристика фізико-хімічного старіння плівкових матеріалів на основі металу та сірки або селену. Вплив температури витримання та відпалювання на фізико-хімічне старіння. Фазове старіння, приклади фазового старіння. Макро- і субструктурне старіння, приклади. Польове старіння плівкових матеріалів (вплив електричних і магнітних полів, механічних навантажень, температури).</p>
<p>Тема 10 Механічні властивості металевих плівок.</p> <p>Методи вимірювання адгезії. Природа сил адгезії, суть методу відшарування (метод Стоні).</p>

5. Очікувані результати навчання навчальної дисципліни

Після успішного вивчення навчальної дисципліни здобувач вищої освіти зможе:

PH1	PH1 Використовувати електронні прилади та пристрої різного функціонального призначення, дотримуючись правил їх зберігання та експлуатації
PH2	PH2 Знати принципи роботи пристроїв , знати базові умови експлуатації сучасного електронного устаткування, приладів та пристроїв .

6. Роль навчальної дисципліни у досягненні програмних результатів

Програмні результати навчання, досягнення яких забезпечує навчальна дисципліна.
Для спеціальності 171 Електроніка:

ПР6	ПР6 Застосовувати експериментальні навички (знання експериментальних методів та порядку проведення експериментів) для перевірки гіпотез та дослідження явищ електроніки, вміти використовувати стандартне обладнання, планувати, складати схеми; аналізувати, моделювати та критично оцінювати отримані результати.
ПР13	ПР13 Вміти засвоювати нові знання, прогресивні технології та інновації, знаходити нові нешаблонні рішення і засоби їх здійснення; відповідати вимогам гнучкості в подоланні перешкод та досягненні мети, раціонального використання та нормування часу, дисциплінованості, відповідальності за свої рішення та діяльність.

7. Види навчальних занять та навчальної діяльності

7.1 Види навчальних занять

Тема 1. Методи одержання тонких плівок.	
Лк1 "Рівноважний тиск металевої пари" (денна)	Рівноважний тиск металевої пари, залежність її від температури. Розподіл атомів металевої пари за швидкостями і енергіями.
Лк2 "Методи одержання тонких плівок" (денна)	Конструкції випарників та їх застосування. Електронно-променево випарування. Іонне та реактивне розпилення.
Тема 2. Методи контролю та вимірювання товщини тонких плівок.	
Лк3 "Загальна характеристика оптичних методів вимірювання. . Інші непрямі методи вимірювання." (денна)	Ваговий метод, метод мікро зважування, метод кварцового резонатора. Загальна характеристика оптичних методів вимірювання, в т.ч. інтерференційного. Інші непрямі методи вимірювання.
Лб1 "Інтерферометричний метод вимірювання товщини тонких плівок." (денна)	На скляну підкладку методом термічного випарування сконденсувати підшар Ag, далі притиснути дріт із Cu чи іншого матеріалу а зверху конденсується зразок, товщину якого треба виміряти.

<p>Лб2 "Інтерферометричний метод вимірювання товщини тонких плівок" (денна)</p> <p>Після отримання зразка, його треба розмістити в інтерферометр Лінника, отриманні данні занести у таблицю і розрахувати товщину зразка згідно формулі.</p>
<p>Тема 3. Механізми конденсації плівок.</p>
<p>Лк4 "Чотири стадії росту тонкої плівки." (денна)</p> <p>Уявлення про адатом, кластер і критичний зародок.. Чотири стадії росту тонкої плівки. Критична товщина, критична температура конденсації. Узагальнена діаграма механізмів конденсації</p>
<p>Лк5 "Узагальнена діаграма механізмів конденсації." (денна)</p> <p>Уявлення про різні механізми конденсації. Узагальнення результатів у вигляді діаграми.</p>
<p>Лб3 "Дослідження механізмів конденсації тонких металевих плівок." (денна)</p> <p>Експериментальні спостереження механізмів конденсації: насичена пара</p>
<p>Лб4 "Дослідження механізмів конденсації тонких металевих плівок." (денна)</p> <p>При досягненні робочого вакууму (10-4 Па) створити градієнт температури і побудувати залежність $T_p = f(x)$. Провести конденсацію плівки, визначити механізми конденсації.</p>
<p>Тема 4. Утворення дефектів в плівках.</p>
<p>Лк6 "Типи дефектів у тонких плівках." (денна)</p> <p>Утворення дислокацій в плівках, механізми утворення дислокацій. Залежність концентрації дислокацій від товщини плівок. Порівняльна характеристика концентрації дислокацій в плівках і масивних матеріалах.</p>
<p>Лб5 "Визначення енергії активації заліковування дефектів кристалічної будови тонких металевих плівок" (денна)</p> <p>1. Підготувати підкладку, прилади для вимірювання температури і опору плівки та нагрівник підкладки. 2. Провести конденсацію плівки при температурі підкладки $T_p = 300$ К та термообробку з постійною швидкістю нагрівання і охолодження (від 5 до 10 К/хв.), фіксуючи час (t_i) та відповідну температуру (T_i) через</p>
<p>Лб6 "Визначення енергії активації заліковування дефектів кристалічної будови тонких металевих плівок" (денна)</p> <p>Виходячи з експериментальних результатів, одержаних у процесі термообробки (відпалювання) тонкої металевої плівки (Cu, Cr, Ni, Co), визначити енергію активації заліковування дефектів кристалічної будови (вакансій, вакансійних комплексів та дефектів пакування).</p>
<p>Лб7 "Захист лабораторних робіт 1-6" (денна)</p> <p>Дати відповіді (письмово) на контрольні запитання до лабораторних робіт.</p>
<p>Тема 5. Межі зерен в плівках.</p>

<p>Лк7 "Структура і фізичні особливості межі зерен." (денна) Уявлення про субструктуру зерен. Залежність середнього розміру зерен від товщини, швидкості конденсації, температури відпалювання, температури підкладки.</p>
<p>Тема 6. Ріст епітаксіальних плівок.</p>
<p>Лк8 "Механізми епітаксійного росту і зародження епітаксіальних частинок." (денна) Механізми епітаксійного росту і зародження епітаксіальних частинок. Види спряжень кристалів при епітаксійному рості. Псевдоморфний ріст, змінювання параметра решітки при псевдоморфному рості.</p>
<p>Тема 7. Нанокристалічні та аморфні плівкові матеріали.</p>
<p>Лк9 "Моделі аморфної речовини." (денна) Залежність температури кристалізації аморфної фази від товщини в процесі конденсації або термовідпалювання. Порівняльна характеристика та нанокристалічних речовин.</p>
<p>Тема 8. Макронапруження в тонких плівках.</p>
<p>Лк10 "Види і природа макронапружень в тонких плівках." (денна) Види і природа макронапружень в тонких плівках. Залежність величини макронапружень від товщини плівки, температури підкладки, швидкості конденсації та температури відпалювання. Методи вимірювання та розрахунку макронапружень.</p>
<p>Лб8 "Методи вимірювання макронапруження." (денна) 1. Підготувати вакуумну установку, вимірювальну апаратуру, закріпити термопару на тому боці підкладки, на якому буде осаджуватися плівка. 2. Одержати необхідний вакуум ($\sim 10^{-3}$ Па) і провести серію вимірювань величини залежно від часу конденсації.</p>
<p>Лб9 "Дослідження механічних властивостей металевих плівок." (денна) Одержати залежність величини структурних макронапружень від товщини металеві плівки; оцінити внесок макронапружень термічного походження в загальну величину макронапружень. Провести обчислення S, S_c та S_t і побудувати залежність $S(d)$.</p>
<p>Тема 9. Старіння в тонких плівках.</p>
<p>Лк11 "Типи старіння." (денна) Загальна характеристика фізико-хімічного старіння плівкових матеріалів на основі металу та сірки або селену. Вплив температури витримування та відпалювання на фізико-хімічне старіння.</p>
<p>Лк12 "Процеси старіння в тонких плівках" (денна) Фазове старіння, приклади фазового старіння. Макро- і субструктурне старіння, приклади. Польове старіння плівкових матеріалів (вплив електричних і магнітних полів, механічних навантажень, температури).</p>
<p>Тема 10. Механічні властивості металевих плівок.</p>

Лб10 "Дослідження механічних властивостей металевих плівок (адгезія)." (денна) Підготувати вакуумну установку, підкладки для конденсації плівок. Провести заміри зусилля, при якому відшаровується плівка металу зі скла.
Лб11 "Дослідження механічних властивостей металевих плівок." (денна) Побудувати залежність при якійсь постійній швидкості відшарування, проекструполюйте її на нульовий кут
Лб12 "Захист лабораторних робіт 8-11." (денна) Дати відповіді (письмово) на контрольні запитання до лабораторних робіт.

7.2 Види навчальної діяльності

НД1	Підготовка до лекцій
НД2	Підготовка до лабораторного заняття
НД3	Виконання та презентація результатів лабораторної роботи
НД4	Підготовка до атестації
НД5	Підготовка до поточного та підсумкового контролю

8. Методи викладання, навчання

Дисципліна передбачає навчання через:

МН1	Метод ілюстрацій
МН2	Інтерактивні лекції
МН3	Пошукова лабораторна робота

Для оперативних консультацій та занять в умовах не сприятливих епідеміологічних обставин, використовуються сервіс відео-зв'язку Google Meet.

Під час проведення занять бакалаври отримують навички комунікації, вміння працювати в команді, здатність логічно і системно мислити.

9. Методи та критерії оцінювання

9.1. Критерії оцінювання

Визначення	Чотирибальна національна шкала оцінювання	Рейтингова бальна шкала оцінювання
Відмінне виконання лише з незначною кількістю помилок	5 (відмінно)	$90 \leq RD \leq 100$
Вище середнього рівня з кількома помилками	4 (добре)	$82 \leq RD < 89$
Загалом правильна робота з певною кількістю помилок	4 (добре)	$74 \leq RD < 81$

Непогано, але зі значною кількістю недоліків	3 (задовільно)	$64 \leq RD < 73$
Виконання задовольняє мінімальні критерії	3 (задовільно)	$60 \leq RD < 63$
Можливе повторне складання	2 (незадовільно)	$35 \leq RD < 59$
Необхідний повторний курс з навчальної дисципліни	2 (незадовільно)	$0 \leq RD < 34$

9.2 Методи поточного формативного оцінювання

МФО1	Перевірка результатів проведення експериментів
МФО2	Проведення розрахунків

9.3 Методи підсумкового сумативного оцінювання

МСО1	Звіт за результатами виконання лабораторних робіт
МСО2	Поточні контрольні роботи (проміжний модульний контроль)
МСО3	Складання комплексного письмового модульного контролю

Контрольні заходи:

7 семестр		100 балів
МСО1. Звіт за результатами виконання лабораторних робіт		40
	5x8	40
МСО2. Поточні контрольні роботи (проміжний модульний контроль)		30
	2x15	30
МСО3. Складання комплексного письмового модульного контролю		30
		30

Контрольні заходи в особливому випадку:

10. Ресурсне забезпечення навчальної дисципліни

10.1 Засоби навчання

ЗН1	Бібліотечні фонди
ЗН2	Лабораторне обладнання (хімічне, фізичне, медичне, матеріали та препарати тощо)
ЗН3	Проекційна апаратура

10.2 Інформаційне та навчально-методичне забезпечення

Основна література	
1	Проценко І.Ю., Шумакова Н.І. «Технологія одержання і застосування плівкових матеріалів» для студентів вищих навчальних закладів.- Суми: СумДУ, 2017.- 198 с.

2	Проценко І.Ю., Однорець Л.В. Технологія одержання і фізичні властивості плівкових матеріалів та основи мікроелектроніки (практикуми): навчальний посібник . – Суми: Сумський державний університет, 2020. – 231 с.
Допоміжна література	
3	Проценко І.Ю., Черноус А.М., Проценко С.І. Прилади і методи дослідження плівкових матеріалів. Електронне видання / За ред. І.Ю. Проценка. – Суми: Вид-во СумДУ, 2020. – 270с.