

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Львівський національний університет імені Івана Франка
Факультет електроніки та комп'ютерних технологій
Кафедра фізичної та біомедичної електроніки

Затверджено

На засіданні кафедри фізичної та біомедичної електроніки
факультету електроніки та комп'ютерних технологій
Львівського національного університету
імені Івана Франка
(протокол №1 від 28 серпня 2024 р.)

Завідувач кафедри
професор Олег БОРДУН



Силабус з навчальної дисципліни
«Тонкоплівкові мікроелектронні пристрої»,
що викладається в межах ОП
«Пристрої та матеріали сенсорної електроніки »
другого (магістерського) рівня вищої освіти
для здобувачів зі спеціальності
176 «Мікро- та наносистемна техніка »

Львів 2024

Назва курсу	Тонкоплівкові мікроелектронні пристрої
Адреса викладання дисципліни	вул. Драгоманова, 50, 79005 Львів
Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна	Факультет електроніки і комп'ютерних технологій, кафедра фізичної та біомедичної електроніки
Галузь знань, шифр та назва спеціальності	17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації 176 Мікро- та наносистемна техніка
Викладачі дисципліни	доцент кафедри фізичної та біомедичної електроніки, канд.фіз.-мат.наук. Пенюх Богдан Романович
Контактна інформація викладачів	bohdan.penyukh@lnu.edu.ua https://electronics.lnu.edu.ua/employee/penyuh-bohdan-romanovych/
Консультації з питань навчання по дисципліні відбуваються	Консультації в день проведення лекцій та лабораторних занять (за попередньою домовленістю). Можливі також он-лайн консультації через MSTeams та електронну пошту.
Сторінка дисципліни	https://electronics.lnu.edu.ua/course/tonkoplivkovi-mikroelektronni-prystroi/
Інформація про дисципліну	Дисципліна “Тонкоплівкові мікроелектронні пристрої” є нормативною дисципліною зі спеціальності 176 Мікро- та наносистемна техніка для освітньої програми «Пристрої та матеріали сенсорної електроніки», яка викладається у 1 семестрі в обсязі 4,5 кредити (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Коротка анотація дисципліни	Розглядаються питання, пов'язані з методами одержання плівкових зразків; аналізуються фізичні явища, які можуть суттєво впливати на параметри елементів мікро- і наноелектроніки; вивчаються методи дослідження властивостей плівкових матеріалів та визначення робочих параметрів і характеристик мікроелектронних приладів.
Мета та цілі дисципліни	Метою викладання навчальної дисципліни є формування у студентів знань та практичних навичок роботи з системами препарування плівкових зразків, спеціальними методиками контролю за їх фізичними параметрами та розуміння процесів що лежать в основі роботи плівкових мікроелектронних пристроїв різного ступеня складності.
Література для вивчення дисципліни	Основна література: <ol style="list-style-type: none"> 1. W. Menz, J. Mohr, O. Paul. Microsystem Technology / John Wiley & Sons, 2001, P.500. 2. C. Y. Chang, S. M. Sze. ULSI devices / John Wiley & Sons, 2000, P. 729. 3. Stephen A. Campbell. The Science and Engineering of Microelectronic Fabrication / Oxford University Press, 2001, P.603. 4. Richard C. Jaeger. Introduction to Microelectronic Fabrication. Second Edition. Volume V / Prentice Hall, 2002, P.318. 5. Owen Bishop. Microelectronics – Systems and Devices / Newnes, Oxford, 2000, P.213. 6. Adel S. Sedra, Kenneth C. Smith. Microelectronic Circuits. Fifth Edition / Oxford University Press, 2004, P. 1373. 7. B. R. Sankapal, A. Ennaoui, R. B. Gupta, Ch. D. Lokhande, Simple Chemical Methods for Thin Film Deposition. Synthesis and Applications. / Springer Nature Singapore Pte Ltd., 2023, P. 582.

	<p>8. Коман Б. П. Функціональні елементи інформаційних систем на базі напівпровідникової електроніки : навч. посібник / Б. П. Коман. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2018. – 794 с.</p> <p>9. Stephen D. Senturia. Microsystem Design / 1 Kluwer Academic Publishers, 2002, P.689.</p> <p>10. 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</p> <p>11. Сусліков Л.М., Дьордяй В.С. Фізика і технологія наноматеріалів: навчальний посібник для студентів фізико-технічних спеціальностей. – Ужгород: Видавництво «Говерла», 2023. – 437 с.</p> <p>Додаткова література:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Clifton G. Fonstad. Microelectronic Devices and Circuits. Electronic Edition / McGraw-Hill, 2006, P 686. 2. Павлов С. М., Войцеховська О. В. Технологія мікроелектронних засобів : навчальний посібник. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 169 с. 3. U. Okoroanyanwu, Lithographic resists as amazing compact imaging systems – A review. Micro and Nano Engineering 24, 100280 (2024). 4. Peter M. Martin Handbook for Deposition Technologies for Films and Coatings. Science application and Technology / Elsevier Inc, 2010, P 912. 5. Hartmut Frey and Hamid R. Khan. Handbook of Thin-Film Technology / Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2015, P 379. 6. Harry J. Levinson. Principles of Lithography. Fourth Edition / SPIE Press, Bellingham, Washington USA, 2019, P.571
Тривалість дисципліни	один семестр
Обсяг дисципліни	135 год, з яких 48 год аудиторних занять, з них 16 год лекцій, 32 год лабораторних занять та 87 год самостійної роботи
Очікувані результати навчання	<p>У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен:</p> <p>знати: основні плівкові елементи пристроїв мікроелектроніки; методи отримання тонких плівок; принципи конструювання установок для отримання тонких плівок; найважливіші параметри, що характеризують тонкоплівкові зразки та методи їх контролю.</p> <p>вміти: працювати із системами для нанесення плівок у вакуумі; виготовляти найпростіші випаровувачі для термічного випаровування матеріалу; визначати товщину, шорсткість поверхні плівки та коефіцієнт рівнотовщинності; визначати адгезію плівок; наносити захисні маскуючі покриття фотолітографічним методом; отримувати тонкі плівки металів методом електрохімічного осадження з водних розчинів їх солей.</p> <p>Після вивчення курсу здобувачі набувають таких компетентностей і програмних результатів:</p> <p>ЗК1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу</p>

ЗК4. Здатність проводити досліджень на відповідному рівні.

ЗК5. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

ЗК8. Здатність спілкуватися з представниками інших професійних груп різного рівня (з експертами з інших галузей знань/видів економічної діяльності).

СК1. Здатність ефективно використовувати складне контрольнo-вимірювальне, технологічне та дослідницьке обладнання при дослідженнях та виробництві матеріалів, компонентів, приладів і пристроїв мікро- та наносистемної техніки різноманітного призначення.

СК2. Здатність здійснювати тестування та діагностику приладів та обладнання, а також оброблення і аналіз отриманих результатів.

СК3. Здатність аналізувати та синтезувати мікро- та нанoeлектронні системи різного призначення

СК4. Здатність розробляти, обґрунтовано вибирати і використовувати сучасні методи обробки та аналізу сигналів в мікро- і нанoeлектронних приладах та системах.

СК5. Здатність аргументувати вибір методів розв'язання складних задач і проблем мікро- та наносистемної техніки, критично оцінювати отримані результати та аргументувати прийняті рішення.

СК6. Здатність користуватися сучасними системами пошуку та аналізу науково-технічної інформації, проводити патентний пошук і дослідження та здійснювати захист інтелектуальної власності.

СК7. Здатність розробляти і реалізовувати наукові та/або інноваційні проекти у сфері мікро- та наносистемної техніки, а також дотичні до неї міждисциплінарні проекти.

СК8. Здатність використовувати профільні знання та практичні навички для дослідження, розроблення і оптимізації матеріалів та пристроїв сенсорної електроніки.

Р1. Формулювати і розв'язувати складні інженерні, виробничі та/або наукові задачі під час проектування, виготовлення і дослідження мікро- та наносистемної техніки різноманітного призначення та створення конкурентоспроможних розробок, втілення результатів у бізнес-проектах.

Р3. Оптимізувати конструкції систем, пристроїв та компонентів мікро- та наносистемної техніки, а також технології їх виготовлення.

Р4. Застосовувати спеціалізовані концептуальні знання, що включають сучасні наукові здобутки, а також критичне осмислення сучасних проблем у сфері мікро- та нанoeлектроніки, для розв'язування складних задач професійної діяльності.

Р6. Розробляти вироби та компоненти мікро- та наносистемної техніки, враховуючі вимоги до їх характеристик, технологічні та ресурсні обмеження; використовувати сучасні інструменти автоматизації проектування.

Р7. Розв'язувати задачі синтезу та аналізу приладів та пристроїв мікро- та наносистемної техніки.

Р8. Збирати необхідну інформацію, використовуючи науково-технічну літературу, бази даних та інші джерела, аналізувати і оцінювати її.

	<p>P11. Досліджувати процеси у мікро- та наноелектронних системах, приладах й компонентах з використанням сучасних експериментальних методів та обладнання, здійснювати статистичну обробку та аналіз результатів експериментів.</p> <p>P13. Керувати складними робочими процесами у сфері виробництва та/або досліджень мікро- та наноелектронних систем, об'єктивно оцінювати результати діяльності колективу та окремих працівників, визначати заходи щодо покращення результатів діяльності.</p> <p>P16. Досліджувати, проектувати і розробляти матеріали та пристрої сенсорної електроніки, розуміти перспективи їхнього використання у сучасних сенсорних системах різноманітного призначення.</p>
Ключові слова	Тонкі плівки, нанесення тонких плівок, мікроелектронні плівкові пристрої.
Формат дисципліни	Очний.
	проведення лекцій, лабораторних робіт та консультації для кращого розуміння тем
Теми	Див. СХЕМА КУРСУ
Підсумковий контроль, форма	іспит у кінці семестру
Пререквізити	Для вивчення курсу студенти потребують базових знань у галузі 17 – Електроніка, автоматизація та електронні комунікації. Навчальна дисципліна «Тонкоплівкові мікроелектронні пристрої» вивчається у логічному взаємозв'язку з іншими навчальними дисциплінами, що обумовлює необхідність постійного обліку та реалізації викладачами існуючих міжпредметних зв'язків з суміжними навчальними курсами, зокрема, такими як «Фізика твердого тіла», «Фізика напівпровідників», «Твердотільна електроніка», «Фізична електроніка» та інші.
Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу	лекції (презентації, відео демонстрації), лабораторні роботи, обговорення, дискусії.
Необхідне обладнання	платформа MS Teams, комп'ютерне програмне забезпечення, лабораторне обладнання: вакуумні пости ВУП-5М, інтерференційний мікроскоп МІІІ-4, металографічні світлові мікроскопи, система суміщення та експонування фотошаблонів, спін-коатер, п'езокварцові датчики товщини, спектрофотометр СФ-46, монохроматор МДР-12.
Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)	<p>Оцінювання проводиться упродовж семестру за 100-бальною шкалою.</p> <p>Бали нараховуються за такими видами робіт з наступним співвідношенням:</p> <ul style="list-style-type: none"> • лабораторні роботи: 40% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 40; • контрольні заміри (1 модуль): 10% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 10; • іспит: 50% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 50. <p>Загалом упродовж семестру 100 балів</p>

Академічна доброчесність: Студенти повинні самостійно виконати ряд лабораторних робіт, а також підготувати реферат або проєкт за тематикою курсу. Відсутність у звітах до лабораторних робіт, а також в контрольних роботах посилань на використані джерела, фабрикування джерел, списування, втручання в роботу інших студентів становлять, але не обмежують, приклади можливої академічної недоброчесності. Виявлення ознак академічної недоброчесності в роботі студента є підставою для її незарахування викладачем, незалежно від масштабів плагіату чи обману.

Відвідування занять є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції і лабораторні заняття курсу. Студенти мають інформувати викладача про неможливість відвідати заняття. Студенти зобов'язані дотримуватися усіх термінів визначених для виконання усіх видів робіт, передбачених курсом.

Література. Уся література, яку студенти не зможуть знайти самостійно, буде надана викладачем виключно в освітніх цілях без права її передачі третім особам. Студенти заохочуються до використання також й іншої літератури та джерел, яких немає серед рекомендованих.

Політика виставлення балів. Враховуються бали набрані на поточному тестуванні, самостійній роботі та бали підсумкового тестування. При цьому обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність студента під час лабораторного заняття; недопустимість пропусків та запізнь на заняття; користування мобільним телефоном, планшетом чи іншими мобільними пристроями під час заняття в цілях не пов'язаних з навчанням; списування та плагіат; несвоєчасне виконання поставленого завдання і т. ін. Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.

Оцінювання лабораторних робіт (8 лабораторних робіт, максимальна кількість балів: 40) відбувається шляхом оцінки підготовки до виконання лабораторної роботи, безпосереднього її виконання та захисту звіту:

- лабораторні роботи 1-8 (0-5 балів за одну роботу: $8 \times 5 = 40$ балів)

Бали оцінювання лабораторних робіт нараховуються за наступним співвідношенням:

5 – студент в повному обсязі володіє навчальним матеріалом, має повне розуміння розглянутої теми, повністю самостійно реалізує поставлені завдання для виконання роботи, надає правильні відповіді на запитання по темі, демонструє використані підходи, методи, прототипи, моделі відповідно до завдання;

4 – студент достатньо розуміє розглянутий матеріал, повністю самостійно реалізує поставлені завдання для виконання роботи, присутні неточності та незначні помилки у відповідях на запитання по темі, демонструє використані підходи, методи, прототипи, моделі відповідно до завдання (або з несуттєвими недоліками);

3 – студент не досить добре розуміє розглянутий матеріал та вагається та надає неточні/не конкретні відповіді на запитання по темі, частково самостійно реалізує поставлені завдання для

виконання роботи, демонструє використані підходи, методи, прототипи, моделі відповідно до завдання з помірними недоліками;

2 – студент погано розуміє розглянутий матеріал, частково самостійно реалізує поставлені завдання для виконання роботи, та в більшості надає помилкові відповіді на питання по темі, демонструє використані підходи, методи, прототипи, моделі відповідно до завдання з суттєвими недоліками;

1 - студент погано розуміє розглянутий матеріал та використані підходи, методи, прототипи, моделі відповідно до завдання не функціонують належним чином, не в змозі самостійно реалізувати завдання для виконання роботи, лише при допомозі викладача;

0 - студент зовсім не засвоїв розглянутий матеріал, використані підходи, методи, прототипи, моделі відповідно до завдання не функціонують належним чином /не функціонують взагалі, не в змозі при допомозі викладача реалізувати завдання для виконання роботи

Контрольні заміри проводяться у формі письмових відповідей на контрольні запитання (1 модуль на 10 балів).

Іспит оцінюється за 50 бальною системою згідно наступних критеріїв:

Бали	Критерії оцінювання
40–50	Відповіді, в яких навчальний матеріал відтворюється в повному обсязі, правильно, обґрунтовано, логічно, які містять аналіз і систематизацію, аргументовані висновки. Засвідчено глибоке володіння матеріалом.
25–39	Відповіді, в яких відтворюється значна частина навчального матеріалу. Виявлено знання і розуміння основних положень навчальної дисципліни.
14–24	Відповіді, в яких основні положення навчального матеріалу відтворено на рівні заучування без достатнього його розуміння.
1–13	Відповіді, які засвідчують, що навчальний матеріал не засвоєно. Відсутність чіткого і логічного формулювання.
0	Не виконав.

Питання до модульних контролів (замірв знань)

1. Дайте означення тонкої плівки.
2. Перелічіть головні операції при отриманні плівок у вакуумі.
3. Як впливає температура підкладки на структуру тонких плівок?
4. Для чого в робочий об'єм системи лазерного розпилення напускають інертний газ?
5. Переваги випаровувачів з резистивним розігрівом
6. Вкажіть умови застосовності закону Рауля.
7. Перелічіть недоліки діодних систем катодного розпилення.
8. Механізми іонного розпилення. Коефіцієнт іонного розпилення.

9. Прокласифікуйте основні способи отримання плівок у вакуумі.
10. Дайте означення молекулярного пучка.
11. Поясніть суть ефекту підпилення.
12. Перелічіть недоліки випаровувачів з резистивним розігрівом.
13. Суть методу трьох температур.
14. Навіщо охолоджують тиглі при електронно-променевому розпиленні матеріалів?
15. Перелічіть явища, що лежать в основі іонного розпилення. Вкажіть механізми іонного розпилення.
16. Суть, переваги та недоліки реактивного розпилення
17. Перелічіть основні процеси, що протікають при осадженні тонких плівок у вакуумі.
18. Вкажіть які переваги вакуумного осадження тонких плівок.
19. Перелічіть ступені розрідження. (вкажіть діапазони тиску).
20. Дайте означення температури випаровування.
21. Перелічіть вимоги до матеріалів резистивних випаровувачів.
22. Вкажіть які недоліки притаманні методу дискретного наплення.
23. Вкажіть недоліки електронно-променевих випаровувачів з магнітним фокусуванням.
24. Зобразіть спад потенціалу у трубці тліючого розряду. Поясніть вибір оптимальних параметрів у плазмі тліючого розряду при іонному розпиленні
25. Суть високочастотного розпилення. Його переваги та недоліки
26. Зобразіть типову установку для осадження плівок у вакуумі.
27. Перелічіть стадії росту плівок.
28. Що таке сублимація? Наведіть приклади речовин, що сублимують.
29. Вимоги до матеріалів тигельних випаровувачів.
30. Перелічіть вимоги до матеріалів термічних випаровувачів з прямим підігрівом.
31. Сформулюйте закон Рауля.
32. Перелічіть типи конструкцій систем термічного випаровування з електронним бомбардуванням.
33. Принцип магнетронного розпилення.
34. Режим роботи вторинної іонної мас-спектрокопії
35. Суть методу п'єзокварцового вібратора для визначення товщини плівок.
36. Адсорбційні методи та дослідження процесів зародкоутворення для визначення адгезії тонких плівок.
37. Газотранспортні реакції як метод хімічного осадження плівок при відновленні.
38. Розподіл випаровуваних з комірки Кнудсена молекул за напрямками.
39. Метод двохпроменевої інтерференції для визначення товщини плівок, його реалізація, переваги та недоліки.

40. Суть переваги і недоліки х-променевого аналізу для визначення хімічного складу плівок.
41. Суть методу диспропорціонування при осадженні тонких плівок з парової фази.
42. Суть методів подряпин та відриву плівки для визначення адгезії плівок.
43. Золь-гель метод отримання тонких плівок.
44. Сформулюйте закон розподілу косинусів. Суть його дослідної перевірки.
45. Методи багатопроменевої інтерференції для визначення товщини плівок.
46. Принцип роботи і конструкція іонізаційного давача потоку випаровуваної речовини.
47. Коефіцієнт рівнотовщинності. Спеціальні методи забезпечення рівномірності покриттів при вакуумному нанесенні.
48. Принцип іонного осадження та газового анодування для отримання тонких плівок.
49. Зробіть порівняльну класифікацію методів дослідження структури тонких плівок.
50. Суть методу Atomic layer deposition. Опис типового циклу.
51. Модель гетерогенної конденсації.
52. Молекулярно променева епітаксія.
53. Etch-back метод в літографії
54. Х-променева літографія
55. Параметри росту методу Atomic layer deposition.
56. Суть та реалізація рідкофазної епітаксії.
57. Зони росту плівок
58. Lift-off метод в літографії.
59. Електронна літографія
60. Визначення адгезії плівок за допомогою AFM
61. Метод ван дер Пау для визначення провідності плівок. Суть, переваги та недоліки.
62. Визначення адгезії плівок за допомогою методу відриву стрічки.
63. Чотирьохзондовий метод для визначення провідності плівок. Суть, переваги та недоліки.
64. Перелічіть спрощення моделі Фукса-Зондгеймера, що описує перенесення заряду в тонких металевих плівках.
65. Суть spin-coating. Які параметри впливають на товщину фоторезисту?
66. Схема степера EUV літографії. Завдання кожного блока степера.
67. Варіанти реалізації іонно-променевої літографії. Переваги і недоліки
68. Параметри процесу травлення.
69. Зобразіть схему lift-off фотолітографії. Вкажіть особливості такого процесу.
70. Перелічіть варіанти реалізації електронно-променевої літографії. Порівняйте швидкість “запису” кожного варіанту.
71. Роздільна здатність фотолітографії. Критерій Релея.
72. Зміст кристалографічного травлення.
73. Зобразіть схему комірки сухого травлення у ВЧ плазмі. Особливості роботи такої комірки.

	<p>74. Перелічіть основні стадії процесу фотолітографії. Коротко зазначте зміст кожної.</p> <p>75. Зобразіть схему etch-back фотолітографії. Вкажіть особливості такого процесу.</p> <p>76. Принципи виготовлення дзеркал для потреб EUV літографії.</p> <p>77. Методи реалізації анізотропного травлення у рідкому травнику.</p> <p>78. Прокласифікуйте варіанти реалізації сухого травлення.</p> <p>79. Перелічіть варіанти реалізації та наведіть принципові схеми систем експонування у фотолітографії.</p> <p>80. Суть моделей, що описують внутрішній розмірний ефект.</p> <p>81. Електрохімічне травлення. Схеми реалізації.</p> <p>82. Вкажіть переваги і недоліки електронно-променевої літографії.</p> <p>83. Суть imprint літографії. Переваги і недоліки.</p>
Опитування	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

СХЕМА КУРСУ

Тиж.	Тема, план, короткі тези	Форма діяльності (заняття)	Література. Ресурси в Інтернеті	Завдання (лабораторна робота), год	Термін виконання
1-2	Вступ. Вступ до технологій мікроелектроніки. Історія розвитку мікроелектроніки. Вибір базових хімічних елементів для потреб мікроелектроніки. Front End та Back End технології. Закон Мура. Перспективні напрямки розвитку мікроелектроніки. Класифікація плівкових покриттів. Загальна класифікація методів отримання тонких плівок.	лк	2,3,4 (дод 1,2)	Отримання плівок у вакуумі методом іонного розпилення 4 год	1, 2 тиж. семестру
3-4	Фізичні методи отримання тонких плівок. Термічне випаровування. Теоретичні основи термічного випаровування. Швидкість випаровування. Рі-ня Герца-Кнудсена. Вільне випаровування. Ефузія. Рівняння Ленгмюра. Температура випаровування. Лазерне випаровування. Електродугове розпилення. Резистивні випаровувачі. Тигельні випаровувачі. Термічне випаровування з електронним бомбардуванням. Випаровування сплавів, сполук і сумішей. Випаровування сплавів. Закон Рауля. Механізми випаровування сполук. Спеціальні методи для отримання плівок сплавів, сполук та сумішей методами термічного випаровування. Реактивне випаровування. Лабіринтний випаровувач. Випаровування сумішей. Дискретне випаровування. Метод двох випаровувачів. Метод трьох температур.	лк	1,2,3,4,7,10,11 (дод 2,3,4,5)	Визначення товщини плівок за допомогою п'єзокварцового давача 4 год	3, 4 тиж. семестру

5-6	<p>Отримання плівок у вакуумі методом іонного розпилення</p> <p>Процеси в газорозрядній плазмі. Коефіцієнт розпилення. Фактори, що впливають на значення коефіцієнту розпилення. Механізми іонного розпилення. Катодне розпилення (діодна схема). Магнетронне розпилення. Висоочастотне розпилення у вакуумі. Випаровування сполук, сплавів та сумішей методом іонного розпилення. Реактивне розпилення. Особливості конструювання вакуумних систем для іонного розпилення. Іонне травлення. Реактивне травлення</p>	лж	2,3,4,7,10,11 (дод 2,3,4,5)	Визначення товщини та морфології поверхні плівок за допомогою інтерференційного мікроскопа 4 год	5, 6 тиж. семестру
7-8	<p>Контроль параметрів плівок і технологічних режимів їх нанесення</p> <p>Вимірювання товщини плівок. Класифікація давачів. Іонізаційні давачі. П'єзокварцовий давач товщини (поток). Принципи градуювання давачів товщини. Оптичні методи визначення товщини тонких плівок. Рефракційна спектроскопія. Методи двопробневої інтерференції. Багатопробнева інтерференція. Інтерференційний мікроскоп Лінніка. Інтерференційні ефекти у спектрах пропускання (Метод Валєєва). Еліпсометрія.</p> <p>Методи визначення провідності тонких плівок. Вимірювання опору плівок (провідності). Питомий опір і поверхнева провідність. Метод містка Уїтстона. Чотирьохзондовий метод. Метод Лео ван дер Пау.</p> <p>Методи визначення адгезії тонких плівок. Адгезивна і когезивна стійкість.</p> <p>Методи дослідження структури та морфології поверхні тонких плівок. Трансмісійне електронна мікроскопія. Дифракція швидких та повільних електронів. Скануюча електронна мікроскопія. Скануюча тунельна електронна мікроскопія. Атомна силова мікроскопія.</p> <p>Методи контролю хімічного складу тонких плівок. Скануючий електронний мікроскоп з енергодисперсивним аналізатором. Вторинна іонна мас-спектроскопія.</p>	лж	3,4,7,10,11 (дод 2,3,4,5)	Вивчення процесу відпалу тонких плівок 4 год	7, 8 тиж. семестру
8-10	<p>Хімічні методи отримання тонких плівок.</p> <p>Загальна класифікація хімічних методів отримання тонких плівок. Отримання тонких плівок методами електрохімічного осадження. Електрохімічне осадження плівок металів з водних розчинів їх солей. Варіанти</p>	лж	3,4,10,11 (дод 2,3,4,5)	Дослідження адгезії тонких плівок методом подряпин 4 год	9, 10 тиж. семестру

	<p>реалізації електрохімічного осадження. Іонне осадження. Газове анодування.</p> <p>Газофазні методи осадження плівок. Основні стадії газотранспортних методів. Способи формування газової фази. Способи розкладу прекурсорів на поверхні підкладки та різні варіанти реалізації CVD. Реакція диспропорціонування.</p> <p>Осадження плівок з розчинів прекурсорів. Золь-гель метод отримання тонких плівок. Отримання тонких плівок з розчинів за допомогою реакцій відновлення. Гідрофільний метод.</p> <p>Отримання плівок методом атомного пошарового росту (atomic layer deposition). Принципи реалізації ALD. Параметри, що впливають на швидкість росту плівки.</p>				
11-12	<p>Літографічні процеси в мікроелектроніці</p> <p>Фотолітографія. Послідовність процесів при фотолітографії. Опис процесів, основні параметри, що необхідно контролювати. Фотомаски. Etch-back та Lift-off методи. Роздільна здатність фотолітографії. Х-променева літографія. Електронна літографія. Іонна літографія. Imprint літографія. EUV літографія: ідеї реалізації. Джерела, оптична схема маски EUV</p>	лж	3,4,10,11 (дод 2,3,4,5,6)	Виготовлення плівкового термометра опору 4 год	11, 12 тиж. семестру
13-14	<p>Основи напівпровідникової мікроелектроніки.</p> <p>Типи інтегральних мікросхем. Структура активних елементів напівпровідникових інтегральних мікросхем. Перспективні матеріали та структури для субмікронних елементів і наноконструкцій. Тенденції до вдосконалення сучасної елементної бази електроніки.</p>	лж	1,2,3,4,5,6,8,9 (дод 1,2,3)	Визначення питомого опору та поверхневої провідності плівок 4 год	13, 14 тиж. семестру
15-16	<p>Мікроелектронні плівкові пристрої.</p> <p>Мікроелектромеханічні конструкції. Кремнієві сенсори тиску, температури. Хімічні сенсори на польових транзисторах. Біохімічні сенсори на нанокантелеверах. Напівпровідникові сонячні елементи. Мікрофлюїдні кремнієві чіпи.</p>	лж	1,2,3,4,5,6,8,9 (дод 1,2,3)	Виготовлення маскуючих покриттів на поверхні за допомогою фотолітографії 4 год	15, 16 тиж. семестру