


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
«Фізика і хімія технологічного процесу в електроніці»,
що викладається в межах ОП
«Електроніка та комп'ютерні системи»
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
для здобувачів зі спеціальності
171 «Електроніка»

Львів 2024

Назва курсу	Фізика і хімія технологічного процесу в електроніці
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 171 Електроніка
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 дисципліни 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/fizyka-i-khimiiia-tekhnologichnoho-protsesu-v-elektronitsi-171-elektronika-ta-komp-iuterni-systemy/
Інформація про дисципліну	Дисципліна “Фізика і хімія технологічного процесу в електроніці” є нормативною дисципліною зі спеціальності 171 Електроніка в рамках освітньої програми «Електроніка та комп'ютерні системи», яка викладається у 3 семестрі в обсязі 4 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Коротка анотація дисципліни	Розглядаються технологічні процеси отримання з сировини монокристалічних та плівкових напівпровідників, провідників, діелектриків, магнетиків та виробництво на їх основі електронних пристроїв та 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, які б дозволили ефективно використовувати сильні і слабкі сторони систем технології електроніки з точки зору їх конструювання та експлуатації, розуміння процесів що лежать в основі роботи пристроїв різного ступеня складності, а також технологічних методів їх виготовлення, роботи з системами препарування плівкових зразків, спеціальними методиками контролю за їх фізичними параметрами.
Література для вивчення дисципліни	Основна література: <ol style="list-style-type: none"> 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, 2020. – 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, O. Paul. Microsystem Technology / John Wiley & Sons, 2001, P.500.
11. Сусліков Л.М., Дьордяй В.С. Фізика і технологія наноматеріалів: навчальний посібник для студентів фізико-технічних спеціальностей. – Ужгород: Видавництво «Говерла», 2023. – 437 с.
12. Лобода В.Б. Фізичні основи вакуумної техніки. Навчальний посібник. У двох частинах. – Суми: Університетська книга. 2011,2012. –253 с, 296 с.
13. З.В. Стасюк, Р.І. Бігун, М.М. Козак., Я.А. Пастирський., Б.Р. Пенюх. Вакуумна та плазмова електроніка. Лабораторний практикум. За заг. ред. Проф. З.В. Стасюка.– Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка. 2020. –480 с

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.

	<p>Electrochemical Microsystem Technologies / Taylor & Francis e-Library, 2005, P.569.</p> <p>8. J.A. Dziuban. Bonding in Microsystem Technology / Springer, 2006, P.331.</p>
Тривалість дисципліни	один семестр
Обсяг дисципліни	120 год, з яких 64 год аудиторних занять, з них 32 год лекцій, 32 год лабораторних занять та 56 год самостійної роботи
Очікувані результати навчання	<p>У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен:</p> <p>знати: технологічні процеси отримання основних матеріалів для виготовлення електронних апаратів, їх оптимальні режими; основні методи виробництва електронних пристроїв, та побудови на їх основі електронних апаратів; методи отримання тонких плівок; принципи конструювання установок для отримання тонких плівок; найважливіші параметри, що характеризують тонкоплівкові зразки та методи їх контролю.</p> <p>вміти: підбирати оптимальні технологічні режими при проведенні технологічних процесів отримання основних матеріалів електронної техніки; використовувати одержані знання при експлуатації електронної техніки; 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 набудуть таких компетентностей і програмних результатів:</p> <p>ЗК1. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях. ЗК2. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.</p> <p>ЗК3. Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.</p> <p>ЗК5. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.</p> <p>ЗК6. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.</p> <p>ЗК7. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.</p> <p>ЗК10. Навички здійснення безпечної діяльності.</p> <p>ЗК11. Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт.</p> <p>ФК1. Здатність використовувати знання і розуміння наукових фактів, концепцій, теорій, принципів і методів для проектування та застосування приладів, пристроїв та систем електроніки.</p> <p>ФК3. Здатність інтегрувати знання фундаментальних розділів фізики та хімії для розуміння процесів твердотільної, функціональної та енергетичної електроніки, електротехніки.</p> <p>ФК5. Здатність застосовувати відповідні математичні, наукові й технічні методи, сучасні інформаційні технології і комп'ютерне програмне забезпечення, навички роботи з комп'ютерними мере-</p>

	<p>жами, базами даних та Інтернет-ресурсами для вирішення інженерних задач в галузі електроніки.</p> <p>ФК6. Здатність ідентифікувати, класифікувати, оцінювати і описувати процеси у приладах, пристроях та системах електроніки за допомогою аналітичних методів, засобів моделювання, дослідних зразків та результатів експериментальних досліджень.</p> <p>ФК8. Здатність вирішувати інженерні задачі в галузі електроніки з урахуванням всіх аспектів розробки, проектування, виробництва, експлуатації та модернізації електронних приладів, пристроїв та систем.</p> <p>ФК11. Здатність контролювати і діагностувати стан обладнання, застосовувати сучасні електронні компоненти та технічні засоби, виконувати профілактику, ремонт та технічне обслуговування електронних пристроїв та систем, монтувати, налагоджувати та ремонтувати аналогові, цифрові та оптичні модулі, розробляти та виготовляти друковані плати, розробляти програмне забезпечення для мікроконтролерів.</p> <p>ПР1. Описувати принцип дії за допомогою наукових концепцій, теорій та методів та перевіряти результати при проектуванні та застосуванні приладів, пристроїв та систем електроніки.</p> <p>ПР6. Застосовувати експериментальні навички (знання експериментальних методів та порядку проведення експериментів) для перевірки гіпотез та дослідження явищ електроніки, вміння використовувати стандартне обладнання, планувати, складати схеми; аналізувати, моделювати та критично оцінювати отримані результати.</p> <p>ПР12. Використовувати документацію, пов'язану з професійною діяльністю, із застосуванням сучасних технологій та засобів офісного устаткування; використовувати англійську мову, включаючи спеціальну термінологію, для спілкування з фахівцями, проведення літературного пошуку та читання текстів з технічної та фахової тематики.</p>
Ключові слова	Технологічні процеси, тонкі плівки, нанесення тонких плівок, літографія, епітаксія
Формат дисципліни	Очний.
	проведення лекцій, лабораторних робіт та консультації для кращого розуміння тем
Теми	Див. СХЕМА КУРСУ
Підсумковий контроль, форма	залік у кінці семестру
Пререквізити	Для вивчення курсу студенти потребують базових знань у галузі 17 – Електроніка, автоматизація та електронні комунікації. Навчальна дисципліна «Фізика і хімія технологічного процесу в електроніці» 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 «Фізичні основи електроніки», «Матеріали та компоненти сучасної електроніки», та «Напівпровідникова електроніка» та інші.
Навчальні методи та тех-	лекції (презентації, відео демонстрації), лабораторні роботи, обговорення, дискусії.

<p>ніки, які будуть використуватися під час викладання курсу</p>	
<p>Необхідне обладнання</p>	<p>Вакуумне обладнання різного типу: вакуумні насоси, манометри, вакуумні пости ВУП-5М, надвисоковакуумні установки УСУ-4, світлові мікроскопи різного призначення (ЛОМО Биолам, МБС-9, інтерференційний МІІ-4, металографічний УМІ-3), система суміщення та експонування фотошаблонів, спін-коатер, п'єзокварцові давачі товщини, спектрофотометр СФ-46, монохроматор МДР-12, печі для відпалу зразків та термодифузійні печі, вакуумні бокси, станок точкового зварювання, платформа MS Teams, вільне комп'ютерне програмне забезпечення,</p>
<p>Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)</p>	<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: 60% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 60. • контрольні заміри: 40% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 40 (2 по 20 балів). <p>Загалом упродовж семестру 100 балів.</p> <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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>Оцінювання лабораторних робіт (8 лабораторних робіт, максимальна кількість балів: 60) відбувається шляхом оцінки</p>

	<p>підготовки до виконання лабораторної роботи, безпосереднього її виконання та захисту звіту:</p> <ul style="list-style-type: none"> • лабораторні роботи 1-8 (0-5 балів за одну роботу) <p>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;</p> <p>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);</p> <p>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;</p> <p>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;</p> <p>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;</p> <p>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</p> <p>У підсумку, всі набрані бали множаться на коефіцієнт для переведення у 60-ти бальну шкалу</p> <p>Контрольні заміри проводяться у формі контрольних модульних робіт шляхом письмових відповідей на контрольні питання по 20 балів за кожен замір (2x20=40 балів).</p>
<p>Питання до модульних контролів (замірів знань)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 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-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.

	<p>70. Перелічіть варіанти реалізації електронно-променевої літографії. Порівняйте швидкість “запису” кожного варіанту.</p> <p>71. Роздільна здатність фотолітографії. Критерій Релея.</p> <p>72. Зміст кристалографічного травлення.</p> <p>73. Зобразіть схему комірки сухого травлення у ВЧ плазмі. Особливості роботи такої комірки.</p> <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	Вступ. Технологічний процес, основні поняття. Основні процеси гетерогенних хіміко-технологічних систем: Історія розвитку мікроелектроніки. Вибір базових хімічних елементів для потреб мікроелектроніки. Front End та Back End технології. Закон Мура. Перспективні напрямки розвитку електроніки.	лекція	5,7,11 (дод 1)	Ознайомлення з роботою універсального вакуумного поста ВУП-5М 4 год	1 тиж. семестру
2	Вакуумна техніка. Вакуумні системи і принципи їх побудови. Методи отримання та вимірювання вакууму. Обладнання для нанесення тонких плівок. Електронно-вакуумна гігієна.	лекція	2,7,12,13 (дод 1)		1 тиж. семестру
3	Методи одержання, очищення та легування монокристалічних матеріалів. Основні методи отримання кристалів з твердої, рідкої та газової фаз та профільних монокристалів. Технологія найважливіших	лекція	5,7,11 (дод 1)		3 тиж. семестру

	монокристалічних матеріалів: кремнію та арсеніду галію. Легування монокристалів напівпровідникових та діелектричних матеріалів у твердій фазі, у процесі вирощування з рідкої та газової фаз. Типи та джерела легуючих домішок. Дефекти і контроль параметрів дифузійних шарів. Послідовність технологічних переходів при дифузії.				
4	Фізико-хімічні методи обробки поверхні напівпровідникових матеріалів. Орієнтування кристалічних зливків та технологічні прийоми їх розрізання. Шліфування пластин та контроль якості шліфованих пластин. Полірування напівпровідникових пластин. Контроль пластин після фінішного та суперфінішного полірування.	лекція	5,7,11 (дод 1)		4 тиж. семестру
5	Технологія тонких плівок. Класифікація пліткових покриттів. Загальна класифікація методів отримання тонких плівок.	лекція	1,3,4,5,6		5 тиж. семестру
6-7	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. 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	лекція	1,2,3,4,7 (дод 1)	Виготовлення найпростіших випаровувачів резистивного типу для нанесення плівок металів у вакуумі 4 год	6-7 тиж. семестру

	методами термічного випаровування. Реактивне випаровування. Лабіринтний випаровувач. Випаровування сумішей. Дискретне випаровування. Метод двох випаровувачів. Метод трьох температур.				
8	Особливості процесів конденсації тонких плівок. Епітаксійний ріст. Конденсація матеріалу на поверхню. Стадії росту плівок. Термічна акомодация, 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 акомодация, 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 ґратки та дефекти. Методи вирощування епітаксійних плівок.	лекція	1,2,3,4,7,8 (дод 1,2)	Отримання плівок у вакуумі методом магнетронного розпилення 4 год	8 тиж. семестру
9	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	лекція	1,2,3,4,7,8 (дод 1,2,3)	Очищення поверхонь зразків за допомогою іонного травлення 4 год	9 тиж. семестру
10-11	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. Кла-	лекція	1,2,3,7 (дод 1,2,3)	Дослідження адгезії тонких плівок методом подряпин 4 год	10-11 тиж. семестру

	<p>сифікація давачів. Іонізаційні давачі. Механічні давачі потоку атомів (молекул) випаровуваної речовини. П'єзокварцовий давач товщини (потоку). Принципи градування давачів товщини.</p> <p>Оптичні методи визначення товщини тонких плівок. Залежність пропускання світлового потоку від товщини (оптичний давач). Рефракційна спектроскопія. Методи двопророменевої інтерференції. Багатопроменева 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. 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.</p> <p>Методи контролю хімічного складу тонких плівок. Скануючий електронний мікроскоп з енергодисперсивним аналізатором. Вторинна йонна мас-спектроскопія.</p>				
12-13	<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 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>	лекція	1,2,3,4 (дод 3,4,7)	Визначення товщини плівок за допомогою п'єзокварцового давача 4 год	12-13 тиж. семестру

	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.				
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	лекція	1,2,3,4,7,9,10 (дод 1,3,4,5,6,7)	Виготовлення маскуючих покриттів на поверхні за допомогою фотолітографії 4 год	14 тиж. семестру
15	Технологія епітаксійних шарів Епітаксійне нарощування. Класифікація процесів епітаксії. Послідовність технологічних переходів при епітаксії Іонна імплантація Фізичні основи іонної імплантації. Утворення радіаційних дефектів та їх вплив на структуру поверхні пластин. Основи технології іонної імплантації. Технологічне обладнання для іонної імплантації.	лекція	5,6,7,8,10 (дод 1,3,7,8)		15 тиж. семестру
16	Товстоплівкова технологія. Технологія товсто плівкових елементів. Пасти для товсто плівкової технології. Фізико-хімічні процеси за товсто плівковою технологією під час термічної обробки. Типова технологія виготовлення гібридних мікросхем.	лекція	5,6,7,9,10,11 (дод 1,3,7,8)	Визначення товщини та морфології поверхні плівок за допомогою інтерференційного мікроскопа 4 год	16 тиж. семестру