



Національна академія наук України  
Інститут проблем матеріалознавства  
ім. І.М. Францевича



Силабус (робоча програма) навчальної дисципліни

## МАТЕРІАЛИ ЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ

## MATERIALS OF ELECTRONIC ENGINEERING

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>третій (освітньо-науковий)</i>
Галузь знань	<i>10 «Природничі науки»</i>
Спеціальність	<i>105 «Прикладна фізика та наноматеріали»</i>
Освітня програма	<i>105 «Прикладна фізика та наноматеріали»</i>
Статус дисципліни	вибіркова
Форма навчання	<i>денна (очна), он-лайн/офф-лайн</i>
Рік підготовки, семестр	<i>2 курс навчання, 4 семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>3 кредити ECTS, 90 годин</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>залік</i>
Розклад занять	<i>лекція – раз на тиждень (32 години); практика/семінар/консультації – 1 раз на два тижні (16 годин); самостійна робота 41 год., у тому числі на виконання індивідуальних/домашніх завдань 20 год, залік – 1 год</i>
Мова викладання	<i>українська</i>
Інформація про викладачів	<i>к.ф.-м.н., ст. досл., зав. від. Євтушенко Арсеній Іванович, тел.: +38 098 2371278, e-mail: <a href="mailto:a.ievushenko@ipms.kyiv.ua">a.ievushenko@ipms.kyiv.ua</a></i>
Розміщення курсу	Google Classroom; доступ за запрошенням викладача

### Програма навчальної дисципліни

#### 1. Опис освітньої компоненти, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Навчальна дисципліни присвячена опануванню знань про фізичні явища, процеси, властивості таких матеріалів електронної техніки як провідники, напівпровідники, діелектрики та магнітні матеріали. Акцент зроблено на вивчення причинно-наслідкового зв'язку між структурою, складом та електрофізичними властивостями матеріалів електронної техніки. Отримані знання допоможуть аспірантам глибше розуміти властивості матеріалів електронної техніки виходячи з особливостей їх

структури, складу, хімічного зв'язку та в залежності від температури, еkleктичного та магнітного поля, для формування у аспірантів уявлення про практичне застосування матеріалів електронної техніки та їх перспективи розвитку у сучасних та майбутніх пристроях електроніки, наноелектроніки та у приладобудуванні.

**Предмет освітньої компоненти** – мікроструктура, хімічний зв'язок, симетрія твердих тіл, електро-фізичні властивості провідників, напівпровідників, діелектриків та магнітних матеріалів, вплив на матеріали електронної техніки температури, еkleктичного та магнітного полів.

**Метою освітньої компоненти** є формування у здобувачів вищої освіти (з.в.о.) рівня PhD компетентностей:

**Інтегральна компетентність:**

Здатність продукувати нові ідеї, розв'язувати комплексні проблеми професійної та/або дослідницько-інноваційної діяльності у сфері прикладної фізики та наноматеріалів, застосовувати методологію наукової та педагогічної діяльності, проводити власне наукове дослідження, результати якого мають наукову новизну, теоретичне та практичне значення.

**Загальні компетентності:**

ЗК01. Здатність до освоєння і системного аналізу через наукове сприйняття і критичне осмислення нових знань.

ЗК02. Здатність до критичного аналізу і креативного синтезу нових ідей.

ЗК03. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

ЗК04. Здатність до оприлюднення наукових результатів перед академічною аудиторією та громадськістю як на національному, так і на міжнародному рівні.

ЗК07. Здатність дотримуватися етичних норм та авторського права при проведенні наукових досліджень, діяти на основі принципів академічної доброчесності, а також ставитися із повагою до національних та культурних традицій, способів роботи і мислення інших.

**Фахові компетентності:**

ФК01. Здатність самостійно здійснювати наукову діяльність у галузі прикладної фізики з використанням новітніх наукових теорій, методів та інноваційних технологій.

ФК02. Здатність розвивати теоретичні засади, створювати і застосовувати сучасні об'єкти і процеси прикладної фізики та наноматеріалів.

ФК03. Здатність розв'язувати комплексні проблеми в галузі прикладної фізики та наноматеріалів з урахуванням міжгалузевих зв'язків для забезпечення потреб у високоефективних матеріалах, енерго- та ресурсозберігаючих технологіях.

ФК08. Здатність до постійного самовдосконалення у професійній сфері, відповідальність за навчання інших при проведенні науково-педагогічної діяльності та наукових досліджень в галузі прикладної фізики та наноматеріалів.

ФК09. Здатність до генерації нових ідей, самостійного планування та здійснення наукової діяльності, адаптації та впровадження інноваційних технологій з урахуванням експлуатаційних вимог.

**Програмні результати навчання.** Після засвоєння освітньої компоненти аспіранти мають продемонструвати такі результати навчання:

PH01. Проявляти наукові погляди та підходи при оцінюванні варіантів створення нових перспективних матеріалів з заданим рівнем властивостей.

PH02. Володіти концептуальними та методологічними знаннями в галузі прикладної фізики та наноматеріалів бути здатним застосовувати їх до професійної діяльності на межі предметних галузей.

PH07. Визначатись з факторами та критеріями, які необхідно враховувати при експертизі науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт та проєктів в галузі прикладної фізики та наноматеріалів враховуючи технологічний, економічний, соціальний ефект та вплив на стан довкілля.

PH09. Застосовувати у науковій та практичній діяльності провідні тенденції, ключові напрями та перспективи розробки нових матеріалів різної природи, основи сучасних технологій виготовлення конструкційних і функціональних матеріалів, «розумних» та біо-матеріалів, матеріалів спеціального (оборонного) призначення, з подовженим строком експлуатації та для відновлюваних джерел енергії.

PH12. Демонструвати навички роботи з сучасним обладнанням при проведенні експериментальних досліджень з прикладної фізики та наноматеріалів.

PH18. Дотримуватись етичних норм, враховувати авторське право та норми академічної доброчесності при проведенні наукових досліджень, презентації їх результатів та у науково-педагогічній діяльності.

## **2. Місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою**

Перелік освітніх компонент, знань та умінь, володіння якими необхідні аспіранту для успішного засвоєння освітньої компоненти:

<b>Пререквізити:</b>	
Основи фізики конденсованого стану речовини	Основи фізики конденсованого стану речовини як міждисциплінарної галузі науки, що вивчає залежність між складом, структурою та електро-фізичними властивостями матеріалів.
Фізичні основи наноматеріалів та нанотехнологій	Теоретичні основи будови, властивостей і методів отримання наноструктур і наноструктурних матеріалів, достатні для самостійного подальшого проведення досліджень в цієї галузі і наступного оволодіння нанотехнологіями, та вміння вибирати методи синтезу (отримання) наноструктур, консолідації тривимірних матеріалів, отримання тонких плівок, адаптувати знання при виконанні власних дисертаційних досліджень.
Науково-дослідна практика	Знання з технології та інженерії, а також дослідницькі навички, достатні для проведення досліджень з відповідного напрямку.
<b>Постреквізити:</b>	
Наукова складова	Планування і виконання експериментальних досліджень з використанням сучасних методів та методик дослідження, критичний аналіз результатів досліджень.

### **3. Зміст освітньої компоненти**

**Тема 1. Матеріали електронної техніки: класифікація, основні види та загальні відомості про властивості матеріалів.**

Будова матеріалів, види зв'язку в речовині, поняття про кристалічну структуру та елементи симетрії в кристалі, кристалічні та аморфні тверді тіла. Елементи зонної моделі твердого тіла, висновки зонної теорії. Огляд найважливіших фізичних явищ у матеріалах, що виникають при дії електричного та магнітного полів. Явище електропровідності в матеріалах, класифікація видів електропровідності. Основні поняття та параметри, загальне рівняння електропровідності.

**Тема 2. Провідникові матеріали.**

Класифікація провідникових матеріалів. Основні групи металевих провідникових матеріалів (металів та сплавів) для електронної техніки. Природа електропровідності в металах. Електричні властивості металевих матеріалів. Механічні властивості та теплопровідність металевих матеріалів. Особливості електропровідності в тонких плівках та на високих частотах. Неметалеві провідникові матеріали. Композиційні резистивні матеріали.

**Тема 3. Напівпровідникові матеріали.**

Класифікація напівпровідникових матеріалів, основні параметри. Основні напівпровідникові матеріали та напрямки їх застосування. Загальні властивості напівпровідників, види електропровідності, вплив температури. Контактні явища та поверхневі стани. Фотоелектричні явища у напівпровідниках.

**Тема 4. Діелектричні матеріали.**

Класифікація діелектричних матеріалів. Загальні фізико-хімічні властивості діелектричних матеріалів. Основні явища в діелектричних матеріалах: поляризація, електропровідність. Діелектричні втрати, види втрат. Явище електричного пробоя у діелектрику. Види пробоя у твердих діелектриках. Властивості і застосування важливих пасивних діелектричних матеріалів. Активні діелектричні матеріали та компоненти на їх основі.

**Тема 5. Магнітні матеріали.**

Основні явища в матеріалах при дії магнітного поля. Загальна класифікація матеріалів по відношенню до магнітного поля. Магнітном'які та магнітнотверді матеріали.

**Тема 6. Новітні матеріали для електронної техніки.**

Сучасні 2D матеріали. Рідинні кристали. Електрети. Надпровідники.

### **4. Навчальні матеріали та ресурси**

Навчальні матеріали, зазначені нижче, доступні у бібліотеці інституту, а також може бути надана в електронному вигляді. Обов'язковою до вивчення є базова література, інші матеріали – факультативні.

#### **Базова література:**

1. Крилик Л. В. Матеріали електронної техніки: навчальний посібник / Л. В. Крилик, О. О. Селецька. – Вінниця: ВНТУ, 2017. – 120 с.
2. Поплавко Ю. М. Фізика твердого тіла. [в 2-х томах] / Ю. М. Поплавко; КПІ ім. Ігоря Сікорського.- Київ: Політехніка, 2017. – 416 с.

3. Поплавко Ю.М. Фізичне матеріалознавство: навч. посіб. / Ю.М. Поплавко, Л.П.Переверзева, В.І. Ільченко, О.С. Воронов, Ю.І. Якименко. – К.:НТУУ «КПІ», 2011: Частина 1. Перспективні напрями матеріалознавства – 302 с.; Частина 2. Діелектрики – 392 с.; Частина 3. Провідники і магнетики -372 с.; Частина 4. Напівпровідники – 336 с.
4. Готра З.Ю. Фізичні основи електронної техніки: Навчальний посібник. / З.Ю. Готра, І.Є. Лопатинський, Б.А. Лукіянець, З.М. Микитюк, І.В. Петрович. - Львів: Видавництво "Бескид Біт", 2004. - 880 с.
5. Поплавко Ю. М. Основи фізики магнітних явищ у кристалах: Навчальний посібник. Ю. М. Поплавко– Київ: НТУУ «КПІ», 2007. - 216 с.

#### **Додаткова література:**

1. Rainer Waser (Ed.), *Nanoelectronics and Information Technology. Advanced Electronic Materials and Novel Devices*. WILEY-VCH GmbH & Co. KGaA, 2003 -1002с.
2. Готра З.Ю. *Технологія електронної техніки: підручник для вузів.* – Львів: Видавництво НУ «Львівська політехніка», в 2-ох т., 2009. – 888с.
3. Третяк О.В., Лозовський В.З. *Основи фізики напівпровідників: Підручник: У 2 т. – К.: Видавничо-поліграфічний центр; Київський університет, 2007. – Т. 1. – 338 с.*
4. Ievtushenko A. *Behavior of Al Impurity in ZnO Films: Influence of Al-Level Doping on Structure, X-Ray Photoelectron Spectroscopy and Transport Properties* / A. Ievtushenko, O.Baibara, M. Dranchuk, O.Khyzhun, V. Karpyna, O. Bykov, O.Lytvyn, V.Tkach, V. Baturin, and O. Karpenko // *Phys. Status Solidi A*. - 2023.– 220 (2). - P. 2200523 (1 of 7). <https://doi.org/10.1002/pssa.202200523>
5. Ievtushenko A. *The effect of Ag doping on the structure, optical, and electronic properties of ZnO nanostructures deposited by atmospheric pressure MOCVD on Ag/Si substrates/* A. Ievtushenko, V. Dzhagan, O. Khyzhun, O. Baibara, O. Bykov, M. Zahornyi, V. Yukhymchuk, M. Valakh, D. R. T. Zahn, K. Naumenko, P. Zaremba and S. Zagorodnya // *Semiconductor Science and Technology*. – 2023. – 38. – P. 075008 (14pp). <https://doi.org/10.1088/1361-6641/acd6b2>
6. Koziarskyi I.P. *The influence of manufacturing modes on the electrical and energy parameters of graphene/p-CdTe Schottky diodes/* I.P. Koziarskyi, M.I. Ilashchuk, I.G. Orletskyi, D.P. Koziarskyi, L.A. Myroniuk, D.V. Myroniuk, A.I. Ievtushenko, E.V. Maistruk // *Physica B: Condensed Matter*. – 2023. – 667. – P. 415151. <https://doi.org/10.1016/j.physb.2023.415151>
7. Golovynskyi S. *High transparent and conductive undoped ZnO thin films deposited by reactive ion-beam sputtering/* S.Golovynskyi, A.Ievtushenko, S. Mamykin, M. Dusheiko, I.Golovynska, O. Bykov, O. Olifan, D. Myroniuk, S.Tkach, J. Qu // *Vacuum*. - 2018. - 153. - 204-210. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2018.04.019>
8. Shteplyuk I. *Temperature-Dependent Photoluminescence of ZnO Thin Films Grown on Off-Axis SiC Substrates by APMOCVD /* I. Shteplyuk, V. Khranovskyy, A. Ievtushenko, R. Yakimova // *Materials*. – 2021. – 14(4). – P. 1035 (15pp). <https://doi.org/10.3390/ma14041035>
9. Myroniuk L. *The Biological Activity of ZnO Nanostructures Doped by Mg and Co/* L. Myroniuk, D. Myroniuk, V. Karpyna, O. Bykov, I. Garmasheva, O. Povnitsa, L. Artiukh, K. Naumenko, S. Zahorodnia, A. Ievtushenko // *Acta Physica Polonica A*. – 2022. - V. 142 (5). - P. 651-656. <https://doi.org/10.12693/APhysPolA.142.651>

10. Ievtushenko A. The effect of magnetron power and oxygen pressure on the properties of NiO films deposited by magnetron sputtering in layer-by-layer growth regime/ A. Ievtushenko, V. Karpyna, O. Khyzhun, O. Bykov, O. Olifan, P. Lytvyn, O. Yarmolenko, V. Tkach, V. Baturin, O. Karpenko // Vacuum. – 2023. – 215.– P. 112375. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2023.112375>

## Навчальний контент

### 5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Передбачено комплексний підхід, що поєднує лекції та семінари, а також розгляд питань, що виносяться на самостійну роботу. При читанні лекцій застосовується ілюстративний матеріал у вигляді презентацій, які розміщені в Google Classroom. Після кожної лекції рекомендується ознайомитись з матеріалами, рекомендованими для самостійного вивчення, а перед наступною лекцією – повторити матеріал попередньої. Метою практичних занять є закріплення теоретичних знань, отриманих на лекціях та в процесі самостійної роботи з літературними джерелами в ході вивчення освітньої компоненти.

### 6. Самостійна робота

Самостійна робота включає повторення лекційного матеріалу, опрацювання рекомендованої літератури, що дозволяє розширити та поглибити знання з дисципліни, підготовку до практичних завдань та заліку.

## Політика та контроль

### 7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Відвідування лекційних та семінарських занять, які можуть проводитись як он-лайн, так і офф-лайн, є обов'язковим. У випадку відсутності на занятті аспіранти зобов'язані повідомити викладача заздалегідь і надати документальне підтвердження причини відсутності, якщо це можливо. На початку кожної лекції проводиться опитування за матеріалами попередньої лекції із застосуванням інтерактивних засобів з метою визначення рівня обізнаності здобувачів за даною темою та підвищення зацікавленості. Під час сигналу повітряної тривоги заняття негайно припиняється, а всі учасники навчального процесу повинні пройти в найближче укриття. Для завершення заняття організується додатковий час.

Правила призначення заохочувальних та штрафних балів. Заохочувальні бали можуть нараховуватись викладачем за активну участь у заняттях, виконання творчих робіт з освітньої компоненти або додаткового проходження он-лайн профільних курсів з отриманням відповідного сертифікату. Але їх сума не може перевищувати 25% від рейтингової шкали. Штрафні бали в рамках освітньої програми не передбачені.

Політика дедлайнів та перескладань. Дедлайни здачі завдань та контрольних робіт є обов'язковими. У разі поважних причин, аспіранти можуть звернутись до викладача для можливої зміни продовження термінів. Запити на продовження дедлайну повинні бути подані заздалегідь.

### 8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

В рамках навчальної дисципліни передбачено кілька видів контролю та систему рейтингування результатів навчання, а саме:

Поточний контроль: опитування під час лекцій та на семінарських заняттях.

Семестровий контроль: залік.

Рейтингова система оцінювання формується з суми балів, набраних під час поточного та семестрового контролю. Рейтинг аспіранта  $R$  розраховується за 100 бальною шкалою та складається з балів, що він отримує протягом семестру (стартовий рейтинг)  $S$  та диференційованого заліку  $C$ . Додаткові бали  $D$  можна отримати за активну участь у заняттях, виконання творчих робіт з освітньої компоненти або додаткового проходження он-лайн профільних курсів з отриманням відповідного сертифікату. Таким чином, сумарний рейтинговий бал розраховується як

$$R=S + C + D$$

Стартовий рейтинг  $S$  складається з балів, що аспірант отримує за відвідування занять (1 бал), правильну відповідь при поточному опитуванні (2 бали), виконання творчого завдання (5 балів). Максимальна сума балів, яку аспірант може набрати протягом семестру (стартовий рейтинг), складає 50 балів. Умовою допуску до заліку є кількість рейтингових балів не менше 30.

На заліку аспіранти виконують письмову тестову роботу, що складається з 5 питань. Кожне запитання (завдання) оцінюється в 10 балів. Умовою успішної здачі заліку є кількість отриманих за залікову роботу балів не менше 30.

Сумарний рейтинговий бал розраховується за формулою:

$$R=S + C + D,$$

де  $S$  – стартовий рейтинг;

$C$  – залік;

$D$  – додаткові бали.

Відповідність між кількістю балів, оцінкою за національною шкалою та шкалою ECTS наведена в таблиці.

Кількість балів	Шкала ECTS	Оцінка за національною шкалою
90-100	A	Відмінно
85-89	B	Добре
75-84	C	
65-74	D	Задовільно
60-64	E	
Менше 60	FX	Незадовільно
Не виконані умови допуску		Не допущено

## 9. Додаткова інформація з освітньої компоненти

Робочу програму освітньої компоненти (силабус):

**Складено** зав. від., к.ф.- м.н., ст. досл. Євтушенко А.І.

**Ухвалено** Вченою радою Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича Національної академії наук України (протокол №10 від «06» серпня 2024 р.).