

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Львівський національний університет імені Івана Франка
Фізичний факультет
Кафедра фізики твердого тіла

Затверджено

На засіданні кафедри фізики твердого тіла
фізичного факультету
Львівського національного університету
імені Івана Франка
(протокол №1 від 25 серпня 2023 р.)

Завідувач кафедри  проф. Капустяник В. Б.

Силабус

**з навчальної дисципліни «Технології мікро- і наноелектроніки»,
що викладається в межах ОПН «Прикладна фізика та наноматеріали»
другого (магістерського) рівня вищої освіти
для здобувачів з спеціальності 105 «Прикладна фізика та наноматеріали»**

Львів 2023 р.

Назва дисципліни	Технології мікро- і наноелектроніки
Адреса викладання дисципліни	вул. Драгоманова, 50, 79005, м. Львів
Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна	фізичний факультет, кафедра фізики твердого тіла
Галузь знань, шифр та назва спеціальності	10 Природничі науки / 105 Прикладна фізика та наноматеріали
Викладачі дисципліни	доцент кафедри фізики твердого тіла, к. ф.-м. н. Турко Борис Ігорович
Контактна інформація викладачів	borys.turko@lnu.edu.ua https://physics.lnu.edu.ua/employee/turko-b-i
Консультації по дисципліні відбуваються	Консультації в день проведення лекцій та лабораторних занять (за попередньою домовленістю). Також можливі консультації через електронну пошту або он-лайн засобами Microsoft Teams, Skype.
Сторінка дисципліни	https://physics.lnu.edu.ua/course/tekhnohohii-mikro-i-nanoelektroniky-105-prykladna-fizyka-i-nanomaterialy-opp-prykladna-fizyka-ta-nanomaterialy
Інформація про дисципліну	Дисципліна «Технології мікро- і наноелектроніки» є вибірковою дисципліною для підготовки магістра зі спеціальності 105 «Прикладна фізика та наноматеріали», яка викладається в 1 семестрі в обсязі 4 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS)
Коротка анотація дисципліни	Дисципліна «Технології мікро- і наноелектроніки» є наступною частиною матеріалу, що стосується технології отримання та методів дослідження низькорозмірних об'єктів.
Мета та цілі курсу	Метою вивчення дисципліни «Технології мікро- і наноелектроніки» є формування у майбутнього фізика-науковця необхідних теоретичних знань і практичних навиків в області технології виробів мікро- і наноелектроніки, розширення науково-технічного світогляду студентів. Ціль курсу: ознайомити студентів зі сучасними тенденціями у проектуванні та створенні мікро- і наноелектронних пристроїв. Освітньою ціллю курсу є формування вміння у студентів самостійно розбиратися і неупереджено орієнтуватися в передових ідеях та найновіших досягненнях експериментальної фізики та галузі приладобудування; розвинення інтегративного стилю мислення і пізнавального інтересу до нових розробок в різних областях електроніки.
Література для вивчення дисципліни	Базова: 1. Стребежев В. М., Юрійчук І. М. Основи субмікронної та нанотехнології: навч. посібник. Ч. 1 – Чернівці : Чернівецький національний університет ім. Юрія Федьковича, 2021. – 120 с. 2. Кузьмичев А. І., Писаренко Л. Д., Цибульський Л. Ю. Технологія виробництва мікросхем: навч. посібник – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 127 с. 3. Готра З. Ю. Субмікронні та нанорозмірні структури наноелектроніки. Підручник / З. Ю. Готра, І. І. Григорак, Б. А. Лукіянець, В. П. Махній, С. В. Павлов, Л. Ф. Політанський, Ежи Потенські. Чернівці : Видавництво та друкарня «Технологічний центр». 2014. – 839 с. 4. Зайцев Р. В., Дроздов А. М., Зайцева Л. В., Хрипунов Г. С. Технологічні основи електроніки Ч. 1 – Харків : НТУ «ХПІ», 2021. – 64 с. 5. Наноматеріали, нанотехнології, нанопристрої /Боровий М.О.,

	<p>Куницький Ю.А., Каленик О.О., Овсієнко І.В., Цареградська Т.Л. – Київ: «Інтерсервіс», 2015. – 350 с.</p> <p>Допоміжна:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Sulabha K. Kulkarni. Nanotechnology: Principles and Practices. 3rd Ed. – New Delhi : Co-published by Springer International Publishing, Cham, Switzerland, with Capital Publishing Company, 2015 – 403 p. 2. Бурик І. П. Технологічні основи виготовлення елементів напівпровідникових інтегральних мікросхем – Суми : Сумський державний університет, 2015. – 65 с. 3. Майструк Е. В., Козярьський І. П., Козярьський Д. П., Мар'янчук П. Д. Фізико-хімічні основи напівпровідникового матеріалознавства: навч. посібник. –Чернівці : Чернівецький національний університет, 2020. – 120 с. 4. Опанасюк Н. М., Однодворець Л. В., Степаненко А. О. , Проценко С. І. Технологічні основи електроніки: навч. посібник – Суми: СумДУ, 2013.– 105 с. 5. Handbook of Thin-Film Technology / Ed. by H. Frey and H. R. Khan. – Berlin : Springer, 2015. – 379 p. <p>Додаткові матеріали також буде запропоновано для кожної теми окремо.</p> <p>Інформаційні ресурси:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. http://publications.lnu.edu.ua/collections/index.php/electronics/issue/archive 2. https://physics.lnu.edu.ua/research/publications/our-publisher 3. https://jnep.sumdu.edu.ua/uk/component/archive/
Тривалість курсу	один семестр
Обсяг курсу	120 годин, з яких 32 години аудиторних занять, з них 16 годин лекцій, 16 годин лабораторних занять, та 88 годин самостійної роботи.
Очікувані результати навчання	<p>В результаті вивчення цього курсу здобувач повинен знати:</p> <p>термінологію, загальні принципи побудови, фізико-технологічні основи технологічних процесів, технологічних маршрутів і схем в області технології виготовлення електронної компонентної бази мікро- та нанорозмірних приладів електроніки.</p> <p>вміти:</p> <p>аналізувати науково-технічну інформацію, грамотно вибирати технологічні процеси і обладнання для розв'язання поставлених завдань в області технологій мікро-і наноелектроніки.</p>
Ключові слова	мікро- і наноелектроніка, технологічні процеси, технологічні маршрути, підготовки та оброблення матеріалів.
Формат курсу	Очний
	проведення лекцій, лабораторних занять і консультації для кращого розуміння тем
Теми	Наведено у табл.1 і табл. 2
Підсумковий контроль, форма	Підсумковий контроль: залік в кінці семестру. Форма: усна.
Пререквізити	Для вивчення курсу необхідні знання з електрики і магнетизму, молекулярної фізики, оптики, атомної фізики, фізики і техніки низьких температур.
Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання	Використовуються такі методи навчання: а) <i>словесні</i> – лекція, пояснення, бесіда; б) <i>наочні</i> – ілюстрування лекційного матеріалу презентаціями, що включають в себе таблиці, схеми та графіки; в) <i>лабораторні роботи</i> – виконання лабораторних робіт, що передбачає

курсу	організацію навчальної роботи для отримання нових знань та формування вмій і практичних навичок.
Необхідне обладнання	персональний комп'ютер, загальноживані комп'ютерні програми й операційні системи, проектор
Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)	<p>Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за наступним співвідношенням:</p> <ul style="list-style-type: none"> • лабораторні заняття: 80% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 80 (лабораторні роботи № 1, 2 по 10 балів, №3-6 – 15 балів); • контрольна робота 20% семестрової оцінки. Максимальна кількість балів 20 (2 контрольні роботи по 10 балів). <p>Підсумкова максимальна кількість балів 100.</p> <p>Академічна доброчесність здобувачами вищої освіти передбачає самостійне виконання навчальних завдань, завдань поточного та підсумкового контролю результатів навчання. Списування, втручання в роботу інших студентів становлять, але не обмежують, приклади можливої академічної недоброчесності. Виявлення ознак академічної недоброчесності в письмовій чи усній роботі студента є підставою для її незарахування викладачем, незалежно від масштабів обману.</p> <p>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. У будь-якому випадку студенти зобов'язані дотримуватися усіх строків, визначених для виконання усіх видів робіт, передбачених курсом.</p> <p>Література. Усю література, яку студенти не зможуть знайти самостійно, буде надано викладачами виключно в освітніх цілях без права її передавання 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 лабораторних та поточному тестуванні. При цьому обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність студента під час заняття; недопустимість пропусків та запізень на заняття; користування мобільним телефоном, планшетом чи іншими мобільними пристроями під час заняття в цілях, не пов'язаних із навчанням; списування та плагіат; несвоєчасне виконання поставленого завдання і т. ін.</p> <p>Жодні форми академічної недоброчесності не толеруються.</p>
Питання до контрольної роботи	<ol style="list-style-type: none"> 1. Загальна характеристика та етапи розвитку технології мікро- та наноелектроніки. 2. Основні терміни та означення технології мікро- та наноелектроніки. 3. Основні види конструкторської та технологічної документації. 4. Основи технологічної підготовки виробництва. 5. Структура технологічного процесу виробництва приладів та пристроїв мікро- та наносистемної техніки. 6. Класифікація технологічних процесів. Інтеграція технологічних процесів у технологічні маршрути. 7. Вимоги до умов виробництва електронних приладів, та пристроїв, інтегральних схем та інших виробів мікро- та наносистемної техніки. 8. Класи чистоти та категорії мікроклімату. Чисті кімнати та способи їх організації. 9. Організації виробництва інтегральних схем. 10. Основні принципи планарної технології. 11. Типові схеми технологічних маршрутів формування напівпровідникових інтегральних схем. 12. Плівкові інтегральні схеми. Дискретні елементи. Мікробірки. 13. Електронні вироби на друкованих платах. Електромагнітна сумісність.

	<p>14. Методи захисту електронних засобів від зовнішніх впливів.</p> <p>15. Підготовки та оброблення матеріалів.</p> <p>16. Основні матеріали мікроелектронної технології.</p> <p>17. Вимоги до якості оброблення поверхні.</p> <p>18. Механічне та хімічне оброблення матеріалів.</p> <p>19. Класифікація методів очищення поверхні матеріалів. Основи процесів очищення поверхні підкладок, матеріалів.</p> <p>20. Технологія напівпровідникових монокристалів.</p> <p>21. Метод Чохральського.</p> <p>22. Метод зонного плавлення.</p> <p>23. Ріст монокристалів кремнію. Формування кремнієвих пластин.</p> <p>24. Молекулярно-променева епітаксія.</p> <p>25. Газофазна епітаксія з металоорганічних сполук.</p> <p>26. Рідиннофазна епітаксія.</p> <p>27. Вакуумні методи осадження мікро- і наноструктур.</p> <p>28. Літографічні процеси. Шаблони і резисти.</p> <p>29. Складання, монтаж та герметизація виробів мікро- та наносистемної техніки.</p> <p>30. Етапи розроблення виробів та технологій. Дослідження, моделювання та проектування технологічних процесів.</p> <p>31. Особливості конструювання сучасних друкованих плат. Засоби автоматизованого проектування.</p> <p>32. Матеріали і методи виготовлення друкованих плат.</p> <p>33. Обмеження та напрямки розвитку сучасної технології елементів і приладів мікро- та наносистемної техніки.</p>
Опитування	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

Таблиця 1

Схема курсу «Технології мікро- і наноелектроніки»

Тиж-день	Тема	Форма діяльності та обсяг годин	Література	Термін виконання
1, 2	<p>Тема 1. Загальна характеристика технології мікро- та наноелектроніки.</p> <p>Вступ. Цілі і завдання курсу. Загальна характеристика та етапи розвитку технології мікро- та наноелектроніки. Основні терміни та означення, технічна документація. Основні види конструкторської та технологічної документації.</p> <p>С. Р. Вивчення матеріалу лекції. Технологія як наука.</p>	Лекції – 2 год, самостійна робота – 11 год	Базова: 2–4; Допоміжна: 1–4	2 тижні
3, 4	<p>Тема 2. Структура технологічного процесу виробництва приладів та пристроїв мікро- та наноелектроніки.</p> <p>Основи технологічної підготовки виробництва. Структура технологічного процесу виробництва приладів та пристроїв мікро- та наносистемної техніки. Класифікація технологічних процесів. Інтеграція технологічних процесів в технологічні маршрути.</p>	Лекції – 2 год, самостійна робота – 11 год	Базова: 1–5; Допоміжна: 1–5	2 тижні

	<p>С. Р. Вивчення матеріалу лекції. Вимоги до умов виробництва електронних приладів, та пристроїв, інтегральних схем та інших виробів мікро- та наносистемної техніки. Вимоги до технологічних матеріалів та основні методи контролю. Класи чистоти та категорії мікроклімату. Чисті кімнати та способи їх організації.</p>			
5, 6	<p>Тема 3. Технологічні маршрути виробництва приладів та пристроїв мікро- та наносистемної техніки. Організації виробництва інтегральних схем. Основні принципи планарної технології. Типові схеми технологічних маршрутів формування напівпровідникових інтегральних схем. Особливості вибору режимів і матеріалів. Плівкові інтегральні схеми. Дискретні елементи. Мікробірки. Електронні вироби на друкованих платах. Електромагнітна сумісність. С. Р. Вивчення матеріалу лекції. Методи захисту електронних засобів від зовнішніх впливів.</p>	<p>Лекції – 2 год, самостійна робота – 11 год</p>	<p>Базова: 2–4; Допоміжна: 1–4</p>	2 тижні
7, 8	<p>Тема 4. Базові технологічні процеси виробництва мікро- та наносистемної техніки. Підготовлення та оброблення матеріалів. Основні матеріали мікроелектронної технології. Вимоги до якості оброблення поверхні. Механічне та хімічне оброблення матеріалів. Класифікація методів очищення поверхні матеріалів. Основи процесів очищення поверхні підкладок, матеріалів. С. Р. Вивчення матеріалу лекції. Рідинне хімічне та йонне травлення.</p>	<p>Лекції – 2 год, самостійна робота – 11 год</p>	<p>Базова: 1–5; Допоміжна: 1–5</p>	2 тижні
9, 10	<p>Тема 5. Технологія напівпровідникових монокристалів. Технологія напівпровідникових монокристалів. Метод Чохральського. Метод зонного плавлення. С. Р. Вивчення матеріалу лекції. Ріст монокристалів кремнію. Формування кремнієвих пластин.</p>	<p>Лекції – 2 год, самостійна робота – 11 год</p>	<p>Базова: 2, 4; Допоміжна: 2–4</p>	2 тижні
11, 12	<p>Тема 6. Методи епітаксійного осадження. Молекулярно-променева епітаксія. Газофазна епітаксія з металоорганічних сполук. Рідиннофазна епітаксія. С. Р. Вивчення матеріалу лекції. Вакуумні методи осадження мікро- і наноструктур.</p>	<p>Лекції – 2 год, самостійна робота – 11 год</p>	<p>Базова: 1–5; Допоміжна: 1, 5</p>	2 тижні
13, 14	<p>Тема 7. Літографія. Літографічні процеси. Шаблони і резисти. С. Р. Вивчення матеріалу лекції. Складання, монтаж та герметизація виробів мікро та наносистемної техніки. Контроль та</p>	<p>Лекції – 2 год, самостійна робота – 11 год</p>	<p>Базова: 1–4; Допоміжна: 1–5</p>	2 тижні

	випробовування елементів.			
15, 16	<p>Тема 8. Розроблення, дослідження та моделювання технологічних процесів.</p> <p>Етапи розроблення виробів та технологій. Дослідження, моделювання та проектування технологічних процесів. Особливості конструювання сучасних друкованих плат. Засоби автоматизованого проектування. Матеріали і методи виготовлення друкованих плат.</p> <p>С. Р. Вивчення матеріалу лекції. Обмеження та напрямки розвитку сучасної технології елементів і приладів мікро- та наносистемної техніки.</p>	Лекції – 2 год, самостійна робота – 11 год	Базова: 1–4; Допоміжна: 2–4	2 тижні

Таблиця 2

Теми лабораторних робіт

Тиждень	Назва теми	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
1	Вступне заняття.	лабораторна робота – 2 год	2 тижні
3	Процеси механічного та рідинного хімічного очищення підкладок і пластин.	лабораторна робота – 2 год	2 тижні
5	Фотолітографія.	лабораторна робота – 2 год	2 тижні
7	Конструктивно-технологічні особливості створення тонкопліткових елементів інтегральних схем.	лабораторна робота – 2 год	2 тижні
9	Особливості формування омічних контактів в інтегральних напівпровідникових структурах.	лабораторна робота – 2 год	2 тижні
11	Дослідження омічних контактів структур метал-напівпровідник.	лабораторна робота – 2 год	2 тижні
13	Створення технологічної карти виготовлення мікроелектронного компоненту	лабораторна робота – 2 год	2 тижні
15	Заключне заняття.	лабораторна робота – 2 год	2 тижні