

ПРОГРАМА
вступного іспиту зі спеціальності
176 Мікро- та наносистемна техніка
для здобувачів вищої освіти
третього (освітньо-наукового) рівня

Вступне слово

Програма складена з урахуванням програми рівня вищої освіти магістра зі спеціальності 176 «Мікро- та наносистемна техніка». Вона містить два розділи, у першому з яких відображені загальні питання фізичних основ мікро- та наносистемної техніки, а у другому – питання дисциплін фахового спрямування. Розроблені питання базуються на навчальних дисциплінах: «Фізика напівпровідників та діелектриків», «Твердотільна електроніка», «Основи мікро- і нанотехнологій», «Мікросхемотехніка», «Мікропроцесорна техніка» та ін., спрямовані на виявлення знань та умінь здобувачів вищої освіти третього (освітньо-наукового) рівня зі спеціальності 176 «Мікро- та наносистемна техніка».

**Розділ 1. Загальні питання фізичних основ мікро- та наносистемної
техніки**

Природа хімічного зв'язку в напівпровідниках. Структура кристалів. Дефекти в кристалах. Властивості основних монокристалічних матеріалів мікро- та наносистемної техніки.

Зонна теорія твердого тіла. Енергетичні спектри електронів у металах, напівпровідниках, діелектриках. Зона провідності і валентна зона. Власні та домішкові на-півпровідники. Роль донорних та акцепторних домішок.

Основи статистичної фізики. Функція розподілу Фермі-Дірака. Концентрація електронів і дірок у зонах. Температурні залежності. Розподіл Больцмана. Критерій виродження електронного газу.

Рекомбінація носіїв. Рекомбінація "зона-зона" і рекомбінація через домішки і дефекти. Дифузійна довжина і час життя носіїв. Поверхнева рекомбінація.

Електропровідність напівпровідників. Носії заряду в слабкому електричному полі. Взаємодія з фононами, домішковими атомами, дефектами. Рухливість електронів і дірок. Умова електронейтральності. Носії заряду в сильному електричному полі. Лавинне помноження в напівпровідниках. Електричні домени і струмові шнури.

Рівняння для густини електричного струму в напівпровідниках. Рівняння неперервності. Рівняння Пуассона.

Електронно-дірковий (*p-n*) перехід. Інжекція і екстракція неосновних носіїв заряду. Вольт-амперна характеристика *p-n* переходу. Струми носіїв заряду в *p-n* переході. Генерація та рекомбінація носіїв у *p-n* переході. Бар'єрна і

дифузійна ємності. Пробій *p-n* переходу: тепловий, лавинний, тунельний.

Гетеропереходи. Контакт метал–напівпровідник. Омичний і випрямний переходи Шотткі.

Поверхневі стани. Структури метал–діелектрик–напівпровідник (МДН). Польовий ефект у МДН-структурах. Ємність МДН-структур.

Теплопровідність напівпровідників. Термоелектричні явища. Ефект Холла.

Способи опису електромагнітного випромінення. Світлові промені. Принцип Ферма. Електромагнітні хвилі. Рівняння Максвелла. Фотон і його властивості. Інтерференція і дифракція світла. Квантові переходи при взаємодії з електромагнітним випроміненням. Матричний елемент переходу і його ймовірність. Спонтанне і вимушене випромінення. Коефіцієнти Ейнштейна. Дипольне випромінення. Поширення світла в матеріальному середовищі. Оптична характеристика речовини. Комплексний показник заломлення. Показник поглинання. Фазова і групова швидкість світла. Дисперсія. Співвідношення Крамерса-Кроніга.

Проходження світла через межу розподілу двох середовищ. Формули Френеля. Повне внутрішнє відбивання. Рефракція світла в тонких шарах. Хвилеводи. Діелектричний хвилевод. Планарні хвилеводи. Зв'язок між хвилеводами. Основи оптичного узгодження. Оптика анізотропних середовищ. Тензор діелектричної проникливості. Оптична індикатриса. Природне і штучне променезаломлення. Електрооптичні, магнітооптичні, п'єзооптичні і акустооптичні ефекти. Нелінійна поляризованість кристалу і нелінійні оптичні ефекти.

Види люмінесценції. Люмінесценція в напівпровідниках. Типи рекомбінаційного випромінювання в напівпровідниках. Зсув між спектром поглинання і спектром люмінесцентного випромінювання. Вплив поля на люмінесценцію в напівпровідниках

Поглинання випромінювання у напівпровідниках. Власне та домішкове поглинання випромінювання, поглинання екситонами та вільними носіями. Фотопровідність. Спектральні характеристики фотопровідності. Інші види внутрішнього фотоефекту.

Ефекти випромінювання у напівпровідниках. Прямі та непрямі переходи носіїв заряду. Види люмінесценції: інжекційна, катодо-, фотолюмінесценція. Електролюмінесценція порошкових та пліткових напівпровідників. Основні матеріали оптоелектроніки: сполуки A^3B^5 і A^2B^6 .

Електро-, магніто- і акустооптичні ефекти в твердих тілах.

Розділ 2. Питання дисциплін фахового спрямування

2.1. Прилади та пристрої мікро-та наносистемної техніки

Напівпровідникові діоди. Основні параметри і характеристики діодів, їх залежність від температури і режиму. Випрямляючі та імпульсні діоди. Діоди з накопиченням заряду. Стабілітрони. Тунельні та обернені діоди. Лавинно-пролітні діоди. Діоди Шотткі.

Біполярні транзистори. Структура і принцип дії. Розподіл носіїв у областях транзисторів. Основні параметри і характеристики транзисторів, їх залежність від температури і режиму. Імпульсні і частотні властивості транзисторів. Робота транзисторів при високому рівні інжекції. Пробій транзистора і перекриття переходів. Шуми в транзисторах. СВЧ-транзистори.

Тиристри, принцип їх дії і класифікація. Основні параметри і характеристики.

Польові транзистори МДН, з р-п переходом і з бар'єром Шотткі. Принцип дії. Модуляція глибини каналу. Основні параметри і характеристики польових транзисторів. Частотні та імпульсні властивості польових транзисторів. МДН транзистори з індукованим та вбудованим каналами. МДН-структури.

Інтегральні мікросхеми. Елементи ІС: транзистори, конденсатори, конденсатори в складі ІС. Класифікація ІС за конструктивно-технологічними та функціональними ознаками. Цифрові і аналогові ІС. Напівпровідникові ЗП і мікропроцесори.

Прилади з зарядовим зв'язком. Принцип дії. Основні параметри і області застосування.

Оптоелектронні прилади. Призначення і області застосування. Фотоприймачі: фотодіоди, фототранзистори, фоторезистори, лавинні фотодіоди. Основні параметри і характеристики: фоточутливість, виявна здатність, швидкодія. Сонячні батареї. Напівпровідникові випромінювачі: світлодіоди і лазери. Прилади для систем відображення інформації. Оптрони і оптоелектронні інтегральні мікросхеми.

2.2. Технологічні процеси у виробництві приладів та зінтегрованих схем мікро- та наносистемної техніки

Визначення кристалографічної орієнтації напівпровідників. Орієнтоване різання, шліфування та полірування пластин.

Хімічне травлення і хімічне полірування германію, кремнію і арсеніду галію. Хіміко-механічне полірування. Фінішне очищення пластин. Методи контролю якості очищення.

Планарна технологія. Фізичні основи процесу дифузії. Основні рівняння. Практичні методи проведення дифузійних процесів. Структурні схеми дифузійних печей.

Методи одержання електронних та іонних пучків. Іонне легування. Плазмохімічні та іонно-плазмові методи обробка напівпровідникових, діелектричних і металічних шарів. Конструктивні схеми основних типів обладнання для електронно-іонної та іонно-хімічної обробки.

Епітаксія. Методи контролю епітаксіальних шарів. Обладнання для епітаксіального нарощування плівок. Порівняння газотранспортної, рідкофазної та молекулярної епітаксій.

Термічне окислення кремнію в парах води, в сухому та вологому кисні. Маскуюча здатність плівок двоокису кремнію. Заряджені домішки в плівках, методи зміни заряду плівок.

Одержання тонких плівок термічним випаровуванням у вакуумі. Іонно-плазмове розпилення. Хімічне осадження з газової фази. Фотолітографія. Основні типи обладнання для фотолітографії. Проекційна фотолітографія, електронолітографія та рентгенолітографія. Фотошаблони та їх виготовлення. Основи конструювання структури напівпровідникових ІС. Методи ізоляції елементів. Ізопланарна технологія, епік-процес, технологія "кремній на ізоляторі". Структура і властивості елементів ІС. Корпуси напівпровідникових приладів та інтегральних мікросхем. Методи герметизації. Методи відводу тепла в потужних напівпровідникових приладах.

Тенденція розвитку планарної технології. Субмікронна технологія.

2.3. Питання забезпечення якості та надійності приладів мікро- та наносистемної техніки

Організація контролю якості напівпровідникових приладів та інтегральних мікросхем. Методи вимірювання статичних, динамічних та імпульсних параметрів. Методи вимірювання шумових характеристик напівпровідникових приладів. Методи контролю ВІС та НВІС.

Види виробничих випробувань. Експлуатаційна надійність. Надійність елементів ІС. Класифікація та основні види відмов. Механізми відмов. Методи підвищення надійності напівпровідникових приладів та ІС. Дія радіації на напівпровідникові прилади та мікросхеми.

Форми контролю та критерії оцінювання

Організування та проведення вступних випробувань до аспірантури

здійснюється відповідно до Правил прийому до аспірантури Національного університету «Львівська політехніка» у відповідному році.

Вступний іспит зі спеціальності 176 «Мікро- та наносистемна техніка» проводиться у письмово-усній формі згідно з окремим графіком, який затверджується Ректором Університету та оприлюднюється на інформаційному стенді відділу докторантури та аспірантури й офіційному веб-сайті Університету не пізніше, ніж за 3 дні до початку прийому документів.

Екзаменаційні білети вступного іспиту зі спеціальності 176 «Мікро- та наносистемна техніка» формуються в обсязі програми рівня вищої освіти магістра зі спеціальності 176 «Мікро- та наносистемна техніка» та затверджуються на засіданні Вченої ради Навчально-наукового інституту телекомунікацій, радіоелектроніки та електронної техніки.

Результати вступного іспиту зі спеціальності оцінюються за 100-бальною шкалою.

Екзаменаційний білет вступного іспиту до аспірантури зі спеціальності 176 «Мікро- та наносистемна техніка» містить:

- письмову компоненту з чотирьох питань: два питання з розділу «Загальні питання фізичних основ мікро- та наносистемної техніки» і два питання з розділу «Питання дисциплін фахового спрямування» (кожне із чотирьох питань екзаменаційного білета оцінюється максимально в 20 балів, максимальна сумарна кількість балів письмової компоненти – 80 балів);

- усну компоненту вступного іспиту з чотирьох питань (кожне із чотирьох питань усної компоненти оцінюється максимально в 5 балів, максимальна сумарна кількість балів усної компоненти – 20 балів).

Критерії оцінювання кожного питання письмової та усної компоненти вступного іспиту зі спеціальності 176 «Мікро- та наносистемна техніка» є такими:

Оцінка «відмінно» (18-20 балів для питань письмової компоненти та 5 балів для питань усної компоненти): вступник в аспірантуру бездоганно засвоїв теоретичний матеріал щодо змісту питання; самостійно, грамотно і послідовно з вичерпною повнотою відповів на питання; демонструє глибокі та всебічні знання, логічно будує відповідь; висловлює своє ставлення до тих чи інших проблем; вміє встановлювати причинно-наслідкові зв'язки, логічно та обґрунтовано будувати висновки.

Оцінка «добре» (14-17 балів для питань письмової компоненти та 4 бали для питань усної компоненти): вступник в аспірантуру добре засвоїв теоретичний матеріал щодо змісту питання, аргументовано викладає його; розкриває основний зміст питання, дає неповні визначення понять, допускає незначні порушення в послідовності викладення матеріалу та неточності при використанні наукових термінів; нечітко формулює висновки, висловлює свої міркування щодо тих чи інших проблем, але припускається певних похибок у логіці викладу теоретичного змісту.

Оцінка «задовільно» (10-13 балів для питань письмової компоненти та 3 бали для питань усної компоненти): вступник в аспірантуру в основному засвоїв теоретичний матеріал щодо змісту питання; фрагментарно розкриває зміст питання і має лише загальне його розуміння; при відтворенні основного змісту питання допускає суттєві помилки, наводить прості приклади,

непереконливо відповідає, плутає поняття.

Оцінка «незадовільно» (0-9 балів для питань письмової компоненти та 0-2 бали для питань усної компоненти): вступник не засвоїв зміст питання, не знає основних його понять; дає неправильну відповідь на запитання.

Виконання завдань вступного іспиту зі спеціальності 176 «Мікро- та наносистемна техніка» передбачає необхідність неухильного дотримання норм та правил академічної доброчесності відповідно до Положення про академічну доброчесність у Національному університеті «Львівська політехніка». За порушення зазначених норм та правил вступники в аспірантуру притягаються до відповідальності згідно вимог чинного законодавства.

Рекомендована література

1. Богданов І. Т. Сучасні технології отримання наноматеріалів для відновлювальної енергетики з урахуванням екологічної безпеки / І. Т. Богданов, С. О. Вамболь, В. В. Вамболь, Я. О. Сичікова, О. М. Кондратенко, – К.: Освіта України, 2018. – 188 с.
2. Буджак Я.С., Дружинін А.О., Вацлавський Т. Сучасні статистичні методи досліджень властивостей кристалів як матеріалів мікро- та наносистемної техніки: [монографія] / Я.С. Буджак, А.О. Дружинін, Т. Вацлавський.– Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2018.– 232 с.
3. Буджак Я. С. Важливі теплові і кінетичні властивості матеріалів мікро- та наносистемної техніки та їх статистичні розрахунки: монографія / Я. С. Буджак, А. О. Дружинін, Вацлавський Тадеуш. – Львів: Простір-М, 2020. – 108 с.
4. Буджак Я.С., Василечко Л.О. Основи статистичної теорії теплових і кінетичних властивостей напівпровідникових кристалів: навчальний посібник. Львів, Ліга-Прес, 2016. - 284 с.
5. Бурий О. А. Матеріали та елементи лазерних медичних систем та детекторів радіації: навчальний посібник / О. А. Бурий, С. Б. Убізький. – Львів: Ліга-Прес, 2018. – 186 с.
6. Бурий О.А., Убізький С.Б. Моделювання та оптимізація твердотільних мікрочіпових лазерів. Монографія. Львів, Видавництво Львівської політехніки, 2013, 200 с.
7. Василечко Л. О. Функціональні ферити та кобальтити РЗЕ зі структурою перовскиту: колективна монографія / Л. О. Василечко, І. В. Луцюк, В. М. Греб, О. Б. Павловська. – Львів: Простір-М, 2020. – 160 с.
8. Вамболь С.О. Енергоефективність фотоелектричних перетворювачів для забезпечення екологічно чистої енергетики: [монографія] / С.О. Вамболь, Я.О. Сичікова, Н.В. Дейнеко – Бердянськ : Видавець Ткачук О.В., 2016. – 256 с. 314.
9. Голяка Р.Л. та ін. «Програми дисциплін та тестові завдання для вступників на навчання за освітньою програмою підготовки магістрів за спеціалізаціями» за ред. Бобало Ю.Я., Давидович та ін. Книга 1, Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2017.– 190 с.

10. Дружинін А. О. Твердотільна електроніка. Фізичні основи і властивості напівпровідникових приладів: підручник для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом "Електроніка", "Мікро- та наноелектрон."/Нац. ун-т "Львів. політехніка".– Л.:Вид-во Нац. ун-ту "Львівська політехніка", 2009.– 328 с.
11. Дружинін, А. О., Мар'ямова, І. Й., Кутраков, О. П. Датчики механічних величин на основі ниткоподібних кристалів кремнію, германію та сполук A^3B^5 . Львів: 2015.– Видавництво Львівської політехніки, 232 с.
12. Дружинін А.О. Ниткоподібні кристали кремнію і твердого розчину кремній-германій в мікро- та наноелектроніці: [монографія] / А.О. Дружинін, І.П. Островський, Ю.М. Ховерко, С.І. Нічкало.– Львів: Видавництво «Тріада плюс», 2016. – 264 с.
13. Дружинін А.О., Лях-Кагуй Н.С. Твердотільна електроніка. Ч.1: електронний навчально-методичний комплекс.– реєстраційний номер № Е41-124-24/2015 від 16.06.2015 р.– адреса розміщення:
<http://vns.lp.edu.ua/course/view.php?id=13009>
14. Дружинін А.О., Лях-Кагуй Н.С., Нічкало С.І. Лабораторний практикум з твердотільної електроніки. Частина 1: Напівпровідникові діоди та біполярні транзистори: метод. вказівки для студентів базового напрямку 6.050801 "Мікро- та наноелектроніка" та спеціальності 153 "Мікро- та наносистемна техніка" / уклад.: А.О. Дружинін, Н.С. Лях-Кагуй, С.І. Нічкало.– Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2017.– 64 с.
15. Дружинін А.О., Нічкало С.І., Лях-Кагуй Н.С. Лабораторний практикум з твердотільної електроніки. Частина 2: Тиристри. Польові транзистори: метод. вказівки для студентів базового напрямку 6.050801 "Мікро- та наноелектроніка" та спеціальності 153 "Мікро- та наносистемна техніка" / уклад.: А.О. Дружинін, С.І. Нічкало, Н.С. Лях-Кагуй.– Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2018.– 48 с.
16. Дружинін А.О. Практикум з твердотільної електроніки: навчальний посібник / А.О. Дружинін, Н.С. Лях-Кагуй, С.І. Нічкало. – Львів: Простір-М, 2021.– 231 с. [13,48 обл. вид. арк.]
17. Заячук Д. М. Нанотехнології і наноструктури. Навчальний посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2009. – 580 с.
18. Капустій Б. О. Схемотехніка аналогових та цифрових мікросхем: навч. посіб. для студ. радіоелектрон. спец. вищ. закл. освіти України / Капустій Б. О., Кіселичник Д. М., Віхоть В. І.; Нац. ун-т "Львів. політехніка".– Л.:Вид-во Нац. ун-ту "Львів. політехніка", 2001.– 93 с.
19. Колонтаєвський Ю. П. Конспект лекцій з дисципліни «Мікропроцесорна техніка» (для студентів, які навчаються за напрямом 6.050701 – Електротехніка та електротехнології всіх форм навчання) / Ю. П. Колонтаєвський; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. – 78 с.
20. Курило І. В., Губа С.К. Основи технології напівпровідникових матеріалів. Навчальний посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. 240
21. Ниткоподібні кристали кремнію, германію та їхніх твердих розчинів у сенсорній електроніці [Текст]: [монографія] / А.О.Дружинін, І.П.

- Островський, Ю.Р. Когут ; Нац. ун-т «Львів. політехніка». — Л. : Вид Львів. політехніка, 2010. — 200 с. — ISBN 978-966-553-909-4
22. Наноелектроніка. Науково-навчальне видання. За ред. З.Ю.Готри. – Львів: Ліга-Прес, 2009. – 344 с.
 23. Мікропроцесорна техніка [Електронний ресурс] : підручник для студентів спеціальності «Електроніка» / В. Я. Жуйков, Т. О. Терещенко, Ю. С. Ямненко, А. В. Заграничний ; НТУУ «КПІ» ; ред. О. В. Борисов. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 440 с.
 24. Мікросхемотехніка. Підручник за редакцією З.Ю.Готри / Гельжинський І.І, Голяка Р.Л., Готра З.Ю, Марусенкова Т.А. – Львів: Ліга-Прес. - 2015. – 492 с.
 25. Покропивний В. В., Поперенко Л. В. Фізика наноструктур. — Київ: Видавничо — поліграфічний центр «Київський університет», 2008. — 220 с.
 26. Схемотехніка електронних систем: підруч. для студ. техн. спец. вищ. навч. загл. : [у 3 кн.]. Кн. 2:Цифрова схемотехніка/ Бойко В. І., Гуржій А. М., Жуйков В. Я.– 2-ге вид., допов. і переробл.– К.: Вища шк., 2004.– 423 с.
 27. Ткач О.П. Наноматеріали і нанотехнології в приладобудуванні. Навчальний посібник.– 2014. Суми: Сумський державний університет. – 126 с.
 28. Ховерко Ю. М. Технологія елементів зінтегрованих схем мікро- та наноситемної техніки: навчальний посібник / Ю. М. Ховерко, І. П. Островський, А. О. Дружинін. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2018. – 172 с.
 29. CMOS Time-Mode Circuits and Systems. Fundamentals and Applications. Edited By [Fei Yuan](#). 2020. – CRC Press. – 427 p.
 30. Electrical and Electronic Devices, Circuits and Materials. Design and Applications. Ed. by Suman Lata Tripathi, Parvej Ahmad Alvi, Umashankar Subramaniam. – 2021.– CRC Press, 406 p.
 31. Fahlman B. Materials Chemistry. Springer, 3rd edition. 2018. ISBN 978-94-024-1255-0
 32. Krukovskyi R. Rare-earth elements in the technology of obtaining A3B5 materials: монографія / R. Krukovskyi, Н. П'чук, S. Krukovskyi. – Beau Bassin, Mauritius: LAP LAMBERT Academic Publishing RU, 2018. – 60 с.
 33. Microcontroller-Based Programmable Logic Controller. Advanced Concepts. Ed. by [Murat Uzam](#), 2020. – CRC Press. – 586 p.
 34. Modern diffraction methods. / Ed.'s: E.J. Mittermeijer, U. Welzel. – Wiley-VCH, 2013. – 528 p.
 35. Nanolithography. The art of Fabricating Nanoelectronic and Nanophotonic Devices and Systems. Book. – 2014.
 36. Powder Diffraction. Theory and Practice. / Ed.'s R.E. Dinnebier, S.J.L. Billinge. – Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 2008. – 582 p
 37. Quantum Mechanics. An Introduction for Device Physicists and Electrical Engineers. Ed. by David Ferry. –2020. –CRC Press. –328 p.