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 29 серпня 2023 р.)

Завідувач кафедри
професор Олег БОРДУН

Силабус з навчальної дисципліни «Технології виготовлення тонкоплівкових пристроїв», 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 2023

Назва курсу	Технології виготовлення тонкоплівкових пристроїв
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 "Технології виготовлення тонкоплівкових пристроїв" 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 мікроелектроних пристроїв різного ступеня складності.
Література для вивчення дисципліни	**Основна література:** 1. Nalwa H.S. Handbook of Thin Film Materials. Five Volume Set/ Academic Press, 2002 P706,733,434,705,633. 2. Peter M. Martin Handbook for Deposition Technologies for Films and Coatings. Science application and Technology / Elsevier Inc, 2010, P 912. 3. Hartmut Frey and Hamid R. Khan. Handbook of Thin-Film Technology / Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2015, P 379. 4. Krishna Seshan. Handbook of Thin-Film Deposition Processes and Techniques. Principles, Methods, Equipment and Applications Second Edition / Noyes Publications, 2002, P.629, 5. Коман Б. П. Функціональні елементи інформаційних систем на базі напівпровідникової електроніки : навч. посібник / Б. П. Коман. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2018. – 794 с.

	6. Stephen D. Senturia. Microsystem Design / 1 Kluwer Academic Publishers, 2002, P.689. 7. Проценко І.Ю., Однодворець. Л.В. Технологія одержання і фізичні властивості плівкових матеріалів та основи мікроелектроніки (практикуми): навчальний посібник - Суми: Сумський державний університет, 2011.-231 с 8. Thomas F. Kuech. Handbook of Crystal Growth Thin Films and Epitaxy: Basic Techniques VOLUME III, Part A Second Edition / Elsevier, 2015, P,1346. 9. Harry J. Levinson. Principles of Lithography. Fourth Edition / SPIE Press, Bellingham, Washington USA, 2019, P.571 10. W. Menz, J. Mohr, 0. Paul. Microsystem Technology / John Wiley & Sons, 2001, P.500. **Додаткова література:** 1. Павлов С. М., Войцеховська О. В. Технологія мікроелектронних засобів : навчальний посібник. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 169 с. 2. Kiyotaka Wasa, Isaku Kanno, Hidetoshi Kotera. Handbook of Sputter Deposition Technology Fundamentals and Applications for Functional Thin Films, Nanomaterials, and MEMS Second Edition / Elsevier, 2012, P.644. 3. Michael Kohler. Etching in Microsystem Technology / 0 WILEY-VCH, 1999, P. 368. 4. Uzodinma Okoroanyanwu . Chemistry and lithography / SPIE Press, 2010, P.861. 5. Vivek Bakshi. EUV Lithography / John Wiley & Sons, Inc and SPIE Press, 2009, P.673. 6. Xu Ma and Gonzalo R. Arce. Computational lithography /y John Wiley & Sons , 2010, P.226. 7. J. Walter Schultze, Tetsuya Osaka and Madhav Datta. Electrochemical Microsystem Technologies / Taylor & Francis e-Library, 2005, P.569. 8. J.A. Dziuban. Bonding in Microsystem Technology / Springer, 2006, P.331.
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	У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен: **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. **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. Після вивчення курсу здобувачі набудуть таких компетентностей і програмних результатів:

	ЗК1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу 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 контрольно-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 наноелектронні системи різного призначення СК4. Здатність розробляти, обґрунтовано вибирати і використовувати сучасні методи обробки та аналізу сигналів в мікро- і наноелектронних 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 наноелектроніки, 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. Р11. Досліджувати процеси у мікро- та наноелектронних системах, приладах й компонентах з використанням сучасних експериментальних методів та обладнання, здійснювати статистичну обробку та аналіз результатів експериментів. Р13. 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. Р16. Досліджувати, проектувати і розробляти матеріали та пристрої сенсорної електроніки, розуміти перспективи їхнього використання у сучасних сенсорних системах різноманітного призначення.
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 «Технології виготовлення тонкоплівкових пристроїв» 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 МИИ-4, металографічні світлові мікроскопи, система суміщення та експонування фотошаблонів, спін-коатер, п'єзокварцові давачі товщини, спектрофотометр СФ-46, монохроматор МДР-12.
Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)	Оцінювання проводиться упродовж семестру та під час екзаменаційної сесії за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за такими видами робіт із таким співвідношенням: • лабораторні або індивідуальні практичні роботи: 40% оцінки; максимальна кількість балів 40. • контрольні заміри знань на лекціях: 10% оцінки; максимальна кількість балів 10. • іспит: 50% оцінки; максимальна кількість балів 50.

	• Загалом 100 балів. **Контрольні заміри проводяться у формі контрольних модульних робіт**. **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 запізнень 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.
Питання до модульних контролів (замірів 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 напилення. 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 сублімація? Наведіть приклади речовин, що сублімують. 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. Режими роботи вторинної іонної мас-спектроскопії 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. 74. Перелічіть основні стадії процесу фотолітографії. Коротко зазначте зміст кожної. 75. Зобразіть схему etch-back фотолітографії. Вкажіть особливості такого процесу.

	76. Принципи виготовлення дзеркал для потреб EUV літографії. 77. Методи реалізації анізотропного травлення у рідкому травнику. 78. Прокласифікуйте варіанти реалізації сухого травлення. 79. Перелічіть варіанти реалізації та наведіть принципові схеми систем експонування у фотолітографії. 80. Суть моделей, що описують внутрішній розмірний ефект. 81. Електрохімічне травлення. Схеми реалізації. 82. Вкажіть переваги і недоліки електронно-променевої літографії. 83. Суть imprint літографії. Переваги і недоліки.
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	1,3,4,5,6,7 (дод 1,8)	Ознайомлення з роботою універсального вакуумного поста ВУП-5М 4 год	1, 2 тиж. семестру
3-4	**Фізичні методи отримання тонких плівок. Термічне випаровування.** Класифікація методів вакуумного осадження тонких плівок. Фази нанесення тонких плівок. Принципові схеми вакуумних установок. Фази нанесення тонких плівок у вакуумних установках. (Елементи вакуумної техніки). Ступені розрідження. Оцінка експозиції поверхні у газовій атмосфері. Вплив міжмолекулярного розсіяння на процеси формування покриттів. Середня довжина вільного пробігу. Молекулярний пучок. Закони Ламберта-Кнудсена. Напилення через вільні маски. Ефект підпилення. (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.	лк	1,2,3,4,7 (дод 1)	Виготовлення найпростіших випаровувачів резистивного типу для нанесення плівок металів у вакуумі 4 год	3, 4 тиж. семестру

	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.				
5-6	**Особливості процесів конденсації тонких плівок. Епітаксійний ріст.** Конденсація матеріалу на поверхню. Стадії росту плівок. Термічна акомодація, адсорбція, десорбція, дифузія. Зародкоутворення. Моделі зародкоутворення. Критична температура та критична швидкість осадження Вплив температури підкладки та величини потоку адсорбованих частинок. Морфологія і структура плівки. Зони росту. Стадії росту плівки. Режими росту плівки. Перколяція. Конденсація матеріалу на поверхню. Стадії росту плівок. Термічна акомодація, адсорбція, десорбція, дифузія. Зародкоутворення. Моделі зародкоутворення. Критична температура та критична швидкість осадження Вплив температури та величини потоку адсорбованих частинок. Стадії росту плівки. Режими росту плівки. Перколяція. Структура та морфологія тонких плівок. Зони росту плівок Епітаксійний ріст тонких плівок. Напруження в тонких плівках, неспівпадіння параметра гратки та дефекти. Методи вирощування епітаксійних плівок.	лк	1,2,3,4,,8	Отримання плівок у вакуумі методом магнетронного розпилення 4 год	5, 6 тиж. семестру
7-8	**Отримання плівок у вакуумі методом іонного розпилення** Процеси в газорозрядній плазмі. Коефіцієнт розпилення. Фактори, що впливають на значення коефіцієнту розпилення. Механізми іонного розпилення. Катодне розпилення (діодна схема). Магнетронне розпилення. Високочастотне розпилення у вакуумі. Випаровування сполук, сплавів та сумішей методом іонного розпилення. Реактивне розпилення. Особливості конструювання вакуумних систем для іонного розпилення. Іонне травлення. Реактивне травлення	лк	1,2,3,4,7,8 (дод 1,2,3)	Визначення товщини та морфології поверхні плівок за допомогою інтерференційного мікроскопа 4 год	7, 8 тиж. семестру

8-10	**Контроль параметрів плівок і технологічних режимів їх нанесення у вакуумі** Розподіл випаровуваних молекул за напрямками. Закон розподілу косинусів. Розподіл осаджених плівок за товщиною. Коефіцієнт рівнотовщинності. Вимірювання товщини плівок. Класифікація давачів. Іонізаційні давачі. Механічні давачі потоку атомів (молекул) випаровуваної речовини. П'єзокварцовий давач товщини (потоку). Принципи градуювання давачів товщини. Оптичні методи визначення товщини тонких плівок. Залежність пропускання світлового потоку від товщини (оптичний давач). Рефракційна спектроскопія. Методи двопроменевої інтерференції. Багатопроменева інтерференція. Інтерференційний мікроскоп Лінніка. Інтерференційні ефекти у спектрах пропускання (Метод Валєєва). Еліпсометрія. Методи визначення провідності тонких плівок. Вимірювання опору плівок (провідності). Питомий опір і поверхнева провідність. Метод містка Уітстона. Чотирьохзондовий метод. Метод Лео ван дер Пау. Методи визначення адгезії тонких плівок. Адгезивна і когезивна стійкість. Метод відриву стрічки. Метод стирання. Метод перевантажень (ультрацентрфугування) Метод подряпин. Адсорбційні методи визначення адгезії тонких плівок. Дослідження процесів зародкоутворення. Методи дослідження структури та морфології поверхні тонких плівок. Класифікація методик. Трансмісійне електронна мікроскопія. Дифракція швидких та повільних електронів. Скануюча електронна мікроскопія. Скануюча тунельна електронна мікроскопія. Атомна силова мікроскопія. Методи контролю хімічного складу тонких плівок. Скануючий електронний мікроскоп з енергодисперсивним аналізатором. Вторинна іонна мас-спектроскопія.	лк	1,2,3,7 (дод 1,2,3)	Дослідження адгезії тонких плівок методом подряпин 4 год	9, 10 тиж. семестру
11-12	**Хімічні методи отримання тонких плівок.** Загальна класифікація хімічних методів отримання тонких плівок. Отримання тонких пліок методами електрохімічного осадження. Електрохімічне осадження плівок металів з водних розчинів їх солей. Варіанти реалізації електрохімічного	лк	1,2,3,4 (дод 3,4,7)	Вивчення процесу відпалу тонких плівок 4 год	11, 12 тиж. семестру

	осадження. Іонне осадження. Газове анодування. 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. Осадження плівок з розчинів прекурсорів. Золь-гель метод отримання тонких плівок. Отримання тонких плівок з розчинів за допомогою реакцій відновлення. Гідрофільний метод. Отримання плівок методом атомного пошарового росту (atomic layer deposition). Принципи реалізації ALD. Параметри, що впливають на швидкість росту плівки.				
13-14	**Літографічні процеси в мікроелектроніці** 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	лк	1,2,3,4,7,9,10 (дод 1,3,4,5,6,7)	Визначення питомого опору та поверхневої провідності плівок 4 год	13, 14 тиж. семестру
15-16	**Основи напівпровідникової мікроелектроніки.** Типи інтегральних мікросхем. Структура активних елементів напівпровідникових інтегральних мікросхем. Перспективні матеріали та структури для субмікронних елементів і нанокомпонентів. Тенденції до вдосконалення сучасної елементної бази електроніки. Мікроелектронні плівкові пристрої. Мікроелектромеханічні конструкції. Кремнієві сенсори тиску, температури. Хімічні сенсори на польових транзисторах. Біохімічні сенсори на нанокантеливерах. Напівпровідникові сонячні елементи. Мікрофлюїдні кремнієві чіпи.	лк	5,6,7,10 (дод 1,3,7,8)	Виготовлення маскуючих покриттів на поверхні за допомогою фотолітографії 4 год	15, 16 тиж. семестру