

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

Фізичний факультет
(назва факультету)

Кафедра загальної фізики

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Заступник декана
з навчальної роботи
Момот О.В.
« ____ » _____ 2020 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ¹

Фізика напівпровідників та низькорозмірних напівпровідникових систем
(повна назва навчальної дисципліни)

для студентів

| | |
|---------------------------------|--|
| галузь знань | <u>10 Природничі науки</u> (шифр і назва) |
| спеціальність | <u>104 Фізика та астрономія</u> (шифр і назва спеціальності) |
| освітній рівень | <u>бакалавр</u> (молодший бакалавр, бакалавр, магістр) |
| освітня програма | <u>Фізика</u> (назва освітньої програми) |
| спеціалізація (за наявності) | <u>Фізика наноструктур в металах та кераміках</u> (назва спеціалізації) |
| вид дисципліни | <u>обов'язкова</u> |

| | |
|--|-------------------|
| Форма навчання | <u>очна</u> |
| Навчальний рік | <u>2020/2021</u> |
| Семестр | <u>8</u> |
| Мова викладання, навчання та оцінювання | <u>українська</u> |
| Форма заключного контролю | <u>іспит</u> |

Викладачі: професор Коротченков Олег Олександрович

(Науково-педагогічні працівники, які забезпечують викладання даної дисципліни у відповідному навчальному році)

Пролонговано: на 20__/20__ н.р. _____ (_____) «__»__ 20__р.
(підпис, ПІБ, дата)

на 20__/20__ н.р. _____ (_____) «__»__ 20__р.
(підпис, ПІБ, дата)

на 20__/20__ н.р. _____ (_____) «__»__ 20__р.
(підпис, ПІБ, дата)

КИЇВ – 2020

¹ Робоча програма навчальної дисципліни є нормативним документом вищого навчального закладу і містить виклад конкретного змісту навчальної дисципліни, послідовність, організаційні форми її вивчення та їх обсяг, визначає форми та засоби поточного і підсумкового контролю.

Розробник²: Коротченков Олег Олександрович, доктор фіз.-мат. наук, професор,
професор кафедри загальної фізики
(вказати авторів: ПІБ, науковий ступінь, вчене звання, посада, кафедра)

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедри _____

(підпис)

(Боровий М.О.)
(прізвище та ініціали)

Протокол № 12 від 21 травня 2020 р.

Схвалено науково-методичною комісією факультету/інституту³

протокол №33 від 11 червня 2020 року

Голова науково-методичної комісії _____
(підпис)

(Оліх О.Я.)
(прізвище та ініціали)

« _____ » _____ 2020 року

² Розробляється лектором. Робоча програма навчальної дисципліни розглядається на засіданні кафедри (циклової комісії – для коледжів), науково-методичної комісії факультету/інституту (раді навчального закладу - коледжу), підписується завідувачем кафедри (головою циклової комісії), головою науково-методичної комісії факультету/інституту (головою ради) і затверджується заступником декана/директора інституту з навчальної роботи (заступником директора коледжу).

³ У випадку читання дисципліни, яка не є профільною для факультету чи інституту обов'язковим є погодження з науково-методичною комісією профільного факультету. У випадку економічних та юридичних наук погодження із предметною комісією з економічних та юридичних наук при Науково-методичній раді Університету.

ВСТУП

1. Мета дисципліни – отримання глибоких та систематизованих знань з фізики напівпровідників, що включає засвоєння основних явищ та фізичних закономірностей у даному класі твердих тіл, оволодіння методами і принципами як теоретичного розв'язку фізичних проблем, так і планування та виконання фізичного експерименту в галузі фізики напівпровідників.

2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни:

1. Знати

основні питання фізики низькорозмірних напівпровідників, зокрема: математичне формулювання та фізичний зміст основних понять фізики напівпровідників, її сучасний стан, застосування напівпровідників у приладах і пристроях;

2. Вміти

застосовувати на практиці методи квантової механіки та фізики твердого тіла для опису властивостей об'ємних та низькорозмірних напівпровідників; логічно і послідовно формулювати основні закономірності статистики електронів та дірок в напівпровідниках, протікання кінетичних явищ, властивостей поверхні; самостійно працювати з науковою літературою в галузі фізики напівпровідників;

3. Володіти

основними навичками розв'язку типових задач квантової механіки та фізики твердого тіла, методами розрахунку параметрів рівноважної та не рівноважної статистики носіїв заряду у напівпровідниках та розрахунків з використанням кінетичного рівняння Больцмана в наближенні часу релаксації.

3. Анотація навчальної дисципліни / референс:

В рамках курсу «Фізика напівпровідників» розглядаються як класичні, так і сучасні досягнення в області опису фізичних закономірностей та практичного використання напівпровідників.

Метою вивчення дисципліни є надання базових знань із фізики напівпровідників, що включає засвоєння основних явищ та фізичних закономірностей у даному класі твердих тіл, оволодіння методами і принципами як теоретичного розв'язку проблем цих матеріалів, так і планування та виконання фізичного експерименту в галузі фізики напівпровідників.

Навчальна задача курсу полягає в оволодінні методами і принципами опису основних властивостей напівпровідників – рівноважної статистики електронів та дірок в напівпровідниках, кінетичних явищ, нерівноважних електронів та дірок, поверхні напівпровідників.

Результати навчання полягають в умінні логічно і послідовно формулювати основні закономірності протікання фізичних процесів у напівпровідниках; розв'язувати основні типи задач; планувати та виконувати вимірювання фізичних параметрів напівпровідників; оцінювати точність проведеного експерименту; самостійно працювати з науковою літературою в галузі фізики напівпровідників. Методи викладання: лекції, консультації, лабораторні роботи.

Методи оцінювання: опитування в процесі лекції, контрольні роботи після основних розділів спецкурсу, оцінювання розв'язку семінарських завдань, перевірка рефератів та інших форм самостійної роботи студентів, іспит. Підсумкова оцінка виставляється на основі проміжних оцінок (60%) та іспиту (40%).

4. Завдання (навчальні цілі) – ознайомлення студентів з фізичними властивостями основних типів напівпровідників, засвоєння ними основних положень теорії напівпровідників, зокрема, статистики носіїв заряду та основних механізмів переносу заряду в них.

Згідно вимог освітньо-професійної програми «Фізика» за освітнім ступенем «бакалавр» спеціальності 104 «Фізика та астрономія» дисципліна забезпечує набуття здобувачами освіти наступних *компетентностей*:

Інтегральних:

Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми з фізики у професійній діяльності або у процесі подальшого навчання, що передбачає застосування певних теорій і методів фізики і характеризується складністю та невизначеністю умов.

Загальних:

- Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу **(ЗК1)**.
- Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях **(ЗК2)**.
- Здатність бути критичним і самокритичним **(ЗК4)**.
- Здатність приймати обґрунтовані рішення **(ЗК5)**.
- Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт **(ЗК8)**.
- Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово **(ЗК12)**.

Фахових:

- Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики **(ФК1)**.
- Здатність використовувати на практиці базові знання з математики як математичного апарату фізики при вивченні та дослідженні фізичних явищ і процесів **(ФК2)**.
- Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації **(ФК9)**.
- Здатність самостійно навчатися і опановувати нові знання з фізики та суміжних галузей **(ФК10)**.
- Розвинуте відчуття особистої відповідальності за достовірність результатів досліджень та дотримання принципів академічної доброчесності разом з професійною гнучкістю **(ФК11)**.
- Усвідомлення професійних етичних аспектів фізичних та астрономічних досліджень **(ФК12)**.
- Орієнтація на найвищі наукові стандарти – обізнаність щодо фундаментальних відкриттів та теорій, які суттєво вплинули на розвиток фізики та інших природничих наук **(ФК13)**.
- Здатність здобувати додаткові компетентності через вибіркові складові освітньої програми, самоосвіту, неформальну та інформальну освіту **(ФК14)**.
- Здатність аналізувати світові тренди розвитку фізики та астрономії для вибору власної освітньої траєкторії навчання та тематики майбутніх наукових досліджень **(ФК15)**.

5. Результати навчання за дисципліною: (описуються з детальною достовірністю для розробки заходів оцінювання)

| Результат навчання (1. знати; 2. вміти; 3. комунікація*; 4. автономність та відповідальність*) | Методи викладання і навчання | Методи оцінювання | Відсоток у підсумковій |
|---|------------------------------|-------------------|------------------------|
|---|------------------------------|-------------------|------------------------|

* заповнюється за необхідністю, наприклад для практик, лабораторних курсів тощо.

| Код | Результат навчання | | | оцінці з дисципліни |
|-----|---|---------------------------|---|---------------------|
| 1.1 | Знати математичне формулювання та фізичний зміст основних понять фізики напівпровідників | лекції | Модульна контрольна робота | 30 |
| 1.2 | Знати сучасний стан розвитку фізики напівпровідників | лекції | Модульна контрольна робота | 20 |
| 1.3 | Знання щодо застосування напівпровідників у приладах і пристроях | лекції | Модульна контрольна робота, контроль виконання самостійної роботи | 10 |
| 2.1 | Вміти застосовувати на практиці методи квантової механіки та фізики твердого тіла для опису властивостей об'ємних та низькорозмірних напівпровідників | лекції | Модульна контрольна робота | 15 |
| 2.2 | Вміти логічно і послідовно формулювати основні закономірності статистики електронів та дірок в напівпровідниках, протікання кінетичних явищ, властивостей поверхні | лекції | Модульна контрольна робота | 5 |
| 2.3 | Вміти самостійно працювати з науковою літературою в галузі фізики напівпровідників | самостійна робота | контроль виконання самостійної роботи | 5 |
| 2.4 | Володіти основними навичками розв'язку типових задач квантової механіки та фізики твердого тіла, методами розрахунку параметрів рівноважної та нерівноважної статистики носіїв заряду у напівпровідниках та розрахунків з використанням кінетичного рівняння Больцмана в наближенні часу релаксації | лекції, самостійна робота | модульна контрольна робота, контроль виконання самостійної роботи | 15 |

6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання (необов'язково для вибіркових дисциплін)

| Результати навчання дисципліни | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 2.1 | 2.2 | 2.3 | 2.4 |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Програмні результати навчання | | | | | | | |
| ПРН 1. Знати, розуміти та вміти застосовувати основні положення загальної та теоретичної фізики, зокрема, класичної, релятивістської та квантової механіки, молекулярної фізики та термодинаміки, електромагнетизму, хвильової та квантової оптики, фізики атома та атомного ядра для встановлення, аналізу, тлумачення, пояснення й класифікації суті та механізмів різноманітних фізичних явищ і процесів для розв'язування складних спеціалізованих задач та практичних проблем з фізики та астрономії | + | | | + | + | | + |
| ПРН 3. Знати і розуміти експериментальні основи фізики: аналізувати, описувати, тлумачити та пояснювати основні експериментальні підтвердження існуючих фізичних теорій | | | + | | | + | |
| ПРН 4. Вміти застосовувати базові математичні знання, які використовуються у фізиці та астрономії: з аналітичної | + | | | | | | + |

| | | | | | | | |
|---|--|---|---|---|--|---|---|
| геометрії, лінійної алгебри, математичного аналізу, диференціальних та інтегральних рівнянь, теорії ймовірностей та математичної статистики, теорії груп, методів математичної фізики, теорії функцій комплексної змінної, математичного моделювання | | | | | | | |
| ПРН 5. Знати основні актуальні проблеми сучасної фізики та астрономії | | + | | | | | |
| ПРН 6. Оцінювати вплив новітніх відкриттів на розвиток сучасної фізики та астрономії | | + | | | | | |
| ПРН 7. Розуміти, аналізувати і пояснювати нові наукові результати, одержані у ході проведення фізичних та астрономічних досліджень відповідно до спеціалізації | | | + | | | | + |
| ПРН 8. Мати базові навички самостійного навчання: вміти відшукувати потрібну інформацію в друкованих та електронних джерелах, аналізувати, систематизувати, розуміти, тлумачити та використовувати її для вирішення наукових і прикладних завдань | | | | | | + | |
| ПРН 9. Мати базові навички проведення теоретичних та/або експериментальних наукових досліджень з окремих спеціальних розділів фізики або астрономії | | | | + | | | |
| ПРН 13. Розуміти зв'язок фізики та астрономії з іншими природничими та інженерними науками, бути обізнаним з окремими (відповідно до спеціалізації) основними поняттями прикладної фізики, матеріалознавства, інженерії, хімії, біології тощо, а також з окремими об'єктами (технологічними процесами) та природними явищами, що є предметом дослідження інших наук і, водночас, можуть бути предметами фізичних або астрономічних досліджень | | + | + | | | | + |
| ПРН 15. Знати, аналізувати, прогнозувати та оцінювати основні екологічні аспекти загального впливу промислово-технологічної діяльності людства, а також окремих фізичних і астрономічних явищ, наукових досліджень та процесів (природних і штучних) на навколишнє природне середовище та на здоров'я людини | | | + | | | | |
| ПРН 17. Знати і розуміти роль і місце фізики, астрономії та інших природничих наук у загальній системі знань про природу та суспільство, у розвитку техніки й технологій та у формуванні сучасного наукового світогляду | | + | | | | | |
| ПРН 18. Володіти державною та іноземною мовами на рівні, достатньому для усного і письмового професійного спілкування та презентації результатів власних досліджень | | | | | | + | |

7. Структура курсу

Курс складається з 2-х змістових модулів: «Рівноважна статистика електронів та дірок в напівпровідниках. Кінетичні явища», який включає в себе 11 лекцій та «Нерівноважні електрони й дірки. Властивості поверхні», який складається з 11 лекцій.

8. Схема формування оцінки:

8.1 Форми оцінювання студентів: (зазначається перелік видів робіт та форм їх контролю / оцінювання із зазначенням Min. – рубіжної та Max. кількості балів чи відсотків)

| | ЗМ1 | | ЗМ2 | |
|--------------------|-----|-----|-----|-----|
| | Min | Max | Min | Max |
| Усна відповідь | 1 | 2 | 1 | 2 |
| Виконання домашніх | 2 | 4 | 2 | 4 |

| | | | | |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|
| завдань, активність під час їх розгляду | | | | |
| Опрацювання матеріалу, винесеного на самостійне вивчення | 1 | 4 | 1 | 4 |
| Модульна контрольна робота 1 | 14 | 20 | – | – |
| Модульна контрольна робота 2 | – | – | 14 | 20 |
| семестрове оцінювання: | 18 | 30 | 18 | 30 |

- підсумкове оцінювання у формі екзамену

Підсумкове оцінювання у формі екзамену⁴: (обов'язкове проведення екзаменаційного оцінювання в письмовій формі)

| | ЗМ1/Частина 1 (за наявності) | ЗМ2/Частина 2 (за наявності) | екзамен | Підсумкова оцінка |
|----------|------------------------------|------------------------------|-----------|-------------------|
| Мінімум | <u>18</u> | <u>18</u> | <u>24</u> | <u>60</u> |
| Максимум | <u>30</u> | <u>30</u> | <u>40</u> | <u>100</u> |

у випадку комплексного екзамену слід вказати питому вагу складових

Студент не допускається до екзамену, якщо під час семестру набрав менше 36 балів.⁵

(слід чітко прописати умови, які висувуються викладачами даної дисципліни).

Оцінка за іспит не може бути меншою **24 балів** для отримання загальної позитивної оцінки за курс.

8.2 Організація оцінювання: (обов'язково зазначається порядок організації передбачених робочою навчальною програмою форм оцінювання із зазначенням, у тому числі, результатів навчання, опанування яких перевіряється конкретним оцінюванням).

Шкала відповідності

| | |
|--|--------|
| Відмінно / Excellent | 90-100 |
| Добре / Good | 75-89 |
| Задовільно / Satisfactory | 60-74 |
| Незадовільно з можливістю повторного складання / Fail | 35-59 |
| Незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни / Fail | 0-34 |
| Зараховано / Passed | 60-100 |
| Не зараховано / Fail | 0-59 |

⁴ Семестрову кількість балів формують бали, отримані студентом у процесі теоретичного засвоєння матеріалу з усіх розділів дисципліни, семінарських занять, виконання практичних, лабораторних, індивідуальних, підсумкових контрольних робіт, творчих робіт впродовж семестру, передбачених робочою навчальною програмою (**100 балів** - для залікових дисциплін, у випадку, якщо дисципліна завершується екзаменом, то розподіл здійснюється за таким алгоритмом: **60 балів (60%) – семестровий контроль і 40 балів (40%) – екзамен**).

⁵ У випадку, коли дисципліна завершується екзаменом не менше – **20 балів**, а рекомендований мінімум **не менше 36 балів**, оскільки якщо студент на екзамені набрав менше **24 балів** (а це 60% від 40 балів, відведених на екзамен), то вони **не додаються** до семестрової оцінки незалежно від кількості балів, отриманих під час семестру, а в екзаменаційній відомості у графі «результуюча оцінка» переноситься лише кількість балів, отриманих під час семестру.

СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ЛЕКЦІЙ І ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ

| № п/п | Назва теми | Кількість годин | | |
|---|---|-----------------|----------|----------------------|
| | | лекції | семінари | Самостійна робота |
| Частина 1. Рівноважна статистика електронів та дірок в напівпровідниках. Кінетичні явища | | | | |
| 1 | <p>Тема 1. Вступ. Статистика носіїв заряду у власному та домішковому напівпровіднику. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції.</p> <p>Предмет курсу. Класифікація твердих тіл за величиною питомого опору та заповненням енергетичних зон. Власна та домішкова провідність, її температурна залежність. Холлівська та дрейфова рухливість. Визначення знаку заряду носіїв. Основні властивості та приклади застосування напівпровідникових матеріалів. Вирощування й легування об'ємних напівпровідникових кристалів (метод Чохральського, метод зонної плавки). Основні відмінності напівпровідників, металів та діелектриків з точки зору зонної теорії. Тензор ефективних мас. Ізоенергетичні поверхні. Приклади зонних структур напівпровідників: зони провідності кремнію, германію, арсеніду галію. Прямоzonні й непрямоzonні напівпровідники. Застосування напівпровідників у приладах з переносом заряду. Статистика носіїв заряду. Густина станів та функція розподілу електронів по квантових станах. Концентрація електронів у зоні провідності та дірок у валентній зоні для власного напівпровідника. Ефективна густина станів електронів та дірок в зонах. Невироджений електронний (дірковий) газ. Обчислення положення рівня Фермі у власному напівпровіднику та його зміна при зміні температури та параметрів напівпровідника. Рівень Фермі для напівпровідника з домішками одного типу.</p> | 10 | | 14 |
| 2 | <p>Тема 2. Кінетичні явища у напівпровідниках. Електропровідність напівпровідників та рухливість носіїв заряду. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції.</p> <p>Кінетичне рівняння Больцмана: електропровідність напівпровідників, рухливість носіїв заряду та її залежність від температури при різних механізмах розсіяння. Рівняння неперервності. Дифузійний та дрейфовий струми. Співвідношення Ейнштейна. Зв'язок густини струму з градієнтом квазірівня Фермі. Релаксація об'ємного заряду, максвеллівський час релаксації.</p> | 6 | | 12 |
| 3 | <p>Тема 3. Кінетика рекомбінації носіїв заряду. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції.</p> <p>Рівняння кінетики рекомбінації. Темпи генерації і рекомбінації. Часи життя нерівноважних носіїв. Дрейфовий і дифузійний струми. Біполярна провідність. Дифузія, дрейф і рекомбінація у випадку просторово-неоднорідних нерівноважних розподілів носіїв заряду. Довжина дифузії і довжина дрейфу нерівноважних носіїв заряду. Підготовка до модульної контрольної роботи 1.</p> | 6 | | 11 |
| | Контрольна робота 1 | | | 1 |

| Частина 2. Нерівноважні електрони й дірки. Властивості поверхні | | | | |
|--|---|-----------|--|-----------|
| 4 | <p>Тема 4. Нерівноважні електрони й дірки. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції.</p> <p>Виникнення нерівноважних носіїв заряду в напівпровідниках. Оптична генерація. Темпи генерації й рекомбінації; час життя. Співвідношення між часами релаксації енергії й імпульсу та часом життя. Квазірівновага та квазірівні Фермі. Фотопровідність. Домішкова і власна фотопровідність. Стационарне час життя, часи релаксації і стационарна величина фотопровідності в умовах низького рівня збудження.</p> | 4 | | 10 |
| 5 | <p>Тема 5. Статистика рекомбінації електронів і дірок. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції.</p> <p>Міжзонна рекомбінація і рекомбінація через локальні рівні. Механізми рекомбінації. Випромінювальна рекомбінація. Рекомбінаційне випромінювання. Випромінювальна рекомбінація в прямозонних і непрямоzonних напівпровідниках. Випромінювальна рекомбінація через домішки. Екситонна рекомбінація. Безвипромінювальна рекомбінація. Оже-рекомбінація. Коефіцієнт міжзонної рекомбінації. Зв'язок коефіцієнта міжзонної рекомбінації і коефіцієнта теплової генерації. Час життя при міжзонній рекомбінації.</p> | 6 | | 10 |
| 6 | <p>Тема 6. Рекомбінації електронів і дірок за участю дефектів. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції.</p> <p>Рекомбінація через домішки і дефекти. Коефіцієнт захоплення на локальні рівні. Центри прилипання і центри рекомбінації. Демаркаційні рівні. Часи життя в разі рекомбінації через один глибокий домішковий рівень. Статистика Шоклі-Ріда.</p> | 6 | | 10 |
| 7 | <p>Тема 7. Властивості поверхні напівпровідників. Контакт метал-напівпровідник. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції.</p> <p>Поверхневі рівні і поверхневі зони. Рівні Тамма. Поверхневий вигин зон і ширина області об'ємного заряду. Збагачений, збіднілий і інверсійний шари на поверхні напівпровідника. Поверхнева провідність. Залежність поверхневої провідності від поверхневого потенціалу. Ефект поля. Застосування ефекту поля для визначення енергетичного спектру поверхневих рівнів. Поверхнева рекомбінація. Швидкість поверхневої рекомбінації. Вплив поверхневої рекомбінації на фотопровідність. Контакт метал-напівпровідник. Енергетична діаграма контакту метал-напівпровідник. Розподіл напруженості електричного поля, об'ємного заряду й потенціалу у збіднілому та збагаченому шарах. Бар'єр Шоттки. Бар'єрна ємність контакту метал-напівпровідник. Підготовка до підсумкової модульної контрольної роботи.</p> | 6 | | 7 |
| | Підсумкова модульна контрольна робота | | | 1 |
| | ВСЬОГО | 44 | | 76 |

Примітка: слід зазначити теми, винесені на самостійне вивчення

Загальний обсяг 120 год.⁶, в тому числі:

Лекцій – **44** год.

Семінари – **0** год.

Практичні заняття – **0** год.

Лабораторні заняття – **0** год.

Тренінги – **0** год.

Консультації - **___** год.

Самостійна робота - **76** год.

Питання для самостійної роботи

1 модуль

1. Багатодолинні напівпровідники. Статистика носіїв заряду для них.
2. Густина струму в неоднорідних напівпровідникових системах.
3. Релаксація концентрації нерівноважних носіїв заряду в напівпровіднику в просторово однорідному випадку.
4. Амбіполярний дрейф і амбіполярна дифузія. Амбіполярная рухливість. Коефіцієнт амбіполярной дифузії.
5. Рівняння кінетики рекомбінації нерівноважних носіїв заряду в просторово однорідних та неоднорідних системах.

2 модуль

1. Фононна рекомбінація. Механізм захоплення Лекса.
2. Повна система рівнянь для знаходження нерівноважних заселеностей станів. Нерівноважний стаціонарний стан.
3. Рекомбінація через багатозарядні домішки.
4. Швидкі і повільні стани на поверхні напівпровідника.
5. Структури метал-діелектрик-напівпровідник (МДН-структури) та їх застосування в польових транзисторах.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА⁷:

Основна: (Базова)

1. В. Л. Бонч-Бруевич, С.И. Калашников. Физика полупроводников. М.: Наука, 1990.
2. К. В. Шалимова. Физика полупроводников. М.: Энергия, 1971.
3. А. И. Ансельм. Введение в физику полупроводников. М.: Наука, 1985.
4. К. Зеегер. Физика полупроводников. М.: Мир, 1977.
5. М. Кардона, Питер Ю. Основы физики полупроводников. М.: Физматлит, 2002.
6. Р. Смит. Полупроводники. М. Наука, 1985.
7. В. П. Грибковский. Теория поглощения и испускания света в полупроводниках. Минск: Наука и техника, 1975.
8. Л. П. Павлов. Методы определения основных параметров полупроводниковых материалов. М.: Высшая школа, 1975.
9. http://phm.kspu.kr.ua/images/doc/navch_material/charenko/3.pdf
10. http://journal-spqeo.org.ua/users/pdf/n1_98/123_198.pdf
11. https://radfiz.org.ua/files/NOT%20SORTED/zemskoff_IVT_s6_20140125_yse/%F4%D2%C5%D4%D1%CB.%20%EC%CF%DA%CF%D7%D3%D8%CB%C9%CA.%20%EF%D3%CE%CF%D7%C9%20%C6%A6%DA%C9%CB%20%CE%20%CE%20%A6%D7%D0%D2%CF%D7%A6%C4%CE%20%CB%A6%D7.pdf

Додаткова:

1. І. В. Острівський, О.О. Коротченков. Фізична акустооптика. К.: Вид. Центр Київський університет, 2000.
2. Н.А.Поклонский, С.А.Вырко, С.Л. Поденок. Статистическая физика полупроводников: Курс лекций. Н: УРСС, 2005.

⁶ Загальна кількість годин, відведених на дану дисципліну згідно навчального плану.

⁷ В тому числі Інтернет ресурси