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

«Мікро- і наноспеціалізовані елементи та системи», 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 дисципліни	Мікро- і наноспеціалізовані елементи та системи
Адреса викладання дисципліни	м. Львів, вул. Драгоманова, 50
Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна	Факультет електроніки та 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	Бігун Роман Іванович, доктор фіз.-мат. наук, доцент, доцент кафедри фізичної та біомедичної електроніки
Контактна інформація викладачів	roman.bihun@lnu.edu.ua,
Консультації з питань навчання по дисципліні відбуваються	Консультації в день проведення лекційних занять (за попередньою домовленістю). Також можливі он-лайн консультації через MS Teams. Для погодження часу он-лайн консультацій слід писати на електронну пошту викладача.
Сторінка дисципліни	https://electronics.lnu.edu.ua/course/mikro-i-nanospetsializovani-elementy-ta-systemy/
Інформація про дисципліну	Дисципліна «Мікро- і наноспеціалізовані елементи та системи» є вибірковою дисципліною з спеціальності 176 Мікро- та наносистемна техніка для освітньої програми « Пристрої та матеріали сенсорної електроніки», яка викладається в 1-му семестрі в обсязі 6 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Коротка анотація дисципліни	Курс „Мікро- і наноспеціалізовані елементи та системи" є одним з основних у профілюючій підготовці студентів технічних та інженерних спеціальностей. Без ґрунтовних знань з кінетичних явищ у нанорозмірних системах та металевих конденсатах, неможлива майбутня повноцінна професійна діяльність в областях математичного моделювання, інженерного проектування, розробки та діагностики сучасної елементної бази тощо. Закони та явища фізики нанорозмірного стану є основою сучасної мікро та наноелектроніки, фундаментом для різних галузей науки та техніки. Їхнє вивчення під час лекційних і лабораторних занять розширює пізнавальні та інженерні навики та дає змогу опанувати багато інших важливих курсів на факультеті електроніки. Лабораторний практикум з курсу „ Мікро- і наноспеціалізовані елементи та системи" для студентів факультету електроніки є важливим фундаментом для набуття навиків роботи з апаратурою, дає відомості про методи дослідження фізичних явищ, закладає передумови для самостійної наукової роботи.
Мета та цілі дисципліни	**Метою** вивчення нормативної дисципліни «**Мікро- і наноспеціалізовані елементи та системи**» є формування в майбутнього спеціаліста цілісної картини фізичних явищ і процесів при роботі, проектуванні та керуванні пристроями сучасною мікропроцесорної електроніки. Це передбачає виклад основ явищ перенесення заряду в нанорозмірних системах та роботи пристроїв сучасної мікро- та нанопроцесорної техніки. Предмет навчальної дисципліни включає основні поняття, закономірності, закони, проектування та розробку керуючих елементів мікропроцесорної техніки, що відносяться до розділів фізики нанорозмірного стану та електроніки.

Література для вивчення дисципліни	**Основна література:** 1. Литвин В.А. Наноструктурні системи і матеріали. Навчально-методичний посібник для студентів спеціальності 7.04010101 – Хімія / В. А. Литвин – Черкаси: ЧНУ, 2020. - 86 с. 2. Гуртів В.А. Твердотільна електроніка. К.: Техносфера, 2017. 408 с. 3. Готра З.Ю. Фізичні основи електронної техніки. Львів: Бескид Біт. , 2017. 55с. 4. Погосов В.В., Куницький Ю.А., Бабіч А.В., Коротун А.В., Шпак А.П. Нанофізика і нанотехнології / Навчальний посібник (з грифом МОНУ), Запоріжжя: ЗНТУ, 2011. 368 с. 5. Матвійків М.Д. Елементна база електронних апаратів: підручник. Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2017р. 428с. 6. Б.П. Коман. Функціональні елементи інформаційних систем на базі напівпровідникової електроніки: навчальний посібник. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2018. 794 с. 7. Бондаренко І.М. Сучасна компонента база електронних систем. Навчальний посібник. Харків, ХНУРЕ: 2020.- 268с. 8. Мельник О.С. Компоненти мікро- та наноелектроніки. Конспект лекцій. - К.: Каф. електроніки ІАН НАУ, 2013. -191 с. https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/42846 **Додаткова література**: 9. V.V. Odinokov, G.Ya. Pavlov. New processing equipment for innovative technologies micro, nano - and radio electronics. Technology and de-signing in the electronic equipment, 2011. v.3. PP. 41 - 43. 10. Lin Jyi-Tsong. A novel planar-type body connected FinFET device fabricated by self-align isolationlast process, Solid-State and Integrated Circuit Technology, PP. 2010.1235 - 1237.
Обсяг курсу	Кількість кредитів ЄКТС: 6 (180 год), з них: 48 години аудиторних занять (16 години лекцій, 32 години лабораторних робіт), 132 годин самостійної роботи.
Очікувані результати навчання	Після завершення курсу студент буде: **Знати** основні ідеї, поняття та закони сучасної наноелектроніки електроніки, фізики розмірного ефекту, межі їхнього застосування, тенденції та напрямки розвитку сучасної наноелектроніки на основі отриманих знань в області фізики розмірного стану та сучасної мікро- і наноелектроніки; базові принци роботи сучасних функціональних та цифрових пристроїв електроніки; головні технічні проблеми, щодо експлуатації, режимів роботи, діапазонів та особливостей застосування сучасних функціональних та цифрових елементів і вузлів наносистемної техніки. **Вміти** застосовувати вивчені закони і принципи для постановки та розв'язування задач з сучасної наноелектроніки; застосовувати здобуті знання на практиці, під час вивчення та дослідження роботи елементів сучасної наноелектроніки; пояснювати електричні процеси та явища, що є в основі принципів роботи сучасної мікро- та нано- системної техніки, використовуються при роботі цифрової і функціональної техніки; діагностувати алгоритми роботи та область застосування фізичних методів і пристроїв, робота яких ґрунтується на явищах перенесення заряду та впливу на них розмірних ефектів.
Ключові слова	Мікро- та наноелектронні компоненти, розмірний ефект, кластерна система.
Формат курсу	Очний
Теми	Див. СХЕМА КУРСУ
Підсумковий контроль, форма	Залік в кінці семестру

Пререквізити	Для вивчення курсу студенти потребують базових знань у галузі 17 – Електроніка, автоматизація та електронні комунікації. Необхідні знання з таких розділів математики та фізики: математичний аналіз, кінетичні явища в твердих тілах та Іноземна мова (Англійська).
Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу	Презентації, лекції, лабораторні роботи, обговорення, дискусії.
Необхідне обладнання	Мультимедіа, платформа Moodle, платформа MS Teams, комп'ютерне програмне забезпечення. Вакуумні пости ВУП-5М та установки надвисокого вакууму УСУ-4. Ітерференційний мікроскоп МИИ-4, п'єзокварцові давачі товщини, спектрофотометр СФ-46.
Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)	Оцінювання проводиться упродовж семестру за 50-бальною шкалою. Бали нараховуються за такими видами робіт з наступним співвідношенням: • лабораторні роботи: 66% семестрової оцінки; • максимальна кількість балів 30. • дві контрольні роботи: 34% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 20. Загалом упродовж семестру 50 балів. Залік проводиться в письмовій формі з наступною усною співбесідою. Завдання з заліку включає в себе два запитання з програми даного курсу та тестові завдання і оцінюється в 50 балів.
	Контрольні роботи проводяться у формі тестових завдань**.** **Академічна доброчесність**: Очікується, що лабораторні та контрольні роботи студентів будуть їх оригінальними дослідженнями чи міркуваннями. Відсутність 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 незарахуванння викладачем, незалежно від масштабів плагіату чи шахрування. Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються. Дотримання вимог Положення про академічну доброчесність: https://ipcpm.in.ua/wp-content/uploads/3.1.3-pipfk-pro-akademichnu-dobrochesnist.pdf **Відвідання 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 дисципліни **Література.** 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 під час семестру, виконанні самостійної роботи 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. **Критерії оцінювання результатів неформальної освіти:** Нарахування балів відбувається за написання студентом тез доповідей

	на конференціях, наукових статей, участь у діяльності наукових гуртків, участь у наукових семінарах та круглих столах, конкурсах, участь у заходах неформальної освіти за отримання сертифікатів про проходження навчання на різних освітніх платформах (Coursera, Prometheus тощо), курсах на провідних IT компаніях за тематикою навчальної дисципліни. Кількість балів визначається відсотком покриття результатів відповідної активності до вимог результатів навчання з навчальної дисципліни.
Питання до контрольних робіт	Перелік питань та завдань для проведення підсумкової оцінки знань певних тем до контрольних робіт: 1. Фазовий розмірний ефект в тонких плівках металів 2. Вплив температури підкладки на умови зародження плівки металу. 3. Залежність періоду ґрадки конденсату металу від товщини плівки. 4. Температура фазового переході від аморфної до кристалічної фази в плівках металів 5. Вплив вакуумних умов на фазовий розмірний ефект в плівках металів 6. Варіювання середніми розмірами кристалітів в тонких плівках металів від температури та природи підкладки. 7. Вплив поверхнево активних речовин на розміри кристалітів у плівках металів сформованих на їх поверхні. 8. Модель класичного розмірного ефекту у явищах перенесення заряду. Теорія Фукса-Зондгеймера. 9. Зв'язок питомого опору масивного зразка металу з питомим опором плівки аналогічного масивного зразка. 10. Зміст кінетичних коефіцієнтів в теорії Фукса-Зондгеймера. 11. Залежність розмірних залежностей кінетичних коефіцієнтів плівок металів від коефіцієнта поверхневої дзеркальності. 12. Вплив поверхневих неоднорідностей на явища перенесення заряду в тонких плівках металів (Модель Намба). 13. Залежності питомого опору від товщини плівки металу та середньої амплітуди поверхневих неоднорідностей. 14. Зміст середньої амплітуди поверхневих неоднорідностей в рамках

	моделі Намба. 15. Особливості розрахунку середньої амплітуди поверхневих неоднорідностей з розмірних залежностей питомого пору плівок металів. 16. Модель внутрішнього розмірного ефекту (підхід Маядаса-Шацкеса). 17. Оцінка коефіцієнта міжзеренного тунелювання в нанорозмірні плівці металлу (модель Маядаса-Шацкеса). 18. Вплив середніх лінійних розмірів кристалітів на питомий опір полівок металів. 19. Модель внутрішнього розмірного ефекту (Тель-Тосе-Пішара). 20. Зв'язок між коефіцієнтами t та r для різних товщин плівок металів. 21. Квантовий розмірний ефект (QSE) в металевих та напівпровідникових статурах. 22. Розмірне квантування квазіімпульсу електрона k_z в плоскій металічній стрктурі. 23. Підхід функціоналу густи для дослідження квантового розмірного ефекту в нанорозмірних плівках металів. 24. Розмірна поведінка зонної структури від товщини плівки металу в режимі квантового розмірного ефекту. 25. Особливості переходу від класичного до квантового режиму перенесення заряду в нанорозмірних плівках металів.
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	Історичний огляд, перспективи і прогнозування розвитку мікро- та наноелектроніки (МНЕ). Електропровідність металів, напівпровідників та діелектриків.	Лекція (2 год)	1, 3-6	Вивчення роботи цифрового перетворювача (паралельний порт-послідовний порт) HW-061 на ARDUINO. (Origin Lab 8) 4 год	кінець поточного тижня
3-4	Елементи та пристрої сенсорного типу. Хімічні давачі на польових транзисторах. Біохімічні сенсори на нанокантилеврах. Мікро зважування та основі кварцового давача. Мікро коливальні системи та акселератори.	Лекція (2 год)	1-5, 7-9	Відображення динамічних процесів на 2004A на ARDUINO. (Origin Lab 8) 4 год.	кінець поточного тижня
5-6	Фізичні процеси в структурах нанорозмірних транзисторів (НТ), основні схеми їх вмикання. Параметри і характеристики, схемотехнічні моделі НТ. Класифікація польових, уніполярних транзисторів (НТ). Дискретні та інтегральні ПТ з управляючим переходом (ПТУП). ПТ з ізольованим затвором збагаченого і збідненого типів.	Лекція (2 год)	1, 3, 4, 7, 8, 9	Вивчення роботи PCF8574AT при передачі на 2004A на базі ARDUINO. (Origin Lab) 4 год.	кінець поточного тижня

7-8	Мікросистемні кремнієві чіпи, кремнієві сенсори тиску та давачі на основі графену.	Лекція (2 год)	1, 3, 4, 7, 8, 9	Вивчення транзисторного польвого ефекту на FQPF10N60C. (Origin Lab) 4 год	кінець поточного тижня
9-10	Основні напрями функціональної МНЕ: прилади із зарядовим зв'язком, акустоелектроніка, опто-, магніто- та кріоелектроніка.	Лекція (2 год)	1, 3, 4, 5, 9	Вивчення роботи цифрового модуля PTA9B01 на ARDUINO при вимірюванні температури давачем PT100. (Origin Lab) 4 год	кінець поточного тижня
11-12	Нанорозмірні компоненти МНЕ: квантові автомати, одноелектронні та двоканальні комірки. Основні відомості про пасивні елементи МНЕ: резистори, конденсатори та індуктивності.	Лекція (2 год)	1, 3, 4, 7, 8, 9	Вивчення роботи адресної світлодіодної ленти на чіпі WS2812b на ARDUINO (Origin Lab 8) 4 год.	кінець поточного тижня
13-14	Мікросистемі технології температурних сенсорів на базі терморезисторів. Цифрові температурні сенсори. Пристрої термосхемотехнічних рішень на базі н/п та металічних плівок металів.	Лекція (2 год)	1, 3, 4, 7, 8, 9	Вивчення роботи цифрового модуля HW-061 на ARDUINO. (Origin Lab 8) 4 год	кінець поточного тижня
15-16	Мікросистемні підходи у пристроях перетворювачів електромагнітної енергії в електричну. Перетворювачі на бар'єрних наноструктурах та МДН-структурах з тунельно-тонким діелектриком.	Лекція (2 год)	1, 3, 4, 6, 9	Керування цифровим модулем INA219 DC Current Monitor на ARDUINO. (Origin Lab 8) 4 год	кінець поточного тижня