

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 _____



Силабус

з навчальної дисципліни

«Багатофункціональні діелектричні матеріали»,

що викладається в межах

ОПІ Прикладна фізика та наноматеріали

**Другого (магістерського) рівня вищої освіти для здобувачів із
спеціальності 105 «Прикладна фізика та наноматеріали»**

Львів 2023 р.

**Силабус курсу «БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНІ ДІЕЛЕКТРИЧНІ МАТЕРІАЛИ»
2023–2024 н.р.**

Назва курсу	Багатофункціональні діелектричні матеріали
Адреса викладання курсу	вул. Драгоманова 50, 79005 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 курсу	доцент кафедри фізики твердого тіла, к.ф.-м.н Юрій Ігорович Еліяшевський
Контактна інформація викладачів	yuriy.eliyashevskyy@lnu.edu.ua https://physics.lnu.edu.ua/employee/eliyashevskyy-yurij-ihorovych
Консультації по курсу відбуваються	Консультації в день проведення лекцій та лабораторних занять (за попередньою домовленістю). Також можливі он-лайн консультації через електронну пошту та на платформі Microsoft Teams. Для погодження часу он-лайн консультацій слід написати на електронну пошту викладача або в чат Microsoft Teams
Сторінка курсу	https://physics.lnu.edu.ua/course/bahatofunktsionalni-dielektrychni-materialy-05-prykladna-fizyka-ta-nanomaterialy-opp-prykladna-fizyka-ta-nanomaterialy
Інформація про курс	Дисципліна «Багатофункціональні діелектричні матеріали» є вибірковою дисципліною зі спеціальності 105 Прикладна фізика та наноматеріали для ОПІ Прикладна фізика та наноматеріали для другого (магістерського) рівня вищої освіти, яка викладається в 1 семестрі в обсязі 3,0 кредити (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS). Зміст та матеріал навчальної дисципліни стосується фізичних властивостей діелектричних матеріалів в широкому частотному діапазоні, а також прикладних аспектів їх застосування в рамках яких можлива подальша професійна та наукова кар'єра у галузі фізики матеріалів та фізики твердого тіла.
Коротка анотація курсу	Курс розроблено таким чином, щоб надати учасникам як теоретичні так і практичні знання, уміння, навички, загальні та фахові компетентності для розв'язання проблем в сфері матеріалознавства діелектриків . Тому у курсі представлені як огляд сучасних методів електрофізичних дослідження діелектриків з детальним оглядом теоретичних квантово-механічних підходів для їх розуміння, а також з прикладними аспектами використання цих матеріалів у науці та техніці.
Мета та цілі курсу	Метою вивчення нормативної дисципліни “Багатофункціональні діелектричні матеріали” є ознайомлення студентів із фундаментальними законами матеріалознавства в галузі діелектриків, з методиками дослідження дисперсійних властивостей діелектриків, їх електрофізичних властивостей, фазових переходів, із акцентом на фероїчні матеріали, надати інформацію про можливості їх практичного застосування, в тому числі із переходом до нанометровго діапазону.

Література для вивчення дисципліни	<p>Базова:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Л. В. Однорець, І. М. Пазуха. Матеріали і компоненти функціональної електроніки – Суми: Сумський державний університет. – 2020. – 196 с. 2. Стадник Капустяник Фізика діелектриків. Навчальний посібник Львів, ЛНУ імені Івана Франка . – 2015. – 336 с. 3. Charlotte Murray Ferroelectric Materials: Science and Technology States Academic Press. – 2022. – 249 p. 4. Ю. М. Поплавко Фізика діелектриків : підручник; за заг. ред. акад. НАН України Ю. І. Якименка. – К. : НТУУ «КПІ». –2015. – 572 с. <p>Допоміжна:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. R. N. P. Choudhary, S. K. Patri, Dielectric Materials: Introduction, Research and Applications (Materials Science and Technologies) Nova Science Pub Inc; UK ed. Edition – 2009. – 152 p. 2. Ashim Kumar Bain, Prem Chand Ferroelectrics: Principles and Applications Wiley. –2017. –328 p. <p>Інформаційні ресурси:</p> <p>http://www.wikipedia.org https://www.britannica.com/science/dielectric https://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/ferroelectrics/index.php https://www.electrical4u.com/dielectric-materials/</p>
Тривалість курсу	один семестр
	90 годин, з яких 32 годин аудиторних занять, з них 16 годин лекцій, 16 годин лабораторних занять, та 58 години самостійної роботи
Очікувані результати навчання	<p>В результаті вивчення цього курсу здобувач повинен</p> <p>знати: механізми поляризації діелектричних матеріалів, властивості сегнетоелектричних матеріалів, електрофізичні явища та ефекти, пов'язані із впливом зовнішнього електричного поля на діелектричні матеріали та їх застосування в сучасному приладобудуванні</p> <p>вміти: використовувати отримані знання при розв'язанні завдань теоретичного та прикладного характеру, аналізувати електричні властивості діелектричних матеріалів в радіочастотному діапазоні в тому числі з пониженням температури, застосовувати багатофункціональні діелектричні матеріали для наноелектроніки.</p>
Ключові слова	Діелектричні матеріали, фероїки, поляризація, сегнетоелектричні матеріали, діелектрична дисперсія, п'єзоелектричний ефект, спектроскопія, піроелектричні матеріали.
Формат курсу	Очний
	проведення лекцій, лабораторних робіт та консультації для кращого розуміння тем
Теми	Наведено у табл.1 і табл. 2
Підсумковий контроль, форма	залік в кінці семестру
Пререквізити	Для вивчення курсу студенти повинні знати основні закони та поняття з курсів загальної фізики, квантової механіки, фізики твердого тіла;

	вміти застосовувати набуті раніше знання з курсів математичного аналізу, загальної фізики, квантової механіки, термодинаміки, статистичної фізики, володіти навиками пошуку та опрацювання спеціалізованої літератури, побудови та аналізу графічних залежностей.
Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу	Використовуються такі методи навчання: а) <i>словесні</i> – лекція, пояснення, бесіда, інструктаж (вступний та поточний) під час виконання лабораторних робіт; б) <i>наочні</i> – ілюстрування лекційного матеріалу презентаціями, що включають в себе таблиці, схеми та графіки; в) <i>лабораторні</i> – виконання лабораторних робіт, що передбачає організацію навчальної роботи для отримання нових знань, перевірки певних наукових гіпотез на рівні досліджень, узагальнень та аналізу та формування вмінь і навичок інтерпретації результатів досліджень.
Необхідне обладнання	персональний комп'ютер, операційні системи (Windows), електрометр Keithley 6517A, вимірювач імітансу у радіочастотному діапазоні, азотний кріостат, система регуляції температури, кріокулер «Advanced Research System» програмне забезпечення для обробки та візуалізації результатів вимірювань, посудини для зберігання кріорідин, зріджений азот, проектор.
Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)	Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за наступним співвідношенням: • лабораторні: 50 % семестрової оцінки; максимальна кількість балів 50 (лабораторні роботи № 1-4, 6, 8 по 6 балів, № 5, 7 – 7 балів); • контрольні заміри (модулі) теоретичного матеріалу: 50 % семестрової оцінки; максимальна кількість балів 50 (перший модуль 15 балів, другий – 35 балів); Підсумкова максимальна кількість балів 100. Академічна доброчесність: очікується, що роботи студентів будуть їхніми оригінальними дослідженнями чи міркуваннями. Списування, втручання в роботу інших студентів, відсутність посилок на використані джерела становлять, але не обмежують, приклади можливої академічної не доброчесності. Виявлення ознак академічної не доброчесності в роботах студента є підставою для її не зарахування 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. У будь-якому випадку студенти зобов'язані дотримуватися усіх строків визначених для виконання усіх видів робіт, передбачених курсом. Література: уся література, яку студенти не зможуть знайти самостійно буде надана викладачем виключно в освітніх цілях без права передачі її третім особам. Студенти заохочуються до використання також й іншої літератури та джерел, яких немає серед рекомендованих. Політика встановлення балів. Враховуються бали набрані за виконання та захист лабораторних робіт і самостійної роботи. При цьому враховується присутність на заняттях та активність студента під час виконання лабораторної роботи; списування та плагіат; користування мобільними пристроями в цілях не пов'язаних з навчанням; несвоєчас-

	<p>не виконання поставленого завдання.</p> <p>Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.</p>
<p>Питання для перевірки теоретичного матеріалу курсу</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Вступ. Діелектрики як багатофункціональні матеріали для сучасної електроніки. 2. Фізичні величини для опису електричних властивостей матеріалів. Електричний момент. 3. Електрична поляризація діелектричних матеріалів. 4. Вектори електричного поля, індукції та поляризованості. Макроскопічний опис електричної поляризації. 5. Тензор діелектричної проникності. 6. Механізми пружної електричної поляризації. 7. Поляризація електронного зміщення. 8. Поляризація іонного зміщення. 9. Теплова електрична поляризація. Механізми її виникнення. 10. Теплова орієнтаційна поляризація. 11. Теплова іонна поляризація. 12. Об'ємозарядна та високовольтна поляризації діелектричних матеріалів. 13. Механізми виникнення міграційної (об'ємозарядної) поляризації. 14. П'єзоелектричні матеріали. 15. Електрострикція, її практичне використання. 16. Піроелектрична поляризація та фотополяризація діелектричних матеріалів. 17. Електрети. Залишкова поляризація. 18. Сегнетоелектричні матеріали. Сегнетоелектричний фазовий перехід. 19. Петля сегнетоелектричного гістерезису. 20. Доменна структура у сегнетоелектричних матеріалах. 21. Електропровідність діелектричних кристалів. 22. Механізми провідності у діелектричних матеріалах. 23. Поняття діелектричної дисперсії. 24. Температурно-частотні залежності діелектричних параметрів з тепловими механізмами поляризації. 25. Теорія Дебая для діелектричних релаксаційних процесів. 26. Діаграми Коула-Коула. Аналіз діелектричної дисперсії при наявності кількох релаксаторів. 27. Основні типи фазових переходів у діелектричних матеріалах. 28. Теорія Ландау. Феноменологічний опис фазових переходів у сегнетоеластичних матеріалах.
<p>Опитування</p>	<p>Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.</p>

Схема курсу «Багатофункціональні діелектричні матеріали»

Тиждень	Тема	Форма діяльності та обсяг годин	Література	Термін виконання
1,2	<p>Тема 1. Поляризація діелектричних матеріалів.</p> <p>Вступ. Діелектрики як багатофункціональні матеріали для сучасної електронної промисловості. Електрична поляризація діелектричних матеріалів. Електричний момент. Макроскопічний опис електричної поляризації. Вектори електричного поля, індукції та поляризованості. Діелектрична сприйнятливість. Тензор діелектричної проникності. С.Р. Вивчення матеріалу лекції. Зв'язок між величинами, що описують електричну поляризацію.</p>	Лекції – 2 год, самостійна робота – 4 год	Базова: 2,3; Допоміжна: 1	2 тижні
3,4,5	<p>Тема 2. Механізми поляризації діелектричних матеріалів.</p> <p>Механізми пружної електричної поляризації. Поляризація електронного зміщення. Поляризація іонного зміщення. Теплова електрична поляризація. Механізми її виникнення. Теплова орієнтаційна поляризація. Теплова іонна поляризація. Об'ємозарядна та високвольтна поляризації. Механізми виникнення міграційної (об'ємозарядної) поляризації. С.Р. Вивчення матеріалу лекції. Вплив дефектів на поляризацію діелектриків.</p>	Лекції – 3 год, самостійна робота – 5 год	Базова: 1, 2, 3; Допоміжна: 2	2 тижні
6,7	<p>Тема 3. Дія неелектричних чинників на поляризацію діелектричних матеріалів.</p> <p>Піроелектрична поляризація та фотополяризація. Залишкова поляризація. Електрети. П'єзоелектричні матеріали, їх практичне застосування. Прямий та обернений п'єзоелектричні ефекти. Електрострикція. С.Р. Вивчення матеріалу лекції. Термостимульована деполяризація діелектриків.</p>	Лекції – 2 год, самостійна робота – 4 год	Базова: 2,3 Допоміжна: 2	2 тижні

8,9,10	<p>Тема 4. Діелектричні матеріали із сегнетоелектричними властивостями.</p> <p>Поляризація сегнетоелектричних матеріалів. Сегнетоелектричний стан у полярних діелектриках. Сегнетоелектричний фазовий перехід. Спонтанна поляризація і доменна структура в сегнетоелектричних матеріалах. Петля сегнетоелектричного гістерезису. Внесок доменної динаміки в діелектричну проникність. Феноменологічний опис фазових переходів у сегнетоелектриках. Теорія Ландау. Сегнетоеластичності і антисегнетоелектрики. Технологія отримання і перспективи застосування наноструктурованих сегнетоелектричних матеріалів.</p> <p>С.Р. Вивчення матеріалу лекції.</p> <p>Використання сегнетоелектричних матеріалів для створення комірок пам'яті.</p>	Лекції – 3 год, самостійна робота – 5 год	Базова: 1, 3, 4; Допоміжна: 1	3 тижні
11,12	<p>Тема 5. Електропровідність діелектричних матеріалів.</p> <p>Іонна електропровідність діелектричних матеріалів. Протонна провідність. Суперіоніки. Електронна провідність. Поляронна (стрибкова) провідність. Електропровідність діелектричних кристалів Особливості електропровідності в сегнетоелектриках. Пробій у твердих діелектриках. Електродеградація та радіаційна стійкість діелектриків. Застосування протонних провідників та суперіоніків.</p> <p>С.Р. Вивчення матеріалу лекції.</p> <p>Вплив дефектів на електропровідність діелектричних матеріалів.</p>	Лекції – 2 год, самостійна робота – 4 год	Базова:2,3 Допоміжна: 2	2 тижні
13,14	<p>Тема 6. Діелектричні втрати та діелектрична спектроскопія.</p> <p>Фізичні механізми діелектричних втрат. Поняття тангенса кута діелектричних втрат. Діелектричні втрати при пружній та тепловій поляризаціях. Діелектрична спектроскопія. Діелектричні параметри неоднорідних діелектричних матеріалів. Час-</p>	Лекції – 2 год, самостійна робота – 5 год	Базова 1, 2, 3 Допоміжна: 2	2 тижні

	<p>тотні та температурні залежності діелектричних втрат. Дисипація електричної енергії в діелектрику. Комплексна діелектрична проникність.</p> <p>С.Р. Вивчення матеріалу лекції.</p> <p>Зв'язок провідності діелектрика з тангенсом діелектричних втрат.</p>			
15,16	<p>Тема 7. Діелектричні релаксаційні процеси. Діелектрична дисперсія.</p> <p>Резонансна та релаксаційна дисперсія. Частотний вплив на резонансний та релаксаційний спектри. Теорія Дебая для діелектричних релаксаційних процесів. Діаграми Коула-Коула. Аналіз діелектричної дисперсії при наявності кількох релаксаторів. Діелектрична дисперсія в сегнетоелектричних матеріалах.</p> <p>С.Р. Вивчення матеріалу лекції.</p> <p>Діелектрична дисперсія для релаксаторів з близькими релаксаційними частотами.</p>	<p>Лекції – 2 год, самостійна робота – 4 год</p>	<p>Базова: 2, 3, 4 Допоміжна: 2</p>	2 тижні

Таблиця 2

Теми лабораторних занять

Тиждень	Назва теми	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
1,2	Методика приготування зразків для вимірювання електричних параметрів.	лаборатор. заняття – 2 год, самостійна робота – 1 год	1 тиждень
3,4	Вивчення температурних змін провідності у діелектричних матеріалах	лаборатор. заняття – 2 год, самостійна робота – 3 год	2 тижні
5,6	Візуалізація доменної структури сегнетоеластика за допомогою поляризаційного мікроскопу	лаборатор. заняття – 2 год, самостійна робота – 4 год	2 тижні
7,8	Вивчення електричних властивостей кристалів в околі сегнетоелектричного фазового переходу.	лаборатор. заняття – 2 год, самостійна робота – 4 год	2 тижні
9,10	Визначення спонтанної поляризації сегнетоелектричного матеріалу за допомогою його ВАХ.	лаборатор. заняття – 2 год, самостійна робота – 4 год	2 тижні
11,12	П'єзоелектричний ефект сегнетоелектричному матеріалі.	лаборатор. заняття – 2 год, самостійна робота – 4 год	2 тижні
13,14	Дослідження дисперсійних характеристик кристал методами діелектричної спектроскопії.	лаборатор. заняття – 2 год, самостійна робота – 4 год	2 тижні
15,16	Дослідження фотовольтаїчного ефекту в сегнетоелектричному матеріалі	лаборатор. заняття – 2 год, самостійна робота – 4 год	2 тижні