



# Технологія інтегральних мікросхем

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

|   |  |
|---|--|
| Рівень вищої освіти                               | <i>Перший (бакалаврський)</i>  |
| Галузь знань                                      | <i>15 Автоматизація та приладобудування</i>                                  |
| Спеціальність                                     | <i>153 Мікро- та наносистемна техніка</i>                                    |
| Освітня програма                                  | <i>Мікро- та наноелектроніка</i>   |
| Статус дисципліни                                 | <i>Вибіркова</i>   |
| Форма навчання                                    | <i>очна(денна)/дистанційна/змішана</i>                                       |
| Рік підготовки, семестр                           | <i>3 курс, осінній семестр</i>   |
| Обсяг дисципліни                                  | <i>4 кредити ЕКТС</i>  |
| Семестровий контроль/<br>контрольні заходи        | <i>Залік</i>   |
| Розклад занять                                    |  |
| Мова викладання                                   | <i>Українська</i>  |
| Інформація про<br>керівника курсу /<br>викладачів | <i>Лектор: д.т.н.,доц., Мачулянський О.В., o.machulianskyi-me@ill.kpi.ua</i> |
| Розміщення курсу                                  | <i>Google classroom vfju4tl</i>  |

### Програма навчальної дисципліни

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

Розвиток мікроелектронної технології зумовлює зменшення мінімальних розмірів елементів твердотільних структур. Конструкторські та технологічні основи вирішення даної проблеми є важливі для фахівців в області мікро- наносистемної техніки та інформаційних систем.

Мета навчальної дисципліни «Технологія інтегральних мікросхем» є надання здобувачам вищої освіти знань базових технологічних процесів сучасної технології мікроелектроніки, організації технологічних маршрутів формування інтегральних мікросхем та перспектив їх розвитку. Основне завдання дисципліни сформувати у студентів уміння: аналізувати зв'язок конструкції, топології елементів мікросхем, електричних параметрів, технологічних процесів формування інтегральних мікросхем, надійності та їх експлуатаційних властивостей; аналізувати фізико-технологічні обмеження виробництва інтегральних мікросхем; обґрунтовано вибирати оптимальні рішення щодо матеріалу, топології мікросхем, технологічного маршруту виготовлення та застосовувати відповідні методи та моделі для вирішення практичних технологічних задач створення елементів інтегральних мікросхем.

Вивчення навчальної дисципліни забезпечує у здобувачів вищої освіти наступні компетентності.

Загальні компетентності:

- Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях;
- Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності;
- Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями;
- Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

Фахові компетентності :

- Здатність використовувати знання і розуміння наукових фактів, концепцій, теорій, принципів і методів для проектування та застосування мікро- та наносистемної техніки;
- Здатність застосовувати творчий та інноваційний потенціал в синтезі інженерних рішень і в розробці конструктивних елементів геліоенергетики, приладів фізичного та біомедичного призначення;
- Здатність розв'язувати інженерні задачі в галузі мікро- та наносистемної техніки з урахуванням всіх аспектів розробки, проектування, виробництва, експлуатації та модернізації;
- Здатність визначати та оцінювати характеристики та параметри матеріалів мікро- та наносистемної техніки, аналогових та цифрових електронних пристроїв, мікропроцесорних систем;
- Здатність розуміти та застосовувати технологічні принципи виробництва, випробування, експлуатації та ремонту мікро- та наносистемної техніки та біомедичного обладнання;
- Здатність використовувати знання про особливості термодинаміки, кінетики хімічних перетворень, структурних аспектах, особливостях синтезу та основних закономірностях створення функціональних неорганічних матеріалів з заданими властивостями.

В результаті успішного засвоєння дисципліни студенти досягають таких програмних результатів:

- Оцінювати характеристики та параметри матеріалів пристроїв мікро- та наносистемної техніки, знати та розуміти основи твердотільної та оптичної електроніки, наноелектроніки, електротехніки, аналогової та цифрової схемотехніки, мікропроцесорної техніки;
- Застосовувати навички планування та проведення експерименту для перевірки гіпотез та дослідження явищ мікро- та наноелектроніки, вміти використовувати стандартне обладнання, складати схеми пристроїв, аналізувати, моделювати та критично оцінювати отримані результати;
- Будувати та ідентифікувати математичні моделі технологічних об'єктів, використовувати їх при розробці нової мікро- та наносистемної техніки та виборі оптимальних рішень;
- Організовувати та проводити планові та позапланові технічні обслуговування, налагодження технологічного устаткування у відповідності до поточних вимог виробництва;
- Вміти засвоювати нові знання, прогресивні технології та інновації, знаходити нові нешаблонні рішення і засоби їх здійснення;
- Застосовувати знання структурних особливостей, природи хімічного зв'язку та електрофізичних властивостей матеріалів електроніки для створення

функціональних матеріалів та структур твердотільної, оптичної, мікрохвильової та наноелектроніки.

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

### **Пререквізити**

Вивчення дисципліни «Технологія інтегральних мікросхем» базується на знаннях, отриманих при вивченні наступних дисциплін: фізика, хімія матеріалів електроніки, матеріали і компоненти мікро- та наносистемної техніки, напівпровідникова електроніка, технологічні основи електроніки.

### **Постреквізити**

Результати навчання даної дисципліни можуть використовуватися в наступних освітніх компонент: переддипломна практика та дипломне проектування.

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

1. Загальна характеристика технології інтегральних мікросхем.
  - 1.1. Вступ. Визначення та суть технології, її роль у процесі розвитку мікроелектроніки. Історичні етапи розвитку технології.
  - 1.2. Конструктивно-технологічні типи інтегральних мікросхем (ІМС).
  - 1.3 Вимоги до матеріалів мікроелектронної технології.
2. Технологічні маршрути виробництва інтегральних мікросхем.
  - 2.1. Сучасні принципи побудови технологічних процесів і технологічних маршрутів. Базові маршрути виготовлення різних типів ІМС.
  - 2.2. Технологічні схеми виробництва тонкоплівкових інтегральних схем.
  - 2.3. Типові схеми технологічного процесу виробництва гібридних інтегральних мікросхем.
  - 2.4. Технологічний маршрут виробництва монокристалічних інтегральних мікросхем..
3. Базові операції технологічного процесу виготовлення інтегральних мікросхем.
  - 3.1. Методи формування електронно-діркових переходів.
  - 3.2 Технологічні процеси нанесення речовини на підкладку.
  - 3.3. Літографічні процеси мікроелектронної технології
  - 3.4. Технологія монтажу кристалів та електронних компонентів.
  - 3.5. Методи визначення та контролю параметрів елементів ІМС.
4. Конструкторсько-технологічні особливості формування інтегральних мікросхем.
  - 4.1. Конструктивно-технологічні особливості формування мікроелектронних структур на основі товстих плівок.
  - 4.2. Конструкторсько-технологічні особливості технології напівпровідникових ІМС.
  - 4.3. Конструкторсько-технологічні особливості напівпровідникових приладів та ІМС для роботи в умовах радіаційного випромінювання.
  - 4.4. Обмеження та напрямки розвитку сучасної мікроелектронної технології.

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

### **Основна література:**

1. Бурик І. П. ,Технологічні основи виготовлення елементів напівпровідникових інтегральних мікросхем – Суми : Сумський державний університет, 2015. – 65 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. Стребежев В.М., Юрійчук І.М. Основи субмікронної та нанотехнології: навч. посібник. Ч.1 -Чернівці: Чернівецький національний університет ім. Юрія Федьковича, 2021. – 120с.
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. Павлов, С. М. Технологія мікроелектронних засобів : навчальний посібник / С. М. Павлов, О. В. Войцеховська ; ВНТУ. – Вінниця : ВНТУ, 2017. –169 с.

#### **Додаткова :**

1. Готра З.Ю. Технологія електронної техніки: навч. посібник. Т.1. - Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2010.- 888 с.
2. Готра З.Ю. Фізичні основи електронної техніки: навч. посібник. Т.2.- Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка» , 2010.- 884 с.
3. Основи наноелектроніки: у 2 кн. Кн.2 «Матеріали і наноелектронні технології : Підручник / Ю.І. Якименко, Д.М. Заячук, , В. М.Співак, А.Т. Орлов, О. В. Богдан, В.М. Коваль. – сайт <http://www.fel.ntukpi.kiev.ua>. – К: НТУУ «КПІ», 2016. - 400 с.
4. Поплавко Ю.М., Борисов О. В., Якименко Ю. І. Нанофізика, наноматеріали, наноелектроніка: навч. посібник. – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 300 с.
5. Мачулянський О.В., Татарчук Д.Д. Моделювання технології та ІМС – К.: НТУУ „КПІ”, 2009. – 32 с.
6. 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.
7. Новосядлий С.П. Фізико-технологічні основи субмікронної технології великих інтегральних схем -І.Франківськ, м. НВ. – 2010. - 254с.
8. Новосядлий С.П., Вівчарук В. М. Технологічні особливості, формування шаруватих наноструктур//Східно-Європейський журнал передових технологій.–2008, № 44.– С.32 - 38.
9. Проценко І.Ю., Однорець Л.В. Технологія одержання і фізичні властивості плівкових матеріалів та основи мікроелектроніки. – Суми: СумДУ, 2011. – 231 с.

### **Навчальний контент**

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

##### **Лекційні заняття**

1. Вступ. Предмет і завдання навчальної дисципліни. Визначення та суть технології, її роль у процесі розвитку мікроелектроніки та мікро та наносистемна техніка. Історичні етапи розвитку технології.
2. Конструктивно-технологічні типи інтегральних мікросхем (ІМС). Вимоги до матеріалів мікроелектронної технології.
3. Сучасні принципи побудови технологічних процесів і технологічних маршрутів. Базові маршрути виготовлення різних типів ІМС.

4. Технологічні схеми виробництва тонкоплівкових інтегральних схем. Індивідуальні та групові методи підгонки пасивних елементів плівкових ІМС. Матеріали та технологія елементів тонкоплівкових ІМС. Типові схеми технологічного процесу виробництва гібридних інтегральних мікросхем.
5. Технологічний маршрут виробництва монолітних інтегральних мікросхем. Технології ізоляції елементів ІМС. Епітаксіально-планарні структури з прихованим  $n+$  шаром, різновиди. Послідовність технологічних процесів їх формування. Особливості вибору матеріалів та технологічних режимів.
6. Ізопланарна структура. Структури кремній на сапфірі. Комплементарні структури на МДН-транзисторах. Типові схеми технологічного процесу, послідовність технологічних процесів їх формування. Особливості вибору матеріалів та технологічних режимів.
7. Методи формування електронно-діркових переходів.
8. Технологічні процеси нанесення речовини на підкладку. Вакуумне технологічне обладнання для нанесення тонких плівок. Підготовка підкладок інтегральних мікросхем. Методи обробки пластин. Плазмохімічна обробка. Термовакуумний метод осадження тонких плівок.
9. Технологічні процеси нанесення речовини на підкладку. Осадження тонких плівок методами іонного розпилення. Катодне розпилення. Іонно-плазмове розпилення. Магнетронне розпилення. Фізичне та реактивне розпилення. Високочастотне розпилення.
10. Технології формування діелектричних шарів. Хімічні методи. Термічне окислення кремнію.
11. Технології одержання епітаксійних плівок кремнію. Особливості і різновиди епітаксіальних процесів. Формування та властивості гетероепітаксіальних структур.
12. Літографічні процеси мікроелектронної технології. Роздільна здатність сучасних методів літографії..
13. Технології монтажу кристалів та електронних компонентів
14. Методи визначення та контролю параметрів елементів ІМС.
15. Конструктивно-технологічні особливості формування мікроелектронних структур на основі товстих плівок.
16. Конструктивно-технологічні особливості технології напівпровідникових ІМС. Оптичні між'єднання на верхніх рівнях ІМС (плазмонні хвилеводи). Подвійне структурування. Напружений кремній.
17. Конструктивно -технологічні особливості ІМС для роботи в умовах радіаційного випромінювання радіації.
18. Економічні аспекти проектування і виробництва ІМС. Обмеження та напрямки розвитку сучасної мікроелектронної технології.

### **Практичні заняття**

1. Методики визначення конструктивно – технологічних параметрів елементів інтегральних мікросхем.
2. Розрахунок профілю розподілу легуючих домішок в напівпровідниковій пластині (кремній) при формуванні р-п переходів методом іонної імплантації.

3. Розрахунок конструктивно – технологічних параметрів інтегральних дифузійних конденсаторів.
4. Розрахунок конструктивно – технологічних параметрів інтегральних епітаксiallyно-планарних біполярних транзисторів
5. Конструктивно - технологічні особливості створення тонкоплівкових елементів ІМС. Вакуумне технологічне обладнання для нанесення тонких плівок.
6. Методи контролю технологічних та структурних параметрів тонких плівок.
7. Методика визначення параметрів діелектричних плівок методами оптичної спектроскопії.
8. Розрахунок конструктивно – технологічних параметрів інтегральних тонкоплівкових конденсаторів.

## **6 Самостійна робота студента/аспіранта**

Самостійна робота студента включає наступні види робіт: підготовка до аудиторних занять, підготовка звіту за результатами виконання індивідуальних завдань за тематикою практичних занять.

З метою поглиблення і закріплення теоретичних знань та формування навичок для самостійного вирішення практичних завдань пропонується виконання домашньої контрольної роботи. Домашньої контрольної роботи присвячена розробці технологічного процесу формування шаруватої плівкової структури методами вакуумного осадження. Результати виконання індивідуального завдання домашньої контрольної роботи включають: аналіз та опис методів вакуумного осадження, які застосовуються в розробленому технологічному процесі; вибір матеріалу підкладки (враховуючи функціональні можливості прикладного використання шаруватої плівкової структури) та метод її підготовки (очистки); циклограма технологічного процесу, обґрунтування вибору та опис методів контролю технологічних та структурних параметрів одержаних зразків.

## **Політика та контроль**

### **6. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)**

**Відвідування лекційних та практичних занять** рекомендується здобувачам вищої освіти, оскільки система оцінювання результатів навчання передбачає експрес-опитування та можливість отримання балів за активність студента. Відвідування занять реєструє староста групи та викладач. Передбачено можливість навчання в дистанційному та змішаному режимі. Методичне забезпечення дисципліни викладено в електронному вигляді в Google classroom та Campus.

При підготовці до практичних занять студент повинен ознайомитися із методичними рекомендаціями та завданням до виконання роботи. Для захисту результатів індивідуальних завдань з практичних робіт студент надає оформлений звіт за результатами виконання роботи. Процедура захисту складається з аналізу одержаних результатів та відповідей на уточнюючі питання викладача за темою роботи.

**Модульна контрольна робота** - це письмова відповідь на теоретичні питання по тематиці відповідних розділів (п.3). Кожне питання має свій ваговий коефіцієнт складності. **Домашня контрольна робота** виконується під час самостійної роботи. Звіт про виконання роботи подається у письмовому вигляді. Неточності в індивідуальних завданнях, поданих на

перевірку раніше встановленого терміну, можуть бути виправлені без зниження балів. Індивідуальні завдання поточного та підсумкового контролю результатів навчання мають бути виконані самостійно. У разі використання ідей, розробок, тверджень, відомостей необхідно вказувати посилання на джерела інформації.

**Правила поведінки**, обов'язки учасників освітнього процесу визначені в документах: Кодекс честі КПІ ім. Ігоря Сікорського ( <https://osvita.kpi.ua/code> ); «Положення про систему запобігання академічного плагіату в КПІ ім. Ігоря Сікорського» (<https://osvita.kpi.ua/node/47>).

Передбачено можливість вивчення дисципліни "Мікроелектроніка" в дистанційному та змішаному режимі. Лекції та практикум проводяться в Google Meet за постійно діючим посиланням.

Методичне забезпечення дисципліни присутнє в електронному вигляді в середовищі Campus. Okремо створено Google Classroom.

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

**Контрольні заходи та процедура їх проведення** регламентуються наступними документами: Положення про організацію освітнього процесу в КПІ ім. Ігоря Сікорського <https://osvita.kpi.ua/node/39>; Положення про поточний, календарний та семестровий контроль результатів навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського ( <https://osvita.kpi.ua/node/32> ); «Положення про систему оцінювання результатів навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського» (<https://osvita.kpi.ua/node/37>); «Регламент проведення семестрового контролю в дистанційному режимі» (<https://osvita.kpi.ua/node/368>).

**Поточний контроль:** з метою контролю процесу засвоєння навчального матеріалу дисципліни передбачено МКР, ДКР а також тематичні експрес-опитування під час проведення лекцій та під час захисту індивідуальних робіт.

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

*Умови позитивного першого календарного контролю:* студент повинен виконати всі завдання на час проведення календарного контролю.

*Умови позитивного другого календарного контролю:* студент повинен набрати не менше 40% балів від максимального сумарного рейтингу протягом семестру при успішному написанні контрольної роботи.

**Семестровий контроль:** залік.

**Умови допуску до семестрового контролю:** виконання МКР , індивідуальних завдань з практичних робіт, ДКР.

Таблиця Система рейтингової оцінки по видам занять:

| № з/п              | Компоненти, що підлягають рейтинговій оцінці | Загальна кількість завдань | Максимальний бал | Кількість балів на "відмінно" |
|--------------------|--|----------------------------|------------------|-------------------------------|
| 1.                 | Експрес-опитування (тест)                    | 4                          | 2                | 8                             |
| 2.                 | Модульна контрольна робота (МКР)             | 2                          | 20               | 40                            |
| 3.                 | Домашня контрольна робота (ДКР)              | 1                          | 20               | 20                            |
| 4.                 | Практичні роботи                             | 8                          | 4                | 32                            |
| Усього за семестр: |  |                            |                  | 100                           |

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  |

**Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):**

**Складено** професором кафедри мікроелектроніки, д.т.н., доц., Мачулянським О.В.

**Ухвалено** кафедрою мікроелектроніки (протокол № 19 від 15. 06 2022)

**Погоджено** Методичною комісією факультету електроніки (протокол №06/22 від 30.06.2022)