

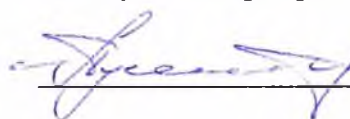
**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Львівський національний університет імені Івана Франка**  
**Факультет електроніки та комп'ютерних технологій**  
**Кафедра сенсорної та напівпровідникової електроніки**

**Затверджено**

на засіданні кафедри сенсорної та  
напівпровідникової електроніки  
факультету електроніки та  
комп'ютерних технологій  
Львівського національного університету імені  
Івана Франка

(протокол № 1/24 від 29.08.2024 р.)

Завідувач кафедри

 Андрій ЛУЧЕЧКО

**Силабус з навчальної дисципліни**

**“ Наноінженерія та електронна спектроскопія поверхні ”,**  
**що викладається в межах освітньої програми**  
**“ Пристрої та матеріали сенсорної електроніки ”**  
**другого (магістерського) рівня вищої освіти**  
**для здобувачів зі спеціальності**  
**176 «Мікро- та наносистемна техніка»**

**Львів 2024 р.**

<b>Назва дисципліни</b>	Наноінженерія та електронна спектроскопія поверхні
<b>Адреса викладання дисципліни</b>	Факультет електроніки та комп'ютерних технологій, Львівський національний університет імені Івана Франка, вул. Драгоманова, 50
<b>Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна</b>	Факультет електроніки та комп'ютерних технологій Кафедра сенсорної та напівпровідникової електроніки
<b>Галузь знань, шифр та назва спеціальності</b>	17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації, 176 Мікро- та наносистемна техніка
<b>Викладач дисципліни</b>	Галій Павло Васильович, доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри сенсорної та напівпровідникової електроніки
<b>Контактна інформація викладача</b>	<a href="mailto:pavlo.galiy@lnu.edu.ua">pavlo.galiy@lnu.edu.ua</a> Факультет електроніки та комп'ютерних технологій, Кафедра сенсорної та напівпровідникової електроніки вул. Драгоманова, 50, лаб. 118, 115 <a href="https://electronics.lnu.edu.ua/employee/galiy-p-v">https://electronics.lnu.edu.ua/employee/galiy-p -v</a>
<b>Консультації з курсу відбуваються</b>	У день проведення лекційних/лабораторних занять відповідно до розкладу (вул. Драгоманова, 50). Також проводяться онлайн консультації на платформі Microsoft Teams та Zoom. Для погодження часу онлайн консультацій необхідно писати на електронну пошту викладача.
<b>Сторінка дисципліни</b>	<a href="https://electronics.lnu.edu.ua/course/nanoinzheneriia-ta-elektronna-spektroskopii-poverkhni/">https://electronics.lnu.edu.ua/course/nanoinzheneriia-ta-elektronna-spektroskopii-poverkhni/</a>  <a href="https://teams.microsoft.com/l/channel/19%3A1e275abd0d4a422491d6faf888b998c2%40thread.tacv2/%D0%9D%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D1%96%D0%BD%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D1%96%D1%8F%20%D1%82%D0%B0%20%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%B0%20%D1%81%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%BF%D1%96%D1%8F%20%D0%BF%D0%BE%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%85%D0%BD%D1%96?groupId=d84b44d0-f437-4ca5-8bcb-881d5e098655&amp;tenantId=70a28522-969b-451f-bdb2-abfea3aaa5bf&amp;ngc=true">https://teams.microsoft.com/l/channel/19%3A1e275abd0d4a422491d6faf888b998c2%40thread.tacv2/%D0%9D%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D1%96%D0%BD%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D1%96%D1%8F%20%D1%82%D0%B0%20%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%B0%20%D1%81%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%BF%D1%96%D1%8F%20%D0%BF%D0%BE%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%85%D0%BD%D1%96?groupId=d84b44d0-f437-4ca5-8bcb-881d5e098655&amp;tenantId=70a28522-969b-451f-bdb2-abfea3aaa5bf&amp;ngc=true</a>
<b>Інформація про дисципліну</b>	Дисципліна «Наноінженерія та електронна спектроскопія поверхні» є дисципліною вільного вибору зі спеціальності 176 «Мікро- та наносистемна техніка» освітньої програми «Пристрої та матеріали сенсорної електроніки», яка вик-

	ладається в першому семестрі другого рівня вищої освіти (магістр) для здобувачів вище вказаної спеціальності в обсязі 6 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
<b>Коротка анотація дисципліни</b>	Курс присвячений вивченню основних технології наноінженерії та електронної спектроскопії на кристалічних напівпровідникових поверхнях підкладок для одержання наносистем з низьковимірними об'єктами, як основ наноелектроніки. Отже, вивченню методів одержання та контролю і дослідження таких наносистем – наноточок (0D), нанониток (1D) та наноплівки(2D) на наноструктурованих поверхнях. Вивченню їх елементно-фазово складу, кристалографії, електронно-енергетичної структури методами електронної спектроскопії поверхні.
<b>Мета та цілі дисципліни</b>	Метою курсу є ознайомити магістрів із сучасним арсеналом технологічних та аналітичних, методів електронної спектроскопії для дослідження поверхні твердої фази як системи з пониженою розмірністю (2D). Їх можливостями та обмеженнями щодо застосування, засадничими принципами їх роботи та основними методами інженерії низьковимірних систем на поверхні. Електроніка наноелектронних структур як і їх формування – це галузі що бурхливо розвиваються. Сучасний етап розвитку електроніки є таким, що основними об'єктами досліджень стають, значною мірою, не монокристали з їх тривимірними (3D) електронними властивостям, а системи з пониженою вимірністю (2D, 1D, 0D), якими є як поверхні твердої фази, так й створені на них методами наноінженерії 1D, 0D об'єкти. У зв'язку з цим курс присвячений вивченню методів наноінженерії поверхні та методів електронної спектроскопії структурних та електронних особливостей поверхні напівпровідникових наносистем, які визначають широкий спектр їх електронних властивостей як і напівпровідникових мікро- та наноелектронних пристроїв та систем. Основні методи синтезу наноструктур різної вимірності, з використанням гетеро- і гомоепітаксії, осадженню з іонно-молекулярних пучків. Знати основні методи дослідження наносистем – СТМ/СТС, АСМ, їх електронно-енергетичної структури та густини станів.
<b>Література для вивчення дисципліни</b>	<b>Базова</b> 1. Заячук Д. М. Нанотехнології і наноструктури: навч. посіб. / Д. М. Заячук. — Львів : Видав. нац. ун-ту "Львів. політехніка /", 2009. — 580 с. 2. Примаченко В.Е., Снитко О.В. Физика легированной металлами поверхности полупроводников. – Киев: Наукова думка 1988," 2006. — 220 с. 3. Нестеренко Б.А Ляпин В.Г. Фазовые переходы на свободных гранях и межфазовых границах в полупроводниках 1990, Киев: Наукова думка. — 320 с.

	<p>4. Черепин В.Т., Васильев М.М. Методы и приборы для анализа поверхности материалов. Справочник. 1992,., Киев: Наукова думка. — 450 с.</p> <p>5. Галій П.В., Ненчук Т.М., Стахіра Й.М., Методичні вказівки до лабораторного практикуму зі спецкурсів “Фізичні основи інтегральної електроніки” та “Напівпровідникове матеріалознавство” 2012, Львів.: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка. 63 с.</p> <p>6. Стребезев В.М. / Основи субмікронної та нанотехнології: навч. посіб. ч. 1 / В. М. Стребезев, І. М. Юрійчук. — Чернівці : Чернівецький нац. ун-тет ім. Ю. Федьковича, 2021. — 120 с.</p> <p>7. Наноматеріали, нанотехнології, нанопристрої : навч. посіб. / М. О. Боровий [та ін.]. — Київ : Інтерсервіс, 2015. — 350 с.</p> <p>8. Третяк О.В. Фізика низьковимірних систем: навч. посібник / О. В. Третяк, В. З. Лозовський. — Київ : Київський ун-т, 2013. — 372 с.</p> <p><b>Допоміжна</b></p> <p>9. Handbook of Surface Science, Vol. 2. Electronic Structure, Vol. Eds. K. Horn, M. Scheffler, Elsevier, 2000.</p> <p>10. Surface and Thin Film Analysis: Principles, Instrumentation, Applications, Eds. H. Bube and H. Jenett, Wiley, 2002.</p> <p>11. Goodhew P.J., Humphreys J., Beanland R. Electron microscopy and analysis. 3d edition, Taylor and Francis, London and New York, 2001.</p> <p>12. Watts J. F., Wolstenholme J. An Introduction to Surface Analysis by XPS and AES, Wiley, 2003.</p>
<p><b>Обсяг курсу</b></p>	<p>Загальний обсяг 180 год. Аудиторних занять – 48 год.: 16 год. – лекційних занять, 32 год – лабораторних занять. Самостійна робота - 132 год.</p>
<p><b>Очікувані результати навчання</b></p>	<p>В результаті вивчення курсу студент повинен <b>знати</b>:  апаратне забезпечення для реалізації методів наноінженерії та електронної спектроскопії поверхні. Фізичні моделі поверхні напівпровідників: атомно чисті поверхні (АЧП); леговані (гетеровані) поверхні; реальні поверхні напівпровідників контактуючі з іншими фазами та їх основні структурні і електронно-енергетичні особливості. Методи одержання АЧП напівпровідників, способи збереження, консервації і відновлення чистоти поверхні. Методи електронної спектроскопії дослідження атомної структури і кристалографії поверхонь; дослідження елементно-фазового складу та електронно-енергетичної структури поверхонь, до яких належать – ДПЕ, ОЕС, ХФЕС, УФЕС, УФЕСКР, СТМ/СТС, і реалізації наноінженерії (СТМ, АСМ, МПЕ) низьковимірних систем (0D-2D) на поверхні.</p> <p><b>вміти</b>: обробляти та аналізувати спеціальними програмними методами результати електронної спектроскопії поверхні для встановлення її атомної структури та кристалографії, елементно-фазового складу та електронно-енергетичної структури. Вміти проводити якісний й кількісний аналіз елементно-фазового складу поверхні матеріалів мікро- та наноелектроніки. Використання методу ОЕС у ланці планарних технологій виробництва інтегральних мікросхем та мікропроцесорів. Визначення відносних поверхневих</p>

	<p>концентрацій компонент гомогенних сполук за відносною інтенсивністю оже- та X-піків хімічних елементів. Читати планарні зображення результатів СТМ та АСМ і реалізовувати ці методи, разом є МПЕ в інженерії наносистем 2D, 1D, 0D формувати нанорельєф чи одержувати і досліджувати наноструктуровані матриці за допомогою скануючого тунельного (СТМ) та атомно-силового мікроскопів (АСМ), володіти методам синтезу нанокристалічних матеріалів, вміннями обробляти та інтерпретувати отримані результати зондової мікроскопії з допомогою спеціального ПЗ, розрізняти одержані низьковимірні нанооб'єкти та досліджувати їх електронно-енергетичну структури та густину електронних станів методом СТС</p>
<b>Ключові слова</b>	Наноінженерія поверхні, нанотехнології, наносистеми пониженої вимірності (0D, 1D, 2D), електронна спектроскопія поверхні (ОЕС, ХФЕС, УФЕС, УФЕСКР, СТС)
<b>Формат курсу</b>	Очний.
<b>Теми</b>	Див. СХЕМА КУРСУ
<b>Підсумковий контроль, форма</b>	Залік у кінці семестру
<b>Пререквізити</b>	<p>Для вивчення курсу студенти потребують базових знань у галузі 17 – Електроніка, автоматизація та електронні комунікації.</p> <p>Необхідними є знання з таких предметів: «Основи квантової фізики», «Основи мікроелектроніки», «Квантової електроніки», «Твердотільної та Напівпровідникової електронік».</p>
<b>Навчальні методи та техніки що будуть використовуватися під час викладання курсу</b>	<p>Лекції, презентації, інтерактивні вправи, лабораторні завдання, групові та підгрупові завдання, дискусія.</p> <p>Робота зі здійснення модульного контролю лекційного матеріалу, захист лабораторних та розрахункових завдань.</p>
<b>Необхідне обладнання</b>	Багатоканальний Оже-спектрометр 09ІОС-2, елеспетр ЛЕФ-3М1, установка для дослідження діелектричних спектрів ДС-4, масспектрометр МХ-7304Ф, персональний комп'ютер, проектор Мультимедіа, стандартне комп'ютерне програмне забезпечення.
<b>Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)</b>	<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"> <li>• лабораторні роботи: 60% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 60.</li> </ul>

- контрольні заміри: 40% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 40 (2x20 балів).

Загалом упродовж семестру 100 балів.

**Академічна доброчесність:** Очікується, що роботи студентів будуть їх оригінальними дослідженнями чи міркуваннями. Виявлення ознак академічної недоброчесності при виконанні лабораторних робіт та формуванні звітів для захисту результатів є підставою для їх незарахування викладачем, незалежно від масштабів плагіату чи обману.

**Відвідування занять** є важливою складовою вивчення предмету. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції та лабораторні заняття. Студенти повинні інформувати викладача про неможливість відвідати заняття. У будь-якому випадку, студенти зобов'язані дотримуватися термінів визначених для виконання всіх видів робіт, та заходів з контролю поточних знань та індивідуальних завдань, передбачених курсом.

**Література.** Уся література, яку студенти не зможуть знайти самостійно, буде надана викладачем як методичне забезпечення частини матеріалу курсу **ГАЛІЙ П.В., НЕНЧУК Т.М., СТАХІРА Й.М. ШУВАР Р.Я. Методичні вказівки до лабораторного практикуму зі спецкурсів “Фізичні основи інтегральної електроніки” та “Напівпровідникове матеріалознавство” 2012, Львів.: Видавн. центр ЛНУ імені Івана Франка. 63 с.** та у вигляді фрагментів **е-посібника** підготовленого до видання (Навчальний електронний посібник (е-посібник: **ГАЛІЙ П.В., НЕНЧУК Т.М., СЛОБОДЗЯН Д.П., ТУЗЯК О.Я. Основи напівпровідникової наноелектроніки: наносистеми та нанотехнології.**

Книга 1 / П.В. Галій, Т.М. Ненчук, Д.П. Слободзян, О.Я. Туз як – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2023. – 256 с.). Матеріал надається виключно в освітніх цілях без права його передавання третім особам, зважаючи на те, що це є інтелектуальна власність авторів, і буде виданий до кінця 2024 р. Студенти заохочуються до пошуку і використання також й іншої літератури та джерел, яких немає серед рекомендованих.

**Політика бального оцінювання знань студентів.** Враховуються бали набрані при поточному контролі (виконання лабораторних робіт, модулів), самостійній роботі та бали підсумкового заліку. При цьому обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність студента під час лабораторних занять; недопустимість пропусків та запізень на заняття; користування мобільним телефоном,

планшетом ноутбуком 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 перелічені вище форми порушення академічної доброчесності не толеруються.

**Оцінювання лабораторних робіт** (7 лабораторних робіт, максимальна кількість балів: 60) відбувається шляхом оцінки підготовки до виконання лабораторної роботи, безпосереднього її виконання та захисту звіту:

• лабораторні роботи 1-7 (0-5 балів за одну роботу)

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

	<p>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><b>Контрольні заміри</b> проводяться у формі контрольних модульних робіт шляхом письмових відповідей на контрольні питання по 20 балів за кожен замір (2x20=40 балів).</p>
<b>Питання до модульних контролів (замірів знань)</b>	Методичні завдання (описи лабораторних робіт із завданнями) та Перелік запитань і завдань для проведення підсумкової оцінки знань усіх тем курсу надсилаються студентам як модульні запитання з бази цих запитань і формуються запитання білетів для заліку.
<b>Опитування</b>	Анкету з метою оцінювання якості курсу буде надано після вивчення курсу.

### СХЕМА КУРСУ

Тиж.	Тема, план, короткі тези	Форма діяльності (заняття)	Література. Ресурси в Інтернеті	Завдання (лабораторна робота), год.	Термін виконання
1-2	<p><b>Тема 1. Наноінженерія поверхні та реалізація на ній низьковимірних наносистеми</b></p> <p>Вступ в предмет наноінженерія поверхні та деякі її інструменти – скануюча тунельна (СТМ) та атомно силова мікроскопія (АСМ). Паралельні і та перпендикулярні процеси переміщення атомів і молекул по поверхні в субатомній наноінженерії методом СТМ. Застосування вістря СТМ в одержанні польових нанотранзисторів та локальне хімічне осадження з газової фази. АСМ та її застосування в наноінженерії непровідних поверхонь</p>	Лекція (2 год)	1, 2, 3	<p>Вступне заняття. Інструкція з техніки безпеки. Ознайомлення з переліком і змістом лабораторно-розрахункових робіт навчального курсу.</p> <p>Лабораторна робота №1</p> <p>Ознайомлення з експериментальним комплексом для дослідження елементно-фазового складу поверхні твердих тіл, радіаційних фізико-хімічних процесів на поверхні та процесів формування міжфазових меж та його можливостями. Експериментальний комплекс розробленого на основі Оже-електронного спектрометра...</p>	1, 2 тиж. семестру



3-4	<p><b>Тема 2. Поверхні твердої фази – як системи з пониженої вимірності (2D). Основні мікроскопічні характеристики поверхні як основи інженерії наносистем.</b> Фізичні моделі поверхні твердої фази: атомно чисті поверхні (АЧП); реальні поверхні контактуючі з іншими фазами та їх основні структурні і електронно-енергетичні особливості. Електронні стани на АЧП та реальній поверхні. Методи одержання АЧП твердої фази. Способи та методи збереження, консервації і відновлення чистоти поверхні. Кристалічна структура граней АЧП деяких напівпровідників.</p>	Лекція (2 год)	3, 4, 5	Лабораторно-розрахункове завдання 1 та 2.	3, 4 тиж. семестру
5-6	<p><b>Тема 3. Основні сучасні методи дослідження кристалографії та топографії поверхонь та їх фізичні основи.</b> Метод дифракції повільних електронів (ДПЕ), як метод дослідження атомної кристалографії поверхонь та кристалографії утворених нових поверхневих фаз – нанонадграток- та надструктур.</p> <p>Методи дослідження морфології та топографії поверхонь, поверхневих наноструктур на атомному рівні – скануюча тунельна мікроскопія (СТМ) та атомно силова мікроскопія (АСМ) особливості застосування (провідні, слабопровідні та непровідні поверхні) й програмні методи обробки результатів.</p>	Лекція (2 год)	5, 6	Лабораторно-розрахункові завдання 2 та 3.	5,6 тиж. семестру
7-8	<p><b>Тема 4. Аналітичні методи спектроскопії поверхні: дослідження елементно-фазового складу поверхні твердої фази та основні фізичні принципи їх роботи.</b> Оже-електронна спектроскопія (ОЕС) як високоефективний метод дослідження елементно-фазового складу поверхні. Фізичні основи якісної та кількісної ОЕС гомогенних систем. Ефект Пера Оже та енергії оже-електронів і їх залежність від порядкового номера хімічного елемента. Генерація оже-електронів електронами первинного бомбардуючого пучка. Ефективний поперечний переріз іонізації кістякових енергетичних рівнів електронів оболонки атомів та його залежність від енергії первинних бомбардуючих електронів. Імовірність оже-процесу та виходу оже-електронів. Фактор зворотного розсіяння бомбардуючих електронів та роль зворотно роз-</p>	Лекція (2 год)	1-6	Лабораторно-розрахункові завдання 3 та 4.. Модуль 1	5, 6 тиж. семестру

	сіяних електронів у генеруванні оже-електронів.				
9-10	<p><b>Тема 5. Глибина виходу оже-електронів – основа поверхневої елементно-фазової чутливості методу ОЕС. Основне рівняння ОЕС поверхні та основні підходи в кількісній ОЕС.</b> Експериментальна реалізація методу: апаратне та програмне забезпечення методу кількісної ОЕС, бази даних необхідних фізичних констант та параметрів хімічних елементів кількісної ОЕС. Аналізатори енергій емітованих електронів. Аналізатори циліндричне та півсферне зеркало. Визначення відносних поверхневих концентрацій компонент гомогенних сполук за відносною інтенсивністю оже-піків хімічних елементів. Метод чистих стандартів. і чистих стандартів з матричними поправками та їх програмно-математичне забезпечення.</p>	Лекція (2 год)	7, 8, 9	Лабораторні завдання та контрольні запитання по темі	9, 10 тиж. семестру
11-12	<p><b>Тема 6. Корпускулярно-зондові методи емісійних спектроскопії поверхні. Фізичні основи X-променевої фотоелектронної (ХФЕС) спектроскопії.</b> Енергії зв'язку електронів глибоких (кістякових, остових) рівнів. Електронні оболонки та кістякові енергетичні рівні електронів атомів і їх позначення. Реперні піки ХФЕС - основа елементного аналізу складу поверхні. ХФЕС як метод дослідження енергій зв'язку електронів кістякових рівнів – визначення елементно-фазового складу поверхні. Енергетичні зсуви у спектрах ХФЕС – основа фазового аналізу. Апаратне та програмне забезпечення ХФЕС. Кількісна ХФЕС. Розрахунок відносних атомних концентрацій компонент на поверхні конденсованих систем.</p> <p>Кількісна ХФЕС. Розрахунок відносних поверхневих атомних концентрацій для гомогенних твердих розчинів плівок <math>A_1-xB_xC</math> змінного складу. Визначення хімічних (енергетичних) зсувів <math>\Delta E_c</math>, перенесення заряду <math>\Delta q</math>, та ступеня іонності зв'язків <math>f_i</math> за результатами ХФЕС..</p>	Лекція (2 год)	2, 4, 7	Лабораторно-розрахункові завдання 5. Контрольні запитання та дискусія по темі	11, 12 тиж. семестру
13-14	<p><b>Тема 7. Методи одержання електронних спектрів поверхонь та дослідження їх анізотропії – УФЕС та УФЕСКР.</b> Фотоелектронна емісія конденсованих середовищ та основні її закономірності. Методи фотоеле-</p>	Лекція (2 год)	7, 8, 9	Лабораторно-розрахункові завдання 6 та контрольні запитання по темі	13,14 тиж. семестру

	<p>ктронної спектроскопії: ультрафіолетова фотоелектронна спектроскопія (УФЕС) та ультрафіолетова фотоелектронна спектроскопія з кутовим розділення (УФЕСКР). УФЕС як метод дослідження густини станів валентної зони поверхні та електронної густини енергетично глибоких електронних оболонок атомів поверхні. Методологія одержання електронних спектрів поверхонь та низькорозмірних систем за результатами УФЕС та УФЕСКР. Електронні спектри та ефективні маси і рухливості носіїв поверхні та їх анізотропія.</p> <p><b>Метод дослідження електронно-енергетичної структури поверхні та поверхневих наноб'єктів</b> – скануюча тунельна спектроскопія (СТС) як додаток до СТМ.</p>				
15-16	<p><b>Тема 8. Дифракція повільних електронів (ДПЕ) як основний метод дослідження кристалографії та низьковимірних об'єктів поверхні.</b> ДПЕ та її можливості для провідних атомно чистих поверхонь (АЧП). Отримання відомостей про формування двовимірних структур, що виникають на поверхні монокристала при напilenні на поверхню домоношарових та субмоношарових і плівок різних речовин. Оцінка формування кристалічних фаз при наноінженерії поверхні</p>	Лекція (2 год)	10, 11, 12,	Лабораторно-розрахункове завдання 7 з визначення параметрів 2D систем. Опрацювання контрольних запитання по темі. Модуль 2	15,16 тиж. семестру