

**ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
“УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ”  
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ**



**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ  
Фізичні основи електроніки  
(шифр і назва навчальної дисципліни)**

|                            |                                           |
|----------------------------|-------------------------------------------|
| <b>Рівень вищої освіти</b> | <b>Перший (бакалаврський)</b>             |
| <b>Галузь знань</b>        | <b>17- Електроніка та телекомунікації</b> |
| <b>Спеціальність</b>       | <b>171- Електроніка</b>                   |
| <b>Освітня програма</b>    | <b>Електронні системи</b>                 |
| <b>Статус дисципліни</b>   | <b>обов'язкова</b>                        |
| <b>Мова навчання</b>       | <b>українська</b>                         |

Робоча програма з навчальної дисципліни «Фізичні основи електроніки» для студентів 2-го курсу кафедри електронних систем освітнього ступеня бакалавр за напрямом підготовки освітньої програми «Електронні системи» галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації за спеціальністю 171 Електроніка.

“ 21 ” \_05\_ 2021 року – 11 с.

Розробники: к.ф.-м.н., доцент кафедри електронних систем Лукша Олег Васильович

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри електронних систем

Протокол від „ 21 ” 05 2021 року № “10”

Завідувач кафедри електронних систем.

  
(підпис) (доц.Заяць Т.М.)  
(прізвище та ініціали)

„ 21 ” 05 2021 року

Схвалено методичною комісією інженерно-технічного факультету

Протокол від „ 24 ” 05 2021 року № “04”

Голова науково-методичної комісії



(підпис)

доц. Гапак О.М.

(прізвище та ініціали)

# 1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

| Найменування показників                                                                     | Характеристика навчальної дисципліни |                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|
|                                                                                             | Денна форма навчання                 | Заочна форма навчання |
| Кількість кредитів – 4,0                                                                    | Рік підготовки:                      |                       |
| Загальна кількість годин – 120 год.                                                         | 2                                    | -                     |
| Кількість модулів – 2                                                                       | Семестр                              |                       |
| Тижневих годин для денної форми навчання аудиторних - 3,0 самостійної роботи студента - 4,0 | 3                                    | -                     |
|                                                                                             | Лекції                               |                       |
|                                                                                             | 36 год.                              |                       |
|                                                                                             | Практичні, семінарські               |                       |
|                                                                                             |                                      |                       |
|                                                                                             | Лабораторні                          |                       |
| Вид підсумкового контролю: екзамен                                                          | 18 год.                              |                       |
|                                                                                             | Самостійна робота                    |                       |
| Форма підсумкового контролю: усна                                                           | 66 год.                              |                       |
|                                                                                             |                                      |                       |

## 2. МЕТА І ЗАВДАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

**Мета дисципліни** - дисципліни є засвоєння студентами основних закономірностей фізичних явищ та процесів, що відбуваються в напівпровідниках та діелектриках при дії на них зовнішніх полів та впливів.

**Завдання дисципліни - навчити** студентів навичок використовувати теоретичні знання для розгляду фізичних явищ у напівпровідникових пристроях, проводити дослідження і вміти обробляти отримані дані.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен знати:

- 1) залежність енергії електрона в кристалі від хвильового вектора, правила заповнення електронами станів в зонах кристалу;
- 2) енергетичний спектр домішок в н/п; статистичні закономірності опису газу носіїв заряду в н/п, правила розподілу електронів по рівнях в зонах;
- 3) розрахунок концентрації носіїв заряду в н/п в залежності від температури; залежність питомої електропровідності та їх рухливості від температури;
- 4) гальваномагнітні і термоелектричні ефекти в н/п та їх практичне застосування;
- 5) принципи, що покладені в основу роботи напівпровідникових приладів;
- 6) основні параметри та характеристики напівпровідникових приладів;
- 7) властивості напівпровідників, їх поведінку в діапазонах температур, а також під впливом слабких і сильних електричних і магнітних полів, оптичного випромінювання.

На основі отриманих теоретичних знань студент повинен вміти:

- 1) розраховувати концентрацію електронів і дірок в невідродженому н/п при певній температурі та визначати положення рівня Фермі в н/п для певної температури;
- 2) розраховувати та аналізувати температурну залежність концентрації носіїв заряду та положення рівня Фермі в домішковому та власному н/п;
- 3) проводити розрахунок питомої електропровідності власного та домішкового напівпровідника в залежності від домінуючого механізму розсіювання носіїв заряду;
- 4) проводити розрахунок ерс Холла та концентрації носіїв заряду для н/п з одним типом носіїв заряду та у випадку змішаної провідності.

Відповідно до освітньої програми, вивчення дисципліни сприяє формування у здобу-

вачів вищої освіти таких компетентностей:

|                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Інтегральна компетентність                    | Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми, що характеризуються комплексністю та невизначеністю умов, під час професійної діяльності у галузі електроніки, або у процесі навчання, що передбачає застосування теорій та методів електроніки.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Загальні компетентності                       | ЗК2. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Спеціальні (фахові, предметні) компетентності | СК1. Здатність використовувати знання і розуміння наукових фактів, концепцій, теорій, принципів і методів для проектування та застосування приладів, пристроїв та систем електроніки.<br>СК3. Здатність інтегрувати знання фундаментальних розділів фізики та хімії для розуміння процесів твердотільної, функціональної та енергетичної електроніки, електротехніки.<br>СК6. Здатність ідентифікувати, класифікувати, оцінювати і описувати процеси у приладах, пристроях та системах електроніки за допомогою аналітичних методів, засобів моделювання, дослідних зразків та результатів експериментальних досліджень.<br>СК8. Здатність вирішувати інженерні задачі в галузі електроніки з урахуванням всіх аспектів розробки, проектування, виробництва, експлуатації та модернізації електронних приладів, пристроїв та систем.<br>СК9. Здатність визначати та оцінювати характеристики та параметри матеріалів електронної техніки, аналогових та цифрових електронних пристроїв для проектування мікропроцесорних та електронних систем. |

### 3. ПЕРЕДУМОВИ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Передумовами вивчення навчальної дисципліни «Фізичні основи електроніки» є опанування навчальних дисциплін (НД) освітньої програми (ОП) першого ступеня (бакалавр) за спеціальністю 171 Електроніка.

| Шифр НД за ОП | Назва навчальної дисципліни        |
|---------------|------------------------------------|
| ОК6           | Математика                         |
| ОК8           | Фізика                             |
| ОК11          | Матеріали і компоненти електроніки |

### 4. ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ

Відповідно до освітньої програми «Фізичні основи електроніки» вивчення дисципліни повинно забезпечити досягнення здобувачем вищої освіти таких програмних результатів навчання (ПРН):

| Програмні результати навчання                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Шифр ПРН |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Описувати принцип дії за допомогою наукових концепцій, теорій та методів та перевіряти результати при проектуванні та застосуванні приладів, пристроїв та систем електроніки.                                                                                                                                                                                                   | ПРН1     |
| Застосовувати знання і розуміння диференційного та інтегрального числення, алгебри, функціонального аналізу дійсних і комплексних змінних, векторів та матриць, векторного числення, диференційних рівняння в звичайних та часткових похідних, ряду Фур'є, статистичного аналізу, теорії інформації, чисельних методів для вирішення теоретичних і прикладних задач електроніки | ПРН2     |
| Знаходити рішення практичних задач електроніки шляхом застосування відповідних моделей та теорій електродинаміки,                                                                                                                                                                                                                                                               | ПРН3     |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| аналітичної механіки, електромагнетизму, статистичної фізики, фізики твердого тіла.                                                                                                                                                                                                                             |              |
| Оцінювати характеристики та параметри матеріалів електронної техніки, розуміти основи твердотільної електроніки, електротехніки, аналогової та цифрової схемотехніки, перетворювальної та мікропроцесорної техніки.                                                                                             | <b>ПРН4</b>  |
| Застосовувати експериментальні навички (знання експериментальних методів та порядку проведення експериментів) для перевірки гіпотез та дослідження явищ електроніки, вміти використовувати стандартне обладнання, планувати, складати схеми; аналізувати, моделювати та критично оцінювати отримані результати. | <b>ПРН6</b>  |
| Визначати та ідентифікувати математичні моделі технологічних об'єктів при розробці у комп'ютерному середовищі нових складних електронних систем та виборі оптимального рішення.                                                                                                                                 | <b>ПРН8</b>  |
| Розробляти технічні засоби для побудови та діагностування технічного стану електронних пристроїв та систем, організовувати та проводити плановий та позаплановий ремонт, налагодження та переналагодження електронного устаткування у відповідності до поточних вимог виробництва.                              | <b>ПРН10</b> |
| Виявляти навички самостійної та колективної роботи, лідерські якості, організовувати роботу за умов обмеженого часу з наголосом на професійну сумлінність.                                                                                                                                                      | <b>ПРН15</b> |
| Брати участь у підтриманні кваліфікації колективу на світовому рівні наукових та інженерних досягнень в сфері розробки та експлуатації електронної техніки.                                                                                                                                                     | <b>ПРН19</b> |
| Брати участь у розробці та виконанні проектів міжнародного наукового співробітництва та академічної мобільності.                                                                                                                                                                                                | <b>ПРН20</b> |

## **5. ЗАСОБИ ДІАГНОСТИКИ ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ**

### **Засоби оцінювання та методи демонстрування результатів навчання**

Засобами оцінювання та методами демонстрування результатів навчання з навчальної дисципліни є:

- усне опитування під час лекцій та допуску до виконання лабораторних робіт;
- письмове опитування (проміжкові контрольні роботи по модулям);
- підсумковий контроль засвоєння модулів здійснюється по рейтинговій оцінці за стобальною шкалою з урахуванням оцінок по окремим модулям;
- проведення екзамену.

### **Форми контролю та критерії оцінювання результатів навчання**

#### **Форми поточного контролю:**

- здійснюється опитуванням;
- контролем самопідготовки до лабораторних робіт;
- контролем виконання лабораторних робіт;
- контролем за ходом виконання індивідуальних завдань;
- контролем самостійної роботи.

#### **Форма модульного контролю:**

- контроль знань здійснюється за двома модулями;
- кожний модуль оцінюється максимально в 100 балів.

#### **Форма підсумкового семестрового контролю:**

- в кінці вивчення дисципліни виводиться рейтинговий бал;
- враховується якість виконання лабораторних робіт та їх захисту;
- проводиться екзамен.

Контроль знань здійснюється за двома модулями. Для контролю знань розроблений перелік теоретичних питань, завдання для самостійної роботи, зі змістом яких студенти знайомляться на початку семестру. Кожний модуль оцінюється максимально в 100 балів. В кінці вивчення дисципліни виводиться рейтинговий бал, який визначається як середньоарифметичне балів з 2 модулів.

Розподіл балів, які отримують студенти за модуль наведені в таблицях:  
Розподіл балів, які отримують здобувачі вищої освіти (модуль 1)

| Поточне оцінювання та самостійна робота |        |        |        | Письмова<br>контрольна<br>робота | Сума |
|-----------------------------------------|--------|--------|--------|----------------------------------|------|
| Змістовний модуль 1                     |        |        |        |                                  |      |
| Тема 1                                  | Тема 2 | Тема 3 | Тема 4 |                                  |      |
| 20                                      | 20     | 20     | 20     | 20                               | 100  |

Розподіл балів, які отримують здобувачі вищої освіти (модуль 2)

| Поточне оцінювання та самостійна робота |        |        |        | Письмова<br>контрольна<br>робота | Сума |
|-----------------------------------------|--------|--------|--------|----------------------------------|------|
| Змістовний модуль 2                     |        |        |        |                                  |      |
| Тема 5                                  | Тема 6 | Тема 7 | Тема 8 |                                  |      |
| 20                                      | 20     | 20     | 20     | 20                               | 100  |

| Вид діяльності здобувача вищої освіти             | Модуль 1  |                                       | Модуль 2  |                                       |
|---------------------------------------------------|-----------|---------------------------------------|-----------|---------------------------------------|
|                                                   | кількість | максимальна кількість балів (сумарна) | кількість | максимальна кількість балів (сумарна) |
| Реферат                                           | 4         | 20                                    | 4         | 20                                    |
| Лабораторні заняття (допуск, виконання та захист) | 2         | 40                                    | 2         | 40                                    |
| Модульна контрольна робота                        | 1         | 40                                    | 1         | 40                                    |
| Разом                                             |           | 100                                   |           | 100                                   |

### Критерій оцінювання модульної контрольної роботи

При оцінюванні модульної контрольної роботи враховується обсяг і правильність виконаних завдань:

- оцінка «відмінно» ставиться за правильне виконання всіх завдань;
- оцінка «добре» ставиться за виконання 75% усіх завдань;
- оцінка «задовільно» ставиться, якщо правильно виконано більше 50% запропонованих завдань;
- оцінка «незадовільно» ставиться, якщо завдань виконано менше від 50%.

Неявка на модульну контрольну роботу - 0 балів.

Ці оцінки трансформуються у рейтингові бали у такий спосіб:

- “5” – 40 балів;
- “4” – 30 балів;
- “3” – 20 балів;
- “2” – 10 балів;

### Критерій оцінювання підсумкового семестрового контролю

До складання екзамену допускаються лише студенти, які мають рейтинговий бал не менше 35 і виконали лабораторні роботи та індивідуальні завдання(презентації). Екзамен з навчальної дисципліни студент може не скласти, якщо він склав усі модулі та його влаштовує рейтингова оцінка. Студенти, які мають рейтинговий бал від 35 до 59 екзамен складають обов'язково. Студент може підвищити на екзамені оцінку, при цьому рейтингова оцінка не може бути зменшена.

За результатами виконання студентом навчальної програми впродовж семестру рекомендується виставляти екзамен без додаткового опитування за такою шкалою:

#### Шкала оцінювання: вузу (ECTS та національна)

| Сумарні бали | Оцінка ECTS | Екзамен                                                    | Вимоги до якості знань                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|--------------|-------------|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 90 – 100     | A           | Відмінно                                                   | Вищий рівень:<br>студент глибоко і в повному обсязі засвоїв програмний матеріал,грамотно, вичерпно та логічно викладає його в усній або письмовій формі; при цьому знає рекомендовану літературу, виявляє творчий підхід і правильно обгрунтовує прийняті рішення, добре володіє різноманітними уміннями та навичками при виконанні практичних задач, відмінно виконує текстові та графічні матеріали.                           |
| 82 – 89      | B           | Добре                                                      | Середній рівень:<br>студент знає програмний матеріал, грамотно,викладає його в усній або письмовій формі; припускаючи неточність у доказах, трактовці понять та категорій, при цьому володіє необхідними уміннями та навичками при виконанні практичних задач, добре виконує текстові та графічні матеріали.                                                                                                                     |
| 74 – 81      | C           |                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 64 – 73      | D           | Задовільно                                                 | Достатній рівень:<br>студент знає тільки основний програмний матеріал, припускає неточності, недостатньо чіткі формулювання, непослідовність у викладанні відповідей у усній або письмовій формі, при цьому невпевнено володіє уміннями та навичками виконання практичних задач, задовільно виконує текстові та графічні матеріали.                                                                                              |
| 60 – 63      | E           |                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 35 – 59      | FX          | Незадовільно з можливістю повторного складання             | Недостатній рівень:<br>студент не володіє основним програмним матеріалом, допускає грубі помилки, які свідчать про нерозуміння матеріалу, у розрахунках отримані невірні результати, на запитання дає неправильні відповіді, припускає принципові помилки у доказах, трактовці понять та категорій; не володіє основними уміннями та навичками при виконанні практичних задач, потрібна додаткова навчальна робота з дисципліни. |
| 1 – 34       | F           | Незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни | Незадовільний рівень:<br>студент не розуміє і не орієнтується у матеріалі, володіє основним програмним матеріалом, розрахунки не проводить до кінця; не дає відповіді на запитання; потрібний повторний курс вивчення дисципліни.                                                                                                                                                                                                |

## 6. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

### 6.1. Зміст навчальної дисципліни.

#### Модуль 1.

##### **Тема 1. Вступ до фізичних основ електроніки. Принципи квантової теорії багатьох частинок у фізиці твердого тіла.**

Адіабатичне наближення. Одноелектронне наближення. Квазіімпульс. Ізоенергетичні поверхні.

##### **Тема 2. Електрон у періодичному потенціалі.**

Рівняння Шредингера для електрона у періодичному потенціалі. Електрон у полі потенціалу типу гребінця Дірака. Наближення майже вільного електрона. Утворення енергетичних зон. Електрон у полі потенціалу Кроніга–Пенні. Утворення енергетичних зон у теорії квазізв'язаного електрона. Типи міжатомних зв'язків у кристалах. Метали, діелектрики, напівпровідники. Елементарна класифікація.

##### **Тема 3. Методи обчислення зонної структури кристалічних твердих тіл.**

Метод плоских хвиль. Метод ортогоналізованих плоских хвиль. Метод приєднаних плоских хвиль. Метод псевдопотенціалу.  $k$ - $p$ -метод. Метод ефективної маси. Розкладання енергії електрона поблизу екстремальних точок. Динамічний аспект проблеми ефективної маси. Спін-орбітальна взаємодія. Деякі приклади розрахунків зонної структури напівпровідників.

##### **Тема 4. Електрон у магнітному полі. Коливання атомів кристалічної ґратки. Домішки та дефекти в напівпровідниках.**

Магнітний момент і спін електрона. Електронні статистичні системи. Рівні Ландау.

Одновимірний лінійний ланцюжок атомів. Довгодіючі сили та метод оберненої ґратки. Коливання двоатомного лінійного ланцюжка. Коливання атомів кристала. Фонони. Статистика фононів. Електрон-фононна взаємодія. Типи дефектів у напівпровідниках. Енергетичні стани домішкових напівпровідників. Елементарна теорія дефектів.

#### Модуль 2.

##### **Тема 5. Статистика електронів у напівпровідниках в умовах термодинамічної рівноваги.**

Статистика електронів і дірок. Електрони та дірки. Щільність станів. Сферичні ізоенергетичні поверхні. Еліпсоїдальні ізоенергетичні поверхні. Щільність станів для неквадратичного закону дисперсії. Щільність станів електронів напівпровідника в магнітному полі. Щільність станів електронів, що локалізовані на атомах домішок. Концентрація носіїв заряду. Вироджені та невироджені напівпровідники. Залежність положення рівня Фермі від температури. Рівняння електронейтральності. Концентрація електронів і дірок на простих домішкових центрах. Рівняння електронейтральності для власного напівпровідника. Напівпровідник, що має домішку одного типу. Напівпровідник, що містить акцепторну та донорну домішки. Вироджений напівпровідник.

##### **Тема 6. Явища перенесення в напівпровідниках.**

Кінетичне рівняння Больцмана. Час релаксації. Електропровідність напівпровідників. Залежність рухливості напівпровідника від температури. Розсіювання на коливаннях ґратки. Розсіювання на іонізованих домішках. Розсіювання на нейтральних атомах домішок. Розсіювання на дислокаціях. Залежність рухливості та електропровідності носіїв заряду в реальних напівпровідниках від температури. Гальваномагнітні явища в напівпровідниках. Ефект Холла. Ефект Холла в напівпровідниках із двома типами носіїв. Магніторезистивний ефект. Ефекти Етtingсгаузена та Ернста. Термомагнітні ефекти. Термоелектричні явища.

##### **Тема 7. Генерація та рекомбінація носіїв заряду у напівпровідниках.**

Розподіл нерівноважних носіїв заряду за енергіями. Механізми рекомбінації носіїв заряду. Кінетика генерації і рекомбінації носіїв заряду у напівпровідниках. Міжзонна випроміню-

мінювальна рекомбінація. Міжзонна ударна рекомбінація. Рекомбінація через односторонні локальні центри (за Шоклі–Рідом). Спін-залежна рекомбінація в напівпровідниках.

#### **Тема 8. Дифузія та дрейф носіїв заряду. Нестійкості у напівпровідниках.**

Дифузійні та дрейфові струми. Нерівноважні напівпровідники. Квазірівні Фермі. Співвідношення Ейнштейна. Експериментальне визначення коефіцієнта дифузії за Хайнсом–Шоклі. Дифузія та дрейф нерівноважних носіїв заряду в монополярному напівпровіднику. Час релаксації Максвелла. Дифузія та дрейф неосновних надлишкових носіїв заряду в домішковому напівпровіднику. Дифузія неосновних носіїв заряду в електричному полі. Дрейф неосновних надлишкових носіїв заряду. Дифузія та дрейф носіїв заряду в напівпровідниках із провідністю, близькою до власної.

Електропровідність напівпровідників у сильних електричних полях. Електронна температура. Диференціальна провідність. N- та S-подібні вольт-амперні характеристики.

Критерії виникнення нестійкості. Ударна іонізація. Ефект Ганна. Умови виникнення від'ємної диференціальної провідності.

### **6.2. Структура навчальної дисципліни**

| Назви змістових модулів і тем                                                                                           | Кількість годин |              |          |           |          |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------|----------|-----------|----------|-----------|
|                                                                                                                         | денна форма     |              |          |           |          |           |
|                                                                                                                         | усього          | у тому числі |          |           |          |           |
|                                                                                                                         |                 | л            | п        | лаб       | інд      | с.р.      |
| 1                                                                                                                       | 2               | 3            | 4        | 5         | 6        | 7         |
| <b>Модуль 1</b>                                                                                                         |                 |              |          |           |          |           |
| <b>Змістовий модуль 1.</b>                                                                                              |                 |              |          |           |          |           |
| <b>Тема 1. Вступ до фізичних основ електроніки. Принципи квантової теорії багатьох частинок у фізиці твердого тіла.</b> | 13              | 4            | -        | -         | -        | 9         |
| <b>Тема 2. Електрон у періодичному потенціалі.</b>                                                                      | 12              | 4            | -        | -         | -        | 8         |
| <b>Тема 3. Методи обчислення зонної структури кристалічних твердих тіл.</b>                                             | 13              | 5            | -        | -         | -        | 8         |
| <b>Тема 4. Електрон у магнітному полі. Коливання атомів кристалічної ґратки. Домішки та дефекти в напівпровідниках.</b> | 13              | 5            | -        | -         | -        | 8         |
| <b>Разом за змістовим модулем 1</b>                                                                                     | <b>51</b>       | <b>18</b>    | <b>-</b> | <b>-</b>  | <b>-</b> | <b>33</b> |
| <b>Модуль 2</b>                                                                                                         |                 |              |          |           |          |           |
| <b>Змістовий модуль 2.</b>                                                                                              |                 |              |          |           |          |           |
| <b>Тема 5. Статистика електронів у напівпровідниках в умовах термодинамічної рівноваги.</b>                             | 22              | 4            |          | 9         |          | 9         |
| <b>Тема 6. Явища перенесення в напівпровідниках.</b>                                                                    | 21              | 4            |          | 9         |          | 8         |
| <b>Тема 7. Генерація та рекомбінація носіїв заряду у напівпровідниках.</b>                                              | 13              | 5            | -        | -         | -        | 8         |
| <b>Тема 8. Дифузія та дрейф носіїв заряду. Нестійкості у напівпровідниках.</b>                                          | 13              | 5            | -        | -         | -        | 8         |
| <b>Разом за змістовим модулем 2</b>                                                                                     | <b>69</b>       | <b>18</b>    | <b>-</b> | <b>18</b> | <b>-</b> | <b>33</b> |
| <b>Усього годин</b>                                                                                                     | <b>120</b>      | <b>36</b>    | <b>-</b> | <b>18</b> | <b>-</b> | <b>66</b> |

### 6.3. Теми лабораторних занять

| № з/п | Назва теми                                                                                         | Кількість годин |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| 1.    | Вимірювання питомого опору напівпровідника чотиризондовим методом.                                 | 4               |
| 2.    | Визначення параметрів напівпровідника за допомогою дослідження ефекту Холла та електропровідності. | 4               |
| 3.    | Дослідження явища магнітоопору в напівпровідниках.                                                 | 5               |
| 4.    | Дослідження температурної залежності коефіцієнта диференційної термо е.р.с. в напівпровідниках     | 5               |
|       | Разом:                                                                                             | 18              |

### 6.4. Тематичний план самостійної роботи

| № з/п | Тема                                                                                   | Кількість годин |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
|       | <b>Модуль 1.</b>                                                                       |                 |
| 1     | Методи розрахунку зонної структури напівпровідників.                                   | 10              |
| 2     | Теорія дефектів в напівпровідниках.                                                    | 10              |
| 3     | Багатозарядні центри в напівпровідниках.                                               | 21              |
| 4.    | Концентрація електронів і дірок на локальних рівнях.<br>Прості і багатозарядні центри. |                 |
|       |                                                                                        |                 |
|       |                                                                                        |                 |
|       | <b>Модуль 2.</b>                                                                       |                 |
| 5.    | Статистика фононів в напівпровідниках.                                                 | 20              |
| 6.    | Гальваномагнітні явища в сильних магнітних полях.                                      | 21              |
| 7.    | Сильні електричні поля в напівпровідниках.                                             |                 |
| 8.    | Діелектрики в зовнішньому електричному полі.                                           |                 |
|       | <b>Разом</b>                                                                           | <b>165</b>      |

## 7. ІНСТРУМЕНТИ, ОБЛАДНАННЯ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, ВИКОРИСТАННЯ ЯКИХ ПЕРЕДБАЧАЄ НАВЧАЛЬНА ДИСЦИПЛІНА

Комп'ютерний клас.

Програми: Simulink, VisSim, LabSim, MVTU, MATLAB, SimPowerSystems.

## 8. РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

### Методичне забезпечення

1. Електронний навчальний курс з дисципліни «Фізичні основи електроніки» на платформі Moodle вміщує методичне забезпечення включаючи: лекції, презентації до лекцій, методичні вказівки до виконання лабораторних робіт, глосарій термінів тощо.

### Базова

1. Третьяк О.В., Лозовський В.З. Основи фізики напівпровідників: Підручник: У 2 т. – К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2007. – Т. 1. – 338 с.
2. Третьяк О.В., Лозовський В.З. Основи фізики напівпровідників: Підручник: У 2 т. – К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2009. – Т. 2. – 383 с.
3. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. -М.: Наука, 1990.
4. Шалимова К.В. Физика полупроводников. -М.: Энергия, 1976.
5. Зеегер К. Физика полупроводников. -М.: Мир, 1973.

6. Фистуль В.И. Введение в физику полупроводников. -М.:Высшая школа, 1975.
7. Орешкин П.Т. Физика полупроводников и диэлектриков. -М.:Высшая школа, 1977.
8. Фізичні основи електронної техніки: Підручник / З.Ю. Готра, І.С. Лопатинський, Б.А. Лукіянець, З.М. Микитюк, І.В. Петрович – Львів: Видавництво „Бескид Біт”, 2004.
9. Киреев П.С. Физика полупроводников. -М.:Высшая школа, 1975.  
Ю П., Кардона М. Основы физики полупроводников. -М.:Физматлит, 2002.
10. Дружинін А. О. Твердотільна електроніка. Фізичні основи і властивості напівпровідникових приладів:навч. посіб. / Нац. ун-т "Львів. політехніка".— Л.:Вид-во Нац. ун-ту "Львів. політехніка", 2009.
11. Нанoeлектроніка. Науково-навчальне видання. За ред. З.Ю.Готри. – Львів: Ліга-Прес, 2009.
12. Смит Р. Полупроводники. -М.:Мир, 1982.

#### **Допоміжна**

1. Росадо Л. Физическая электроника и микроэлектроника. -М.:Высшая школа, 1991.
2. Ансельм А.И. Введение в теорию полупроводников. -М.:Наука, 1978.
3. Шкловский Б.И., Эфрос А.Л. Электронные свойства легированных полупроводников.- М.:Наука, 1979.
4. Зи С. Физика полупроводниковых приборов. -М.: Мир, 1984.
5. Сугано Т., Икома Т., Такэиси Е. Введение в микроэлектронику. -М.: Мир, 1988
6. Ашкрофт Н., Мерин Н. Физика твердого тела (в 2-х томах). -М.:Мир, 1979.
7. Стоунхэм А.М. Теория дефектов в твердых телах (в 2-х томах). -М.:Мир, 1978.
8. Елементи теорії мікроелектронних пристроїв / Я. Буджак, З. Готра, О. Готра, В. Каліта, І.Лопатинський, І. Раренко; За ред. З.Ю. Готри.- Л.: Ліга-Прес, 2001. - 634 с.
9. Павлов Л.П. Методы определения основных параметров полупроводниковых материалов. -М.:Высшая школа, 1975.
10. Бонч-Бруевич В. Л., Звягин И. П., Карпенко И. В., Миронов А. Г. Сборник задач по физике полупроводников.- М.: Наука, 1987.
11. Антипов Б. Л., Сорокин В. С., Терехов В. А. Материалы электронной техники: задачи и вопросы. -М.: Высшая школа, 1990.
12. Юрійчук І.М., Остапов С.Е. “Фізика напівпровідників: задачі та методика їх розв’язування”. – Чернівці : Чернівецький нац. ун-т., 2012. – 80 с.
13. Голяка Р.Л. Конспект лекцій з предмету “Елементна база твердотільної електроніки”. Електронний варіант. – 2009..

#### **Інформаційні джерела в мережі Інтернет**

1. Фізичні основи електроніки (Фое) <https://uadoc.zavantag.com/text/4700/index-1.html>
2. <http://irbis-nbuv.gov.ua>
3. <http://www.elsevier.com/wps/>
4. <http://www.springer.com/?SGWJD=0-102-0-0-0>
5. <http://www.wiley.com/WileyCDA/>