Національний технічний університет України
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Кафедра
Мікроелектроніки

Мікро- та нанокомпоненти і системи

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

1. Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Третій (освітньо-науковий)
Галузь знань	17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації[1]
Спеціальність	176 Мікро- та наносистемна техніка
Освітня програма	Мікро- та наносистемна техніка
Статус дисципліни	Нормативна
Форма навчання	очна(денна)
Рік підготовки, семестр	2 курс, весняний семестр
Обсяг дисципліни	3 кредити (90 годин)
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Залік
Розклад занять	
Мова викладання	Українська/Англійська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: професор, доктор фіз.-мат. наук Поплавко Юрій Михайлович Практичні / Семінарські: Поплавко Юрій Михайлович yu.poplavko@kpi.ua
Розміщення курсу	Посилання на дистанційний ресурс: Googleclassroom

2. Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчання та результати навчання

Метою дисципліни є формування у студентів здатностей до практичного використання сучасних моделей та засобів дослідження під час вирішенні науково-технічних задач; навчити самостійно розробляти моделі новітніх електронних процесів, а також технологічних процесів електроніки.

Дисципліна формує **загальні компетентності** щодо здатності до абстрактного мислення, аналізу та синтезу (ЗК1), до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел (ЗК2), застосовувати сучасні інформаційні технології (ЗК4), здійснювати науково-інноваційну діяльність (ЗК5) а також **фахові компетентності:**

- Здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання у мікро- та наносистемній техніці та дотичних міждисциплінарних напрямах і можуть бути опубліковані у провідних наукових виданнях з електроніки та суміжних галузей (ФК1).
- Здатність оцінювати та підвищувати інноваційну та комерційну привабливість розробки, виробництва та експлуатації деталей, вузлів та пристроїв мікро- і наносистемної техніки (ФК3).
- Здатність використовувати технічне обладнання і устаткування, системи прийняття рішень, програмні засоби та інструменти для проведення наукового експерименту та обробки результатів експериментальних досліджень (ФК4).

[1] В полях Галузь знань/Спеціальність/Освітня програма:
Для дисциплін професійно-практичної підготовки зазначається інформація відповідно до навчального плану.
Для соціально-гуманітарних дисциплін вказується перелік галузей, спеціальностей, або «для всіх».

- Здатність застосовувати методи аналізу, математичне моделювання, виконувати фізичні та математичні експерименти при проведенні наукових досліджень в області мікро- та наносистемної техніки (ФК8).
- Здатність досліджувати перспективні напрямки розвитку галузі, творчо використовувати нові методи і технології створення приладів і пристроїв мікро- і наноелектроніки, сучасних мікроелектронних інформаційних систем (ФК10).

В результаті успішного засвоєння дисципліни здобувачі вищої освіти досягають таких **програмних результатів навчання**:

- Мати передові концептуальні та методологічні знання з мікро- та наносистемної техніки і на межі предметних галузей, а також дослідницькі навички, достатні для проведення наукових і прикладних досліджень на рівні останніх світових досягнень з відповідного напряму, отримання нових знань, їх використання у власних дослідженнях та викладацькій практиці (ПРН1).
- Системно мислити та застосовувати творчі здібності до формування принципово нових ідей, будувати і досліджувати фізичні, математичні і комп'ютерні моделі об'єктів та процесів мікро- та наноелектроніки, пропонувати способи розв'язання поставлених задач, коли методи їх вирішення не відомі (ПРН4).
- Планувати і виконувати експериментальні та/або теоретичні дослідження у сфері мікро- та наносистемної техніки, дотичних міждисциплінарних напрямів з використанням сучасних теорій, методів, спеціалізованого обладнання та оснащення, інформаційнокомунікаційних технологій, критично аналізувати результати власних досліджень і результати інших дослідників у контексті усього комплексу сучасних знань щодо досліджуваної проблеми (ПРН5).
- Розробляти нові методи і технології, програмні і апаратні засоби мікро- і наносистемної техніки, мікроелектронних інформаційних систем (ПРН9).

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Пререквізити: Фізика, фізика твердого тіла, матеріали і компоненти мікро- та наносистемної техніки

Постреквізити: Дисертація у галузі мікро- та наносистемна техніка

Зміст навчальної дисципліни

Перелік розділів і тем:

Розділ 1. Розмірні ефекти. Базові поняття. *Тема 1. Властивості нанокластерівю Тема 2. Квантоворозмрні ефекти. Тема 3. Напвпровідникові наноструктури.*

Розділ 2. Наноматеріали. *Тема 1. Наноструктурні метали. Тема 2. Вуглецеві наноструктури. Тема 3. Магнітні наноструктури.*

Розділ 3. Нанотехнології. *Тема 1. Вуглецеві нанотрубки. Тема 2. Магнітні наноматеріали. Тема 4. Напівпровідникові наноматеріали. Тема 5. Нанолітографія. Тема 6. Епітаксіальні методи. Тема 7. Зондові методи. Тема 8. Нанобіомагнетизм*

Розділ 4. Елементи наноелектроніки. *Тема 1. Бінарні транзистори. Тема 2. Одноелектронні транзистори. Тема 3. Наномагнітні плівки*

3. Навчальні матеріали та ресурси

Основна література:

1. Ю.М. Поплавко, О.В. Борисов, Ю.І. Якименко “Нанофізика, наноматерали, наноелектроніка”, 2012 р., об’ємом 300 стор. НТУУ "КПІ" Навчальний посібник рекомендований МОН України, лист №1.11-2442 від 25.93 2011. (Електронна библітотека каф. Мікроелектроніки)

2. Ю.М. Поплавко, О.В. Борисов, В.І. Ільченко, Ю.І. Якименко. "Мікроелектроніка і наноелектроніка", 2010, 157 стор. Навчальний посібник, гриф наданий Методичною радою КПІ. (Електронна библітотека каф. Мікроелектроніки)

Додаткова література:

1. Ю.М. Поплавко, Фізика твердого тіла. Том 1 Структура, квазічастинки, метали, магнетики, Київ, вид. «Інженірінг». **Підручник,** 2017, 415 стор. Затверджено Вченою Радою НТУУ КПІ (протокол №5 15.05 2017 р.) (Електронна библітотека каф. Мікроелектроніки)
2. Ю.М. Поплавко, Фізика твердого тіла. Том 2 Діелектрики, напівпровідники, фазові переходи, Київ, вид. «Інженірінг». **Підручник**, 2017, 379 стор. Затверджено Вченою Радою НТУУ КПІ (протокол №5 15.05 2017 р.) (Електронна библітотека каф. Мікроелектроніки)
3. Yu.M. Poplavko. Solid state elementary electrophysics, Vol. 1 Symmtry, quasi-particles, metals, magnetics. Kyiv, Edited by Igor Sicorsky Polytechnic Institute, 2016, 364 pages. Tutorial approved by Academic Council of Igor Sicorsky Polytechnic Institute (protocol №11 of November 7, 2016).
4. Yu.M. Poplavko. Solid state elementary electrophysics, Vol. 2 Semiconductors, dielectrics, phase transitions. Kyiv, Edited by Igor Sicorsky Polytechnic Institute, 2016, 364 pages. Tutorial approved by Academic Counsil of Igor Sicorsky Polytechnic Institute (protocol №11 of November 7, 2016).
5. Yuriy M. Poplavko. Electronic materials. Principles and applied science. 2019, 683 pages. Edited by ELSEVIER, USA.
6. Yu.M. Poplavko, Yu.I. Yakymenko. Functional dielectrics for electronics. Fundamentals of conversion properties. 2020, 294 pages. Edited by ELSEVIER, USA.
7. Yuriy M. Poplavko. Dielectric spectroscopy of electronic materials. Applied physics of dielectrics. 2021, 425 pages. Edited by ELSEVIER, USA.

3. Навчальний контент

4. Методика опанування навчальної дисципліни(освітнього компонента)

Надається інформація (за розділами, темами) про всінавчальні заняття (лекції, практичні, семінарські, лабораторні)та надаються рекомендації щодо їх засвоєння Самостійна робота студента. Підготовка до аудиторних занять, проведення розрахунків за первинними даними, розв’язок задач, написання реферату, виконання розрахункової роботи, виконання домашньої контрольної роботи тощо)

5. Самостійна робота студента/аспіранта

Заохочується надання відповідей на завдання з використанням англійської мови

6. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (РСО)

Поточний контроль: опитування за темою заняття, письмові відповіді на індивідуальні завдвння

Календарний контроль: провадиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

Семестровий контроль: залік

Умови допуску до семестрового контролю: мінімальна позитивна оцінка за індивідуальне завдання

4. Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Заохочується надання відповідей на завдання з використанням англійської мови.

В рамках дисципліни заплановано наступні види навчальних занять:

- лекції;
- практичні заняття;
- самостійна робота.

Теми дисципліни взаємозв'язані, матеріал вивчається в логічній послідовності. На заняттях розкриваються найбільш суттєві теоретичні питання, які дозволяють забезпечити студентам можливість глибокого самостійного вивчення всього програмного матеріалу. Теми та порядок виконання практичних занять сформовано в логічній послідовності і повністю узгоджуються з лекційним матеріалом. Теоретичні та практичні знання поглиблюються шляхом самостійної роботи з використанням рекомендованої літератури та інформаційних ресурсів мережі Internet.

На заняттях використовуються персональний комп'ютер, загальновживані комп'ютерні програми і операційні системи, проектор, інтерактивна дошка, інтернет-ресурси.

Контроль засвоєння навчального матеріалу здійснюється індивідуальним опитуванням (тестуванням), домашньою контрольною роботою та заліком.

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

Відвідування занять

Студентам рекомендується відвідувати заняття. Система оцінювання орієнтована на отримання балів за активність студента, а також виконання завдань, які здатні розвинути практичні уміння та навички. Відсутність на практичних заняттях, без поважних причин штрафується від'ємними балами.

Порушення термінів виконання завдань та заохочувальні бали

Заохочувальні бали		Штрафні бали	
Критерій	Ваговий бал	Критерій	Ваговий бал
Участь у міжнародних, всеукраїнських та/або інших заходах та/або конкурсах (за тематикою навчальної дисципліни)	5-10 балів в залежності від місця, яке зайняв	Порушення термінів експрес-опитування	- 2 бали
Виступ на занятті з ініціативною доповіддю на обрану творчу тему за програмою дисципліни	5 балів	Порушення термінів виконання тестування	-5 балів
Відповіді на завдання з використанням англійської мови	5 балів	Порушення термінів виконання домашньої контрольної роботи та її захисту (за кожну таку роботу)	-2 бали

Пропущені контрольні заходи

Результат залікової контрольної роботи для студента, який не з'явився на контрольний захід, є нульовим. У такому разі, студент має можливість написати залікову контрольну роботу, але максимальний бал за неї буде дорівнювати 50% від загальної кількості балів. Повторне написання залікової контрольної роботи не допускається.

Академічна доброчесність

Політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: https://kpi.ua/code.

Норми етичної поведінки

Норми етичної поведінки студентів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: https://kpi.ua/code.

Процедура оскарження результатів контрольних заходів

Студенти мають можливість підняти будь-яке питання, яке стосується процедури контрольних заходів та очікувати, що воно буде розглянуто згідно із наперед визначеними процедурами.

Студенти мають право оскаржити результати контрольних заходів, але обов'язково аргументовано, пояснивши з яким критерієм не погоджуються відповідно до оціночного листа та/або зауважень.

Поточний контроль: тестування (експрес-опитування), домашня контрольна робота.

Календарний контроль: атестація проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог програми.

Критерій			Перша атестація	Друга атестація
Термін атестації [2]			8-ий тиждень	14-ий тиждень
Умови отримання атестації	Поточний рейтинг [3]		≥ 10 балів	≥ 30 балів
	Поточний контрольний захід	Тестування 1-2	+	–
	Поточний контрольний захід	Домашня контрольна робота 1	+	–
	Поточний контрольний захід	Тестування 3-8	–	+
	Поточний контрольний захід	Домашня контрольна робота 2	–	+

Семестровий контроль: залік

Умови допуску до семестрового контролю:

Обов'язкові:

- Виконані тести
- Виконані домашні контрольні роботи
- Поточний рейтинг RD ≥ 30 балів.

Необов'язкові:

- Активність на заняттях.
- Позитивний результат першої атестації та другої атестації.

Система рейтингових балів:

1. Тести. Максимальна кількість балів – 40.Тестування за темами дисципліни здійснюється на основі тестів і залежить від тривалості контрольного заходу (5-10 хвилин). Кожний блок тестів відповідає вимогам змістової характеристики теоретичних тем.
2. Домашня контрольна робота. Максимальна кількість балів – 20.

– вичерпна відповідь – 18 – 20 балів;

[2] Там само.

[3] Там само.

– відповідь з незначними неточностями – 15-17 балів;
– неповна відповідь та незначні помилки – 9 – 14 балів;
– грубі помилки – 5-8
– незадовільна відповідь – 0 балів.

3. Залік. Максимальна кількість балів – 40.

Умовою допуску до семестрового контролю є виконання усіх поточних контрольних заходів та рейтинг більший за 30 балів. На останньому за розкладом занятті проводиться семестрова атестація у вигляді письмової залікової роботи.

Студенти, які отримали за рейтингом позитивну оцінку (набрали протягом семестру не менше ніж 60 балів (RD ≥ 30)), можуть бути атестовані за цими балами без написання контрольної роботи.

Студенти, які отримали менше 60 балів, виконують контрольну роботу і захищають її у вигляді співбесіди. У цьому разі рейтингова оцінка складається з результатів роботи в семестрі (RD≥ 30 балів) та результатів контрольної роботи

Якщо залікова контрольна робота не може бути позитивно оцінена, то сумарна рейтингова оцінка залишається незмінною.

– вичерпна відповідь – 35 – 40 балів;
– відповідь з незначними помилками – 25-34 балів;
– неповна відповідь та незначні помилки – 15 – 24 балів;
– грубі помилки – 5-14
– незадовільна відповідь – 0 балів.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	*Оцінка*
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Контрольні запитання

1 тема

1. Що таке хімічний зв'язок частинок?
2. Перерахуйте і поясніть основні види хімічних зв’язків.
3. Металеві, іонні і ковалентні зв'язки
4. Як змінюється розподілу електронного заряду з поступовим переходом зв’язків: металічний-ковалентний-іонний?
5. В яких кристалах домінують Ван-дер-вальсовий і водневий зв’язки?
6. Дефекти структури кристалічної решітки
7. Особливості нуль-вимірних дефектів
8. Дислокації та планарні дефекти
9. Перерахуйте основні елементи й операції симетрії.
10. Як вибирати комірку Браве?
11. Опішить основні з 32 груп точкової симетрії.
12. Чим примітні десять плоских кристалографічних груп симетрії?
13. Що таке симетрія композиційних матеріалів?
14. Чим відрізняється ефект суми от комбінаційного ефекту?

2 тема

5. Що таке нанофізика?
6. Наведіть приклади 2*D*, 1*D* і 0*D* наноструктур.
7. Опишіть відношення поверхневих і об’ємних атомів у нанокластерах.
8. У чому полягають особливості структури нанокластерів?
9. Які теплові й магнітні особливості наночастинок?
10. Опишіть оптичні властивості нанокластерів.

11. Яка роль довжини хвилі де Бройля електронів для наноструктур?
12. Енергетичний спектр електронів і густина їх квантових станів для $2D$ структур.
13. Наведіть приклад реалізації $2D$ структури.
14. Опишіть квантові нитки – енергетичний спектр і густину квантових станів.
15. Наведіть приклад реалізації $1D$ структури.
16. Опишіть квантові точки – енергетичний спектр і густину квантових станів.
17. Наведіть приклад реалізації $0D$ структури.
18. Що таке одноелектронне тунелювання?
19. Як пояснити кулонівську блокаду?
20. У чому полягають особливості балістичного транспорту зарядів?
21. Що таке квантовий ефект Холла?
22. Що таке резонансне тунелювання?
23. Які бувають надґратки?
24. Наведіть приклад енергетичного спектру надґратки.

3 тема

25. Що таке одноелектронне тунелювання?
26. Як пояснити кулонівську блокаду?
27. У чому полягають особливості балістичного транспорту зарядів?
28. Що таке квантовий ефект Холла?
29. Що таке резонансне тунелювання?
30. Які бувають надґратки?
31. Наведіть приклад енергетичного спектру надґратки.
32. Опишіть визначальні особливості металів.
33. Які бувають метали за розмірністю їх структури?
34. Наведіть приклади аморфних і наноструктуних сплавів.
35. Опишіть наноструктуровані квазікристали.

4 тема

1. Наведіть класифікацію вуглецевих структур.
2. Наведіть особливості структури і властивості фулеренів.
3. Що таке карбін і графен?
4. Що таке фулерити і фулериди?
5. Опишіть структуру й властивості нанотрубок.
6. Наведіть класифікацію сучасних напівпровідників.
7. Що таке аморфні й органічні напівпровідники?
8. Назвіть методи створення й легування напівпровідників.
9. Назвіть основні технічні засоби нанотехнології.
10. Які особливості нанолітографії?
11. Чим вирізняється рентгенівська літографія?
12. Де застосовується проекційна електронно-променева літографія?
13. Що таке нанодрук?
14. Назвіть основні особливості молекулярно-променевої літографії.
15. Які ви знаєте зондові методи дослідження наноструктур?
16. Розкрийте принцип дії сканувального тунельного мікроскопа.
17. Розкрийте принцип дії атомного силового мікроскопа.
18. Як реалізувати самоорганізацію структур у нанотехнологіях?
19. Опишіть напівпровідникові гетеропереходи.

5 тема

1. Що таке магнітом’які наноматерали?
2. Опишіть особливості магнітотвердих наноматеріалів.
3. Як застосовуються наномагнітні плівки у пристроях пам’яті?
4. Чим розрізняються гігантський і колосальний магнітоопір?
5. Що таке тунельний магнітоопір?
6. Чим розрізняються магнітні напівпровідники і діелектрики?

Приблизна тематика практичних занять. Основна мета практичних занять - розрахунки процесів у нано матеріалах, що перспективні у технічному застосуванні до мікроелектроніки та

аналіз їх діелектричних спектрів. Провадяться учбові наукові семінари, де виступають студенти, практикуючись для захисту своєї бакалаврської роботи. Студенти набувають **уміння:** визначити основні фізичні причини тих чи інших електричних властивостей наноматеріалів, що застосовуються у сучасних електронних приладах, уміння коректного підбору діелектричних матеріалів для застосування в електроніці. Студенти одержують **навички:** визначення домінуючих механізмів поляризації провідності та втрат у наноматеріалах, навички розрахунку параметрів анізотропних активних матеріалів, методам оцінки та розрахунку електричних параметрів пасивних та активних матеріалів, навчаються основним методам вимірювання їх характеристик.

Контрольні роботи **-** Заплановано проведення 2-х рубіжних контрольних робіт з метою з'ясувати ступінь засвоєння навчального матеріалу та стимулювати його повторення та систематизацію. *Модульна контрольна робота* продиться на тематику: Нанотехнології і електронні пристрої. *Індивідуальні завдання мають* за основну мету – поглиблення знань з кредитного модуля, прищеплення досвіду самостійної роботи зі спеціальною літературою, розвитку уміння практично застосовувати знання, отримані у рамках циклів математичної, природничо-наукової, професійної підготовки. Індивідуальні завдання виконуються під час практичних занять у вигляді задач та розрахункових робіт для самостійної роботи студента. Роботи являють собою самостійний аналіз відомих експериментальних і теоретичних даних студент повинний показати уміння проводити прості теоретичні розрахунки й одержувати прості аналітичні співвідношення: студент повинний показати уміння проводити прості розрахунки за допомогою комп'ютера й одержувати дані про фундаментальні властивості кристалів з експериментальних даних; розрахунки можуть виконуватися в комп'ютерному класі кафедри мікроелектроніки в погоджений час; теми є індивідуальним завданням: неприйнятне списування студентами чужої роботи.

Методи навчання та інформаційно-методичне забезпечення. Використовуються такі методи навчання: лекційний, виконання індивідуальних завдань на практичних заняттях та індивідуальних розрахункових завдань в рамках самостійної роботи, рубіжний контроль – модульні контрольні роботи. Надаються методичні посібники та методичні вказівки у друкованому і електронному вигляді, роздаткові матеріали.

Автор цієї програми написав та видав навчальний посібник “Нанофізика наноматерали, наноелектроніка”, 2012 р., об’ємом 300 стор. Крім того, автором надруковано чотири навчальних посібника з курсу *Матеріали електронної техніки*, якими користуються студенти Національного технічного університету України. Ці посібники прикладаються до програми. Нарешті, у 2019 р. автором надрукований у США англомовний учбовий посібник *«ELECTRONIC MATERIALS», 700 стор.,* а 2020 році англомовний посібник Yu.M. Poplavko, Yu.I. Yakymenko. Functional dielectrics for electronics. Fundamentals of conversion properties. 2020, 294 pages. Edited by ELSEVIER, USA.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено професором, докт. фіз.-мат. наук Поплавко Юрієм Михайловичем

Ухвалено кафедрою мікроелектроніки (протокол № 27 від 21.06.2024).

Погоджено Методичною комісією факультету електроніки (протокол № 06/2024 від 27.06.2024).