



## Моделювання в електроніці

### Силабус

#### Реквізити навчальної дисципліни

|                                                   |                                                                                                                                             |
|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Рівень вищої освіти                               | <i>Перший (бакалаврський)</i>                                                                                                               |
| Галузь знань                                      | <i>15 Автоматизація та приладобудування<sup>1</sup></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)</i>                                                                                                                          |
| Рік підготовки, семестр                           | <i>3 курс, весняний семестр</i>                                                                                                             |
| Обсяг дисципліни                                  | <i>4 кредити (120 годин)</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, практичні: к.т.н., доц., Верцанова О.В., o.vertsanova-me@iit.kpi.ua,<br/>0504180036</i>                                          |
| Розміщення курсу                                  | <a href="https://classroom.google.com/u/3/c/NDY0MjQ0OTAyODAz">https://classroom.google.com/u/3/c/NDY0MjQ0OTAyODAz</a><br>Код курсу: 4toewai |

#### Програма навчальної дисципліни

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

Дисципліна «Моделювання в електроніці» являється дисципліною фахової підготовки бакалаврів.

**Мета дисципліни** – **набути знання та навички** формування у студентів теоретичних знань та практичних навичок в області методів, засобів, підходів і принципів візуального представлення результатів навчальної наукової діяльності, заснованих на основних положеннях теорії дизайну, що реалізуються у виборі систем реєстрації, перетворення та представлення інформації

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

Дисципліна забезпечується курсами базової вищої освіти напрямку "Електроніка", "Загальна фізика", "Матеріали електронної техніки", "Статистична фізика", "Квантова механіка", "Фізика твердого тіла", "Теорія поля", "Твердотіла електроніка". У свою чергу цей курс забезпечує курси "Фізика напівпровідникових приладів та ІМС", "Спецкурс мікроелектроніки" та ін

##### 3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1

Фізико-топологічне моделювання.

Тема 1.1

Математична модель р-п переходу.

Тема 1.2

Кінетичне рівняння Больцмана.

Тема 1.3

Основні наближення фізико-топологічного моделювання. Фундаментальні довжини.

Тема 1.4

Алгоритми фізико-топологічного моделювання.

Тема 1.5

Чисельні методи рішення рівнянь фізико-топологічного моделювання.

Розділ 2

Електричні моделі.

Тема 2.1

Визначення електричної моделі. Вхідні та вихідні параметри. Класифікація електричних моделей.

Тема 2.2

Електричні моделі біполярних транзисторів.

Тема 2.3

Електричні моделі уніполярних транзисторів.

Тема 2.4

Ідентифікація параметрів електричних еквівалентних схем.

Розділ 3

Моделювання технологічних процесів.

Тема 3.1

Моделювання процесів окислення кремнію

Тема 3.2

Моделювання іонної імплантації

Тема 3.3

Моделювання процесів дифузії

Тема 3.4

Моделювання епітаксії

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

*Базова література:*

1. *Основи технології виготовлення елементів мікро- та наносистемної техніки : Текст лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка» освітньої програми «Мікро- та наноелектроніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Ю. В. Діденко, Д. Д. Татарчук. – Електронні текстові дані (1 файл: 8,8 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 113 с.*

2. *Лобур М. Основи мікросистемних пристроїв : навч. посіб. / М. Лобур, М. Мельник. – Львівська політехніка, 2016. – 258 с.*

3. *Невлюдов І. Ш. Мікросистемна техніка та нанотехнології [Текст] : монографія / І. Ш. Невлюдов, В. А. Палагін. – ВИДАННЯ, 2017. – 528 с.*

### **Навчальний контент**

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

*Лекційні заняття:*

Лекція 1 Загальні поняття математичного моделювання в електроніці. Вступ

Лекція 2. Фізико-топологічне моделювання.

Лекція 3. Математична модель р-п переходу.

Лекція 4. Кінетичне рівняння Больцмана.

Лекція 5. Основні наближення фізико-топологічного моделювання. Фундаментальні довжини.

Лекція 6. Алгоритми фізико-топологічного моделювання.

Лекція 7. Чисельні методи рішення рівнянь фізико-топологічного моделювання.

Лекція 8. Електричні моделі. Визначення електричної моделі.

Лекція 9. Вхідні та вихідні параметри. Класифікація електричних моделей.

Лекція 10. Електричні моделі біполярних транзисторів.

Лекція 11. Електричні моделі уніполярних транзисторів.

Лекція 12. Ідентифікація параметрів електричних еквівалентних схем.

Лекція 13. Моделювання технологічних процесів. Вступ

Лекція 14. Моделювання процесів окислення кремнію

Лекція 15. Моделювання іонної імплантації

Лекція 16. Моделювання процесів дифузії

Лекція 17. Моделювання епітаксії

Лекція 18. Залік

### **Практичні заняття:**

#### **Практична робота 1**

Тема роботи: Моделювання ВАХ діода

#### **Практична робота 2**

Тема роботи: Моделювання ємностей  $p-n$  переходу

#### **Практична робота 3**

Тема роботи: Моделювання статичних характеристик біполярного транзистора, увімкненого за схемою із загальною базою

#### **Практична робота 4**

Тема роботи: Моделювання процесу термічного окислення

#### **Практична робота 5**

Тема роботи: Моделювання процесу дифузії

#### **Практична робота 6**

Тема роботи: Моделювання процесу іонного легування

## **6. Самостійна робота студента**

### **Домашня контрольна робота**

Індивідуальні завдання призначені для закріплення та поглиблення знань, отриманих під час аудиторних занять та для підготовки студентів до самостійної творчої роботи. Програмою курсу передбачено вивчення окремих тем у рамках самостійної роботи студентів із метою розширення знання з моделювання в електроніці та здобуття уміння самостійного пошуку науково-методичної літератури і опрацювання матеріалу по заданій темі.

Орієнтована тематика для самостійної роботи:

Математичне моделювання уніполярних транзисторів. Статична модель МДП-транзистора. Основні рівняння та параметри. Динамічна модель МДП-транзистора. Схеми заміщення. Основні методи ідентифікації параметрів моделей. Експериментальні методи.

## 7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Відвідування всіх видів занять є обов'язковим.

Виконання всіх завдань є обов'язковою умовою допуску до заліку.

Перед практичними заняттями необхідно попередньо ознайомитись із завданням на дане заняття. Завдання має бути виконане і показане викладачеві не пізніше заняття за наступною темою. В противному випадку знімаються рейтингові бали згідно вимог PCO.

Домашня контрольна робота має бути захищена. На захист має бути пред'явлена виконана робота, оформлена згідно вимог університету, тобто має містити титульний аркуш, завдання, розрахунки та креслення (за необхідністю). Процедура захисту складається з відповідей на запитання викладача за темою роботи. За неправильні відповіді або неправильне оформлення роботи оцінка знижується згідно вимог PCO. За умови неправильної відповіді більш ніж на третину запитань захист не зараховується.

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

З метою контролю процесу засвоєння учбового матеріалу у курсі передбачена модульна контрольна робота. Оцінювання контрольної роботи здійснюється згідно рейтингової системи. За неправильні відповіді бали не зараховуються, за неточні або не повні відповіді бали знижуються.

Оцінювання практичних робіт та домашньої контрольної роботи проводиться шляхом опитування в процесі захисту роботи.

Календарний контроль: провадиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу. Для успішного проходження першого календарного контролю: студент має набрати не менше 20% балів від максимального сумарного рейтингу протягом семестру. Для успішного проходження другого календарного контролю студент має набрати не менше 40% балів від максимального рейтингу.

Семестровий контроль здійснюється у вигляді заліку.

Студенти, які набрали протягом семестру необхідну для позитивної оцінки кількість балів мають можливість:

- не складати залік, а отримати оцінку „ автоматом ” відповідно до набраного рейтингу з дисципліни;

- складати залік з метою підвищення оцінки.

У разі отримання на заліку оцінки нижчої, ніж за рейтингом, за студентом не зберігається оцінка отримана „ автоматом ”.

Студенти, семестровий рейтинг яких відповідає оцінці „ незадовільно ”, зобов'язані складати залік.

Студенти, які за семестровим рейтингом не допущені до заліку з цієї дисципліни, зобов'язані підвищити його до рівня не менше 60%.

Оцінка визначається за сумою набраних рейтингових балів відповідно до системи розрахунку шкали рейтингу.

Рейтинговий бал студента нараховується за наступними правилами:

1. Захист практичних робіт

Ваговий бал 4. Максимальна кількість балів  $4 \times 6 = 24$ . Бали нараховуються за результатами захисту робіт. Захист полягає у відповіді на запитання викладача.

3. Контрольна робота – максимальний бал 50.

4. ДКР – максимальний бал 23.

### Система рейтингових (вагових) балів

| № п/п | Заняття, що підлягають рейтинговій оцінці | Загальна кількість | Макс. бал | Число балів на відмінно |
|-------|-------------------------------------------|--------------------|-----------|-------------------------|
| 1.    | Оцінювані практичні роботи                | 6                  | 4         | 24                      |
| 2.    | Модульна контрольна робота                | 1                  | 50        | 50                      |
| 3.    | ДКР                                       | 1                  | 26        | 26                      |
| 4.    | Рейтинг за курс, R                        |                    |           | 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  |

### 9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

*Перелік запитань для семестрового контролю.*

Фізико-топологічна модель ідеалізованого р-п переходу

Фізико-топологічна модель біполярного транзистора та її вирішення методом регіональних наближень

Фізичні еквівалентні схеми біполярного транзистору

Основні параметри електричної моделі біполярного транзистора

Загальна характеристика найбільш поширених електричних моделей біполярного транзистора

Основні етапи технологічного процесу виготовлення напівпровідникових приладів та їх характеристика

Приклади програм технологічного моделювання та їх застосування

### Силабус:

Складено доц. кафедри мікроелектроніки, к.т.н., Верцанова О В

Ухвалено кафедрою мікроелектроніки (протокол № 22 від 23.06.2023)

Погоджено Методичною комісією факультету електроніки (протокол № 06/2023 від 29.06.2023)