

НТУУ «КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»
КАФЕДРА МІКРОЕЛЕКТРОНІКИ

С. П. Надкерничний

МАТЕРІАЛИ І КОМПОНЕНТИ ЕЛЕКТРОНІКИ

ПРОГРАМА ТА МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

Для напрямів підготовки: 6.090800 “Електроніка”,
6.050801 “Мікроелектроніка і наноелектроніка”,
6.050802 “Електронні пристрої і системи”

Затверджено Методичною радою НТУУ «КПІ»

Київ НТУУ «КПІ» 2010

Матеріали і компоненти електроніки: Навчальна програма та методичні вказівки. Для студентів бакалаврату з напрямів підготовки 6.090800 “Електроніка”, 6.050801 “Мікроелектроніка і наноелектроніка”, 6.050802 “Електронні пристрої і системи”.

У перших двох частинах міститься розгорнутий виклад навчальної програми, методичні вказівки до вивчення окремої теми чи розділу та питання для самоперевірки. Третя частина – це додатки, в яких подані важливі теоретичні роз’яснення і практичний довідниковий матеріал. Видання призначене для студентів різних форм навчання. Може бути рекомендовано також студентам приладобудівних спеціальностей та іншим фахівцям, бажаючим мати систематичні знання про матеріали і компоненти електроніки. /Уклад.: С. П. Надкерничний. –К.: Нац. техн. ун-т України «Київ. політех. ін-т», 2010. – 54 с.: іл.

Ухвалено кафедрою мікроелектроніки

Протокол № 6 від 25 листопада 2009 р.

НМУ № 9/10 – 354

Гриф надано Методичною радою НТУУ «КПІ»

(Протокол № 9 від 20 травня 2010 р)

Навчальне видання

Укладач: *Надкерничний Степан Петрович*, старший викладач.

Рецензент: *Мірошніченко Анатолій Петрович*, канд. техн. наук, доцент.

Відповідальний

редактор: *Татарчук Дмитро Дмитрович*, канд. техн. наук, доцент.

За редакцією укладача

ПЕРЕДМОВА

Предмет “Матеріали і компоненти електроніки” є необхідною складовою частиною загальноінженерної підготовки і відноситься до перших предметів, що вивчаються в циклі професійної та практичної підготовки фахівців з електроніки.

Знання, отримані при вивченні матеріалів електронної техніки, сприяють формуванню у студентів науково-технічного світогляду, виробленню раціонального підходу при дослідженні фізичних особливостей матеріалів і компонентів та при їх практичному застосуванні. Майбутні спеціалісти ознайомлюються з історією та перспективами розвитку матеріалознавства, узнають про роль науковців та інженерів в розвитку наукових знань про матеріали і компоненти електроніки.

Предмет “Матеріали і компоненти електроніки” ділиться на частини.

1. “Матеріали електронної техніки”. 2. “Електронні компоненти”.

Основне призначення представленої методичної розробки – це виклад навчальної програми курсу в розширеному, деталізованому виді. Роз’яснення та рекомендації до вивчення предмету даються у методичних вказівках для кожного розділу. Самоконтроль за рівнем засвоєння курсу можна здійснювати з допомогою “Питань для самоперевірки”. До кожної теми у додатках наводяться важливі теоретичні викладки або наглядна інформація довідникового характеру.

Дане видання розроблене у відповідності з навчальними планами підготовки бакалаврів електроніки і є необхідним посібником для студентів денної, заочної та екстернатної форм навчання, а також для тих фахівців, які бажають вивчати предмет “Матеріали і компоненти електроніки” самостійно.

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Предмет “Матеріали і компоненти електроніки” (МКЕ) відноситься до циклу професійної та практичної підготовки бакалаврів напрямів 6.090800 “Електроніка”, 6.050801 “Мікроелектроніка і наноелектроніка” та 6.050802 “Електронні пристрої і системи”.

Його вивчення базується на знаннях, що засвоюють студенти при вивченні курсів фізики й хімії університетської і шкільної програм.

У свою чергу, цей предмет забезпечує курси “Твердотіла електроніка”, “Технологічні основи електроніки”, “Фізичні основи електроніки”, “Матеріали електронної техніки у медицині”, “Електронні системи”, а також підготовку курсових та дипломних проектів.

Мета дисципліни МКЕ – набути знання про будову, структуру й властивості матеріалів, а також про основні процеси, які відбуваються в матеріалі під впливом зовнішніх чинників для розвитку уміння кваліфіковано вибирати матеріал та використовувати його відповідно до призначення та властивостей; набуття загальних знань про найбільш використовувані електронні компоненти.

Метою вивчення предмету також є розвинути: уміння, використовуючи теоретичні формули, відомі із літературних джерел та основні електрофізичні параметри матеріалів, визначати розрахунковим шляхом основні параметри виробів і компонентів із матеріалів; уміння здійснювати практичні вимірювання параметрів матеріалів, та виконувати дослідження основних характеристик; уміння підбирати необхідні електронні компоненти при виконанні курсових і дипломних проектів та при проектуванні електронної апаратури, користуючись сучасними джерелами довідникової інформації.

Основні завдання навчальної дисципліни

1. Набути знання про вплив хімічного складу, структури, технології виготовлення і обробки на властивості матеріалів та виробів електроніки.
2. Засвоєння знань про залежність властивостей матеріалів від зовнішніх факторів.
3. Ознайомлення із класифікаціями матеріалів за різними критеріями.
4. Набуття знань про типові застосування матеріалів в електроніці та уміння кваліфіковано вибирати матеріал для практичного використання.
5. Розвинути уміння з вимірювання фізико-технічних характеристик матеріалів та проведення випробування і дослідження матеріалів.
6. Набуття знань про будову, види конструкцій та призначення основних видів пасивних електронних компонентів.
7. Ознайомлення з основними технічними характеристиками та особливостями застосування електронних компонентів.
8. Освоєння класифікації, умовних графічних позначень та маркування електронних компонентів; розвиток уміння застосовувати ці знання при експлуатації і проектуванні апаратури.
9. Набуття знань про вплив зовнішніх факторів на характеристики компонентів та уміння враховувати цей вплив, чи забезпечувати необхідні засоби захисту, при проектуванні електронної апаратури.

Рекомендації до розподілу навчального часу

Форма навчання	Семестр	Усього кредитів / годин	Розподіл навчального часу за видами занять				Семестрова атестація
			Лекції	Лабораторні роботи	Практичні заняття	Самостійна робота студента	
Денна	2	3 / 108	36	18		54	Диф. залік
Заочна	3	3 / 108	8	8		92	Диф. залік

ЧАСТИНА I. МАТЕРІАЛИ ЕЛЕКТРОНІКИ



РОЗДІЛ 1. МАТЕРІАЛОЗНАВЧІ АСПЕКТИ КУРСУ. БУДОВА, ЗАГАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ МАТЕРІАЛІВ ЕЛЕКТРОНІКИ

- 1.1. Предмет матеріалознавства в електроніці, загальна класифікація матеріалів електроніки.
- 1.2. Будова матеріалів, види хімічного зв'язку в речовині, вплив зв'язку на властивості матеріалу.
- 1.3. Будова твердих тіл. Кристалічні речовини, просторова кристалічна ґратка, елементарна чарунка та її основні параметри. Типи ґраток Браве.
- 1.4. Кристалографічні площини і напрямки, індекси Міллера. Елементи теорії симетрії у вивченні кристалічного стану речовини.
- 1.5. Дефекти кристалічної структури. Поліморфізм в матеріалах. Аморфні речовини, склоподібний стан речовини.
- 1.6. Основи зонної енергетичної теорії твердих тіл. Критерії розподілу матеріалів на провідники, напівпровідники і діелектрики за енергетичними зонними діаграмами.
- 1.7. Огляд найважливіших фізичних явищ, що виникають у матеріалах при дії електричного та магнітного полів. Класифікація електротехнічних матеріалів за електричними і магнітними властивостями.
- 1.8. Явище електропровідності в матеріалах, класифікація видів електропровідності. Основні поняття та параметри, загальне рівняння питомої електропровідності.

Методичні вказівки

Цей розділ є основою для наступних частин курсу. У ньому розглядається будова речовин, природа кристалічного стану речовини,

вводяться загальні поняття і термінологія, які використовувані при описі і дослідженні властивостей твердого тіла. Даються необхідні знання про модель енергетичної зонної теорії твердого тіла.

При вивченні питань з цього розділу варто звернути увагу на наявність ближнього та дальнього порядку в розташуванні складових часток кристалічні ґратки та на істотному впливі цієї обставини на електрофізичні властивості матеріалів. Приналежність кристалічної речовини відповідному класу симетрії багато в чому, ще до практичного дослідження, визначає можливість чи неможливість конкретних фізичних явищ (ефектів) у даному матеріалі. Дефекти кристалічної структури, домішки та інші фактори сильно змінюють властивості речовин. Це необхідно завжди враховувати при аналізі функціональних особливостей конкретного матеріалу та при виборі його для практичного застосування.

П0. Питання для самоперевірки

- П0.1. Елементарна чарунка кристалічної ґратки та її основні параметри.
- П0.2. Які елементи симетрії кристалічної структури ви знаєте?
- П0.3. Поняття кристалічної сингонії (сукупності). Типи ґраток Браве.
- П0.4. Визначення індексів Міллера. Які індекси мають головні площини в кубічній кристалічній ґратці?
- П0.5. Природа енергетичної зонної структури твердих тіл, що таке "заборонена зона"
- П0.6. Енергетичні діаграми діелектрика, напівпровідника і провідника.
- П0.7. Перерахуйте види хімічного зв'язку. Поясніть структуру металічного зв'язку.
- П0.8. Напишіть загальне рівняння електропровідності матеріалу при наявності у ньому двох типів носіїв заряду.
- П0.9. Класифікація речовин за відношенням до магнітного поля.

П0.10. Анізотропія властивостей матеріалу, зв'язок із кристалічною структурою.

П0.11. Яка, на Вашу думку, величина концентрації вільних електронів у міді? Спробуйте зробити необхідний розрахунок.

П0.12. Які матеріали називають діелектриками і напівпровідниками?

РОЗДІЛ 2. ВИДИ МАТЕРІАЛІВ ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ЇХ ОСНОВНІ ВЛАСТИВОСТІ І ЗАСТОСУВАННЯ

Тема 2.1. ПРОВІДНИКОВІ МАТЕРІАЛИ

2.1.1. Властивості металів. Теорія електропровідності металів, питома електропровідність.

2.1.2. Теплопровідність металів і її зв'язок із електропровідністю. Теплоємність металів, електронна і граткова теплоємність.

2.1.3. Квантова модель валентних електронів у металах, поняття енергії Фермі.

2.1.4. Залежність електропровідності від температури та інших факторів.

2.1.5. Види металевих сплавів, їх електрофізичні властивості та особливості застосування.

2.1.6. Електропровідність в тонких провідникових плівках.

2.1.7. Особливості електропровідності на високих частотах.

2.1.8. Контактні явища в металах, вплив середовища на металеві матеріали.

2.1.9. Класифікація провідникових матеріалів. Основні параметри провідникових матеріалів.

2.1.10. Метали і сплави високої провідності.

2.1.11. Сплави високого електричного опору, сплави для термопар.

2.1.12. Неметалеві провідникові матеріали. Кермети, контактоли, оксидні провідникові матеріали. Резистивні і провідникові пасти.

Методичні вказівки

У цьому розділі необхідно звернути увагу на природу електричного опору провідників. Незважаючи на очевидні успіхи класичної електронної теорії металів, для пояснення механізму опору матеріалів протіканню електричного струму необхідно використовувати квантово-механічні уявлення про рух носіїв заряду. Дуже важливо виявити вплив на електропровідність різних факторів, у тому числі технології одержання й обробки провідникових матеріалів. Ознайомтесь з явищем надпровідності в провіднику, яке є наслідком фазового переходу в матеріалі на відміну від електропровідності при дуже низьких температурах (так званої кріо- чи гіперпровідності).

Розуміння природи електричного опору провідників дозволяє в рамках запропонованої класифікації легко орієнтуватися в основних властивостях і використанні різних металів і їхніх сплавів. Зверніть увагу на існування неметалічних провідникових матеріалів, різних резистивних і провідникових паст та їх електрофізичні властивості і можливості застосування. Композиційні провідникові матеріали мають питомий опір у діапазоні між діелектриками і металами (від $50 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$ до $10 \text{ Ом}\cdot\text{м}$), але вони не належать до напівпровідників, а є високоомними провідниковими матеріалами.

П1. Питання для самоперевірки

- П1.1. Природа електричного опору металів.
- П1.2. Залежність питомого опору металів від температури.
- П1.3. Вплив на питомий опір провідника різних факторів, правило Маттісена.
- П1.4. Намалюйте графік залежності питомого опору сплаву типу розупорядкованого твердого розчину від складу сплаву. Дайте пояснення.

П1.5. Розподіл електронів провідності у металі по енергії. Що називають енергією Фермі?

П1.6. Будова термопари, вимірювання температури термопарою.

П1.7. Вплив частоти електричного поля на опір провідника.

П1.8. Класична електронна теорія металів. Основні уявлення.

П1.9. Що таке рухливість електрона? Які фактори впливають на рухливість електронів у металі?

П1.10. Склад і призначення провідникових і резистивних паст .

П1.11. Вплив технологічної обробки на властивості металевих провідників.

Тема 2.2. НАПІВПРОВІДНИКОВІ МАТЕРІАЛИ

2.2.1. Загальні властивості напівпровідників. Електропровідність напівпровідників, домішки в напівпровідниках і види носіїв заряду. Власна і домішкова провідність.

2.2.2. Температурні залежності концентрації і рухливості носіїв заряду в напівпровідниках. Залежність питомої електропровідності від температури і її практичне значення.

2.2.3. Генерація і рекомбінація нерівноважних носіїв заряду. Фотопровідність. Світлова характеристика фотопровідності. Спектральна характеристика фотопровідності власних і домішкових напівпровідників.

2.2.4. Люмінесценція – види і використання. Основні типи люмінофорів, приклади застосування напівпровідникових матеріалів-люмінофорів.

2.2.5. Деякі фізичні ефекти в напівпровідниках, що мають важливе прикладне значення: термоелектричні явища; вплив сильного електричного поля на електропровідність.

2.2.6. Параметри та характеристики напівпровідникових матеріалів.

2.2.7. Класифікація напівпровідникових матеріалів, основні групи напівпровідникових матеріалів. Оксидні напівпровідники.

2.2.8. Прості напівпровідники – германій і кремній.

2.2.9. Огляд властивостей напівпровідникових сполук типу $A^{III}B^V$.

2.2.10. Властивості і використання напівпровідникових сполук типу $A^{II}B^{VI}$.

2.2.11. Огляд властивостей напівпровідникових матеріалів складу $A^{IV}B^{VI}$.

Методичні вказівки

Ефективне використання напівпровідникових матеріалів лежить в основі розвитку електронної техніки, тому глибоке знання електрофізичних властивостей напівпровідників – необхідна умова їхнього успішного застосування. На властивості напівпровідникових матеріалів дуже сильно впливають різні зовнішні фактори (електромагнітні поля, температура, тиск, вологість і т.п.), а також домішки (легування). Тому необхідно розуміти, чому і як саме змінюється температурний хід електропровідності напівпровідників у залежності від типу і концентрації домішок, а також уміти виділити основний, характерний ефект із комплексу властивостей напівпровідника при впливі сукупності зовнішніх полів. Зверніть увагу на можливість існування у напівпровідниках збудженого стану та нерівноважної концентрації носіїв заряду. Це дає можливість створювати різноманітні напівпровідникові прилади, у тому числі на основі явищ фотопровідності та люмінесценції.

У результаті вивчення цього розділу курсу необхідно зрозуміти природу електропровідності в напівпровідниках, існування різних типів електропровідності. Корисно запам'ятати найважливіші параметри та характерні властивості основних представників напівпровідникових матеріалів в рамках запропонованої класифікації. Потрібно знати

принципи раціонального застосування цих матеріалів у залежності від їх електрофізичних параметрів.

П2. Питання для самоперевірки

- П2.1. Порівняльна характеристика напівпровідника і діелектрика.
- П2.2. Зонна діаграма власного і домішкового напівпровідника.
- П2.3. Домішки в напівпровідниках і види носіїв заряду, типи домішкової провідності.
- П2.4. Температурна залежність концентрації носіїв заряду.
- П2.5. Вплив електричного поля на електропровідність напівпровідників.
- П2.6. Рівноважні і нерівноважні носії заряду у напівпровідниках. Що таке рекомбінація?
- П2.7. Спектральна характеристика фотопровідності власних і домішкових напівпровідників.
- П2.8. Термоелектричні явища в напівпровідниках і можливості їхнього використання.
- П2.9. Порівняльна характеристика германію і кремнію.
- П2.10. Назвіть 10 напівпровідникових сполук типу $A^{III}B^V$, наведіть приклади застосування деяких із них.
- П2.11. Перерахуйте основні види люмінесценції. Поясніть механізм фотолюмінесценції, назвіть представників люмінофорів різного виду.
- П2.12. Опишіть приклади використання декількох напівпровідникових сполук в приладах електроніки.

Тема 2.3. ДІЕЛЕКТРИЧНІ МАТЕРІАЛИ

- 2.3.1. Загальні фізико-хімічні властивості діелектричних матеріалів.
- 2.3.2. Поляризація діелектриків. Відмінності явищ електропровідності і поляризації. Резонансні і релаксаційні механізми поляризації.

2.3.3. Види поляризації. Діелектрична проникність і її залежність від зовнішніх факторів для різних видів поляризації.

2.3.4. Електропровідність діелектриків. Питомий опір: об'ємний і поверхневий. Залежність електропровідності від зовнішніх факторів.

2.3.5. Електропровідність у діелектриках на змінному струмі, види струмів.

2.3.6. Діелектричні втрати, види діелектричних втрат. Векторна діаграма струмів (напруг) для схем заміщення діелектрика, кут діелектричних втрат. Залежності тангенса кута діелектричних втрат і розсіяної потужності від температури, частоти.

2.3.7. Явище електричного пробою у діелектрику, види пробою у твердих діелектриках. Пробивна напруга і пробивна напруженість.

2.3.8. Загальна класифікація діелектричних матеріалів. Пасивні діелектричні матеріали, основні групи діелектричних матеріалів.

2.3.9. Неорганічні діелектричні матеріали: слюда, кераміка, скло і сітали.

2.3.10. Органічні полімерні матеріали. Термопластичні і термореактивні полімери, зв'язок будови полімерів з їх основними властивостями.

2.3.11. Активні діелектрики (діелектрики з керованими властивостями), загальна класифікація. Основні властивості і використання п'єзоелектриків.

2.3.12. Піроелектрики і сегнетоелектрики; класифікація, основні фізико-технічні властивості і можливості використання таких матеріалів.

2.3.13. Електрети, рідинні кристали: види і застосування.

Методичні вказівки

Вивчення діелектриків зв'язане з деякими труднощами, обумовленими широкою номенклатурою і різноманітням властивостей діелектричних матеріалів. Тому необхідно звернути особливу увагу на класифікацію матеріалів, на принципи об'єднання діелектриків у окремі групи. У цьому зв'язку велике значення мають: а) хімічний склад та будова діелектриків;

б) залежність властивостей діелектриків від впливу різних зовнішніх факторів; в) мікроскопічні і макроскопічні параметри, що характеризують поляризаційні явища.

Знання будови та видів хімічного зв'язку речовини діелектрика, механізмів поляризації дає можливість визначити температурний і частотний діапазони застосування тих чи інших діелектричних матеріалів, які мають різні склад і структуру. Одними з найважливіших параметрів електроізоляційних матеріалів є електрична міцність, а для інших матеріалів – діелектрична проникність і кут діелектричних втрат, які можуть істотно змінюватися в залежності від конкретних умов застосування діелектриків.

Варто звернути більшу увагу на підклас активних діелектриків, особливо на п'єзо- і сегнетоелектрики, у зв'язку з інтенсифікацією їхнього використання останнім часом завдяки успіхам сучасної електронної технології. Бажано ознайомитись з властивостями та можливостями практичного застосування рідинних кристалів й електретів.

ПЗ. Питання для самоперевірки

- ПЗ.1. Структура енергетичної зонної діаграми діелектриків і металів.
- ПЗ.2. У чому відмінність явища електропровідності і поляризації?
- ПЗ.3. Основні механізми поляризації (пружний, релаксаційний), зв'язок зі структурою діелектрика. Що таке діелектрична проникність?
- ПЗ.4. Класифікація діелектриків за видами поляризації.
- ПЗ.5. Види діелектричних втрат. Механізм іонізаційних втрат.
- ПЗ.6. Залежність діелектричної проникності і $\text{tg}\delta$ від зовнішніх факторів (температури t^0 , частоти електричного поля f).
- ПЗ.7. Механізми пробою твердих діелектричних матеріалів.
- ПЗ.8. Чим розрізняються сегнето-, піро- і п'єзоелектрики?

ПЗ.9. Паралельна схема заміщення діелектрика та векторна діаграма струмів. Макроскопічні параметри, що характеризують втрати у діелектрику.

ПЗ.10. Дайте визначення основних параметрів п'єзоелектрика. Які вам відомі п'єзоелектричні матеріали?

ПЗ.11. Промислові матеріали для малогабаритних конденсаторів. Що таке доменна поляризація і у яких матеріалах вона проявляється?

ПЗ.12. Принципи загальної класифікації й основні групи діелектричних матеріалів.

Тема 2.4. МАГНІТНІ МАТЕРІАЛИ

2.4.1. Основні уявлення про природу магнетизму. Магнітна проникність і магнітна сприйнятливість. Класифікація матеріалів за величиною магнітної сприйнятливості.

2.4.2. Феромагнітні матеріали. Явище магнітної упорядкованості. Вплив обмінної взаємодії. Магнітна анізотропія.

2.4.3. Особливості процесів намагнічування і розмагнічування феромагнетиків. Основна крива намагнічування.

2.4.4. Вплив температури на магнітні властивості матеріалів. Температури Нееля і Кюрі. Явище магнітострикції при намагнічуванні та нагріванні.

2.4.5. Феримагнетики та ферити, властивості та особливості використання.

2.4.6. Магнітні втрати, види магнітних втрат. Поверхневий ефект.

2.4.7. Параметри магнітних матеріалів і способи їхнього визначення.

2.4.8. Класифікація магнітних матеріалів. Види магнітном'яких матеріалів.

2.4.9. Магнітнотверді матеріали. Матеріали для магнітного запису.

2.4.10. Магнітні матеріали спеціального призначення.

Методичні вказівки

Магнітні властивості матеріалів обумовлені власними магнітними моментами ядер і електронів, причому основний внесок дають орбітальний і спіновий магнітні моменти електрона. Відзначимо, що в багатьох випадках орбітальний магнітний момент електрона “заморожений” внутрішньокристалічним полем у матеріалі й основну роль грає тільки спіновий магнітний момент.

У речовин зі збільшеним магнітним моментом атома, завдяки силам обмінної взаємодії, може виникнути самовільне магнітне упорядкування. Сили обмінної взаємодії, унаслідок яких існує феромагнітна фаза в ряді матеріалів, є за своєю природою квантово-механічними. Тому в рамках класичної фізики явище феромагнетизму не може бути пояснено. Висока магнітна сприйнятливність та інші магнітні властивості, спричинені феромагнетизмом, проявляються тільки до відповідної температури.

Уважно ознайомтесь із класифікацією магнітних матеріалів. При розгляді основних груп магнітних матеріалів зверніть увагу, що специфічні магнітні властивості матеріалів можуть бути отримані не тільки зміною складу, але і спеціальною технологічною обробкою (текстуруванням, легування, термообробкою).

Важливо зрозуміти природу основних параметрів магнітних матеріалів. Для практичної роботи корисно знати діапазони величин основних параметрів найважливіших промислових феро- і феромагнітних матеріалів (магнітної проникності, коерцитивної сили, індукції насичення) Для успішного застосування магнітних матеріалів завжди необхідно враховувати температурний і частотний діапазони роботи конкретного виду магнетизму, нелінійність магнітних характеристик, прогнозувати величину магнітних втрат у матеріалі.

П4. Питання для самоперевірки

- П4.1. Якими параметрами характеризується магнітне поле в речовині?
- П4.2. Класифікація матеріалів по відношенню до магнітного поля.
- П4.3. Що таке феромагнетизм і в яких простих матеріалах він проявляється?
- П4.4. Чим відрізняється діамагнетизм від парамагнетизму?
- П4.5. Температурні залежності магнітної сприйнятливості для діа-, пара- і феромагнетиків.
- П4.6. Основна крива намагнічування для феромагнетиків.
- П4.7. Що таке антиферомагнетики і феримагнетики, які антиферомагнітні та феримагнітні матеріали ви знаєте?
- П4.8. Назвіть основні параметри магнітних матеріалів і способи їхнього визначення. Що таке коерцитивна сила?
- П4.9. Від чого залежить величина втрат на перемагнічування і вихрові струми?
- П4.10. Магнітодіелектрики і їхнє застосування.
- П4.11. Що така обмінна взаємодія та як вона впливає на магнітні властивості?
- П4.12. Явище магнітострикції при намагнічуванні та зміні температури.

ЧАСТИНА 2. ЕЛЕКТРОННІ КОМПОНЕНТИ



РОЗДІЛ 3. ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ

Тема 3.1. ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОНЕНТІВ

3.1.1. Основні поняття: електронна система, компонентна база, електронні компоненти. Загальні характеристики електронних компонентів. Класифікація та основні типи компонентів.

3.1.2. Стабільність характеристик електронних компонентів. Впливи зовнішніх факторів на характеристики компонентів: підвищеної температури, зниженого тиску, підвищеної вологості, механічних сил.

Тема 3.2. РЕЗИСТОРИ

3.2.1. Загальна будова. Конструкції резисторів та матеріали для їх виготовлення.

3.2.2. Класифікація резисторів. Особливості застосування резисторів.

3.2.3. Основні технічні характеристики резисторів, еквівалентна схема заміщення.

3.2.4. Маркування та умовні графічні позначення резисторів в електричних схемах. Ряди номінальних електричних опорів та величини допусків.

3.2.5. Резистори спеціального призначення, основні характеристики і застосування.

3.2.6. Напівпровідникові пасивні компоненти – лінійні та нелінійні резистори та датчики.

Тема 3.3. КОНДЕНСАТОРИ

3.3.1. Загальна будова. Конструкції конденсаторів та матеріали для їх виготовлення.

3.3.2. Класифікація конденсаторів. Особливості застосування конденсаторів різних типів.

3.3.3. Основні технічні характеристики конденсаторів, еквівалентна схема заміщення на низьких і високих частотах.

3.3.4. Маркування та умовні графічні позначення конденсаторів в електричних схемах.

3.3.5. Нелінійні конденсатори (варіконди), основні характеристики та використання.

Тема 3.4. ІНДУКТИВНІ КОМПОНЕНТИ

3.4.1. Загальна будова котушки індуктивності. Принцип роботи й основні властивості.

3.4.2. Види конструкцій та основні матеріали, розрахунок величини індуктивності.

3.4.3. Високочастотні дроселі, особливості конструкції та використання.

3.4.4. Основні технічні характеристики індуктивності, еквівалентна схема заміщення та частотна характеристика котушки індуктивності.

3.4.5. Види класифікації; маркування та умовні графічні позначення індуктивних компонентів.

3.4.6. Електромагнітні трансформатори, загальна будова, основні параметри.

3.4.7. Деталі і напівфабрикати для створення електромагнітних дроселів і трансформаторів.

Тема 3.5. ФУНКЦІОНАЛЬНІ КОМПОНЕНТИ

3.5.1. Ознайомлення з поняттям "функціональний компонент", класифікація компонентів за фізичним принципом роботи.

3.5.2. Акустоелектронні прилади, класифікація. Характеристики та використання деяких видів акустоелектронних компонентів.

3.5.3. Інші компоненти та елементи функціональної електроніки (піроелектричні датчики, рідинні кристали, датчики Хола та ін.).

Тема 3.6. КОМУТАЦІЙНІ ДРУКОВАНІ ПЛАТИ ТА МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ПЛАТ

3.6.1. Загальні відомості про комутаційні плати. Комутаційні друковані плати традиційного монтажу. Комбіновані та багат шарові комутаційні плати.

3.6.2. Основні конструкційні матеріали та захисні матеріали для плат.

3.6.3. Припаї та інші матеріали для пайки та монтажу компонентів на комутаційну плату.

3.6.4. Проблема використання свинцю та інших токсичних речовин у виробках електроніки.

Методичні вказівки

При вивченні розділів цієї частини курсу важливо засвоїти будову, конструктивні особливості кожного типу компонента та основні його параметри і характеристики. Враховуючи, що основою функціонування електронного компонента є відповідне електрофізичне явище, важливо звертати увагу на властивості його функціонального матеріалу. Необхідно засвоїти принципи класифікації компонентів за різними критеріями.

Зверніть увагу на природу технічних параметрів компонентів та методи їх визначення. Корисно ознайомитись із довідниковою

літературою, із сучасними каталогами фірм-виробників електронних компонентів і елементів, а також з технічною документацією на компоненти на Ваших підприємствах. Студенти повинні освоїти способи маркування електронних компонентів, порядок представлення в технічній документації та види умовних графічних зображень різних компонентів в електричних схемах.

Важливо ознайомитися з сучасними екологічними вимогами до технологічних матеріалів, використовуваних при монтажі компонентів на комутаційних платах. Потрібно враховувати при подальшому навчанні та у майбутній роботі проблеми і застереження пов'язані з обмеженнями щодо застосування свинцю та інших екологічно шкідливих матеріалів.

П5. Питання для самоперевірки до другої частини

П5.1. Дайте визначення характеристикам резистора: номінальний опір, клас точності, номінальна потужність, температурний коефіцієнт опору.

П5.2. Які впливи можуть мати на характеристики компонентів зовнішні фактори – підвищена температура та знижений тиск?

П5.3. Класифікації резисторів за різними критеріями. Види змінних резисторів.

П5.4. Загальна будова резисторів, основні та допоміжні матеріали, що використовуються для виготовлення різних типів постійних резисторів.

П5.5. Представте по пам'яті ряди номінальних електричних опорів E6 та E24, та відповідні величини допусків.

П5.6. Дайте визначення основних технічних параметрів та характеристик резисторів.

П5.7. Принцип кольорового маркування постійних резисторів. Умовні графічні позначення змінних резисторів в електричних схемах.

П5.8. Цифро-буквенне маркування конденсаторів. Наведіть приклади.

П5.9. Які діелектричні матеріали використовують для виготовлення малогабаритних монолітних конденсаторів? Представте малюнки відповідних конструкцій конденсаторів.

П5.10. Що таке полярні і неполярні конденсатори? Яка сфера застосування електролітичних конденсаторів?

П5.11. Основні характеристики варікондів, назвіть приклади їх використання.

П5.12. Дайте визначення найважливіших технічних характеристик котушки індуктивності.

П5.13. Загальна будова електромагнітного трансформатора, основні параметри.

П5.14. Будова та основні характеристики фоторезистора.

П5.15. Намалюйте та поясніть вольт-амперну характеристику варистора. Для чого застосовують варистори в електронних схемах.

П5.16. Будова та основні параметри п'єзоелектричного резонатора, можливе застосування.

П5.17. Класифікація компонентів та елементів функціональної електроніки.

П5.18. Для чого використовуються комутаційні плати? Назвіть види комутаційних друкованих плат.

П5.19. Перерахуйте основні конструкційні матеріали для комутаційних плат та дайте порівняльну характеристику.

П5.20. Види припаїв для пайки та монтажу компонентів на плату. Які основні характеристики припаїв?

П5.21. Якими параметрами можна характеризувати стабільність параметрів та довговічність роботи електронних компонентів?

ПРИБЛИЗНИЙ ПЕРЕЛІК ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Робота № 1. Дослідження матеріалів для дротяних резисторів та термопар.

Робота № 2. Дослідження впливу температури на електропровідність напівпровідникових матеріалів. Властивості терморезисторів.

Робота № 3. Дослідження нелінійних напівпровідникових резисторів.

Робота № 4. Дослідження фотоелектричних властивостей напівпровідників. Вимірювання характеристик фоторезисторів.

Робота № 5. Дослідження діелектричних матеріалів.

Робота № 6. Вимірювання параметрів п'єзоелектричних матеріалів і акустоелектронних компонентів на їх основі.

Робота № 7. Дослідження конденсаторів постійної та змінної ємності.

Робота № 8. Вимірювання параметрів магнітних матеріалів.

Робота №9. Дослідження індуктивних компонентів.

Робота № 10. Дослідження змінних резисторів різних типів.

Для успішного засвоєння навчального матеріалу при вивченні предмету "МАТЕРІАЛИ І КОМПОНЕНТИ ЕЛЕКТРОНІКИ" пропонується проводити комплексні лабораторні роботи. Комплексність або інтегральність роботи означає, що при виконанні лабораторного дослідження перед студентом ставиться завдання вивчати як властивості матеріалу так і характеристики та найважливіші параметри електронного компонента, що виготовляється на основі даного матеріалу.

ПРИБЛИЗНИЙ ПЕРЕЛІК ТЕМ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ *

1. Кристалічна структура і види хімічного зв'язку.
2. Електропровідність матеріалів, параметри провідникових матеріалів.
3. Власна і домішкова провідності напівпровідників.

* Проводяться при наявності в навчальних планах, або при організації навчання за вибором студентів.

4. Характеристики напівпровідникових матеріалів.
5. Поляризація діелектриків. Втрати і пробій у діелектриках.
6. Характеристики магнітних матеріалів.
7. Схеми заміщення компонентів та основні параметри.
8. Використання електронних компонентів, експлуатаційні обмеження.

ІНДИВІДУАЛЬНІ СЕМЕСТРОВІ ЗАВДАННЯ

В якості індивідуального завдання планується виконання студентами контрольної розрахунково-графічної роботи (РГР). Завдання на розрахунково-графічну роботу формується за типовою структурою, але з індивідуальним набором питань і тем, в яких обов'язково використовуються теми, що рекомендуються студентам для вивчення під час самостійної роботи над курсом.

Мета домашньої РГР: – набуття студентами досвіду самостійної роботи з навчальною та довідниковою літературою; набуття практичних навиків визначати розрахунковим шляхом параметри виробів і компонентів із матеріалів, використовуючи відомі із літературних джерел теоретичні формули та значення електрофізичних параметрів матеріалів електронної техніки; набуття уміння аналізувати графіки функціональних залежностей параметрів матеріалів та виконувати необхідні графічні побудови конструкцій компонентів; розвиток уміння читати маркування та представляти умовне графічне зображення компонентів в схемах при проектуванні електронної апаратури. Одночасно РГР є дієвим способом проведення контролю за якістю самостійної роботи студентів, оцінки рівня знань про основні властивості і класифікації матеріалів електроніки, про загальні характеристики електронних компонентів та їх застосування.

Вимоги до виконання завдання.

При виконанні завдання РГР вимагається дати однозначну і конкретну відповідь на поставлені запитання: записати формулу для розрахунку, підставити значення заданих в умові параметрів та здійснити розрахунок, вказавши одиницю вимірювання; намалювати графік у відповідних координатах і, при необхідності, відмітити характерні точки чи ділянки графіка. На графіку необхідно позначити найменування осей, розшифрувати усі позначення. Представити малюнок конструкції чи умовного зображення компонента, з урахування вимог відповідних стандартів. Важливо дати стислий коментар до графіка (чи опис малюнку). Формули які не вимагають розрахунку необхідно пояснити – вказати назву та розмірності всіх параметрів і коефіцієнтів.

Оформлення. Робота виконується в рукописній формі. Текст завдання переписується точно, без скорочень. На кожне завдання відповідь необхідно розпочинати з нової сторінки. Виконання завдання дається зразу ж під запитанням у заданій послідовності. Відповіді на кожний підпункт завдання необхідно відмежовувати від наступного горизонтальною лінією. Залишаються поля по 2см (для формату А4 – з обох боків). У кінці роботи представляється список літератури та інших інформаційних джерел.

Роботу представити за 20 днів до початку екзаменаційної сесії.

КОНТРОЛЬНІ РОБОТИ

Планується проведення однієї чи двох контрольних (модульних) робіт. Мета проведення контрольних робіт – з'ясувати ступінь засвоєння студентами навчального матеріалу та стимулювати його систематичне вивчення протягом навчального семестру. В контрольну роботу крім теоретичних питань вводяться питання з розрахунками та графічними побудовами, які дають можливість оцінити уміння оперувати отриманими

знаннями для вирішення практичних завдань. Контрольні роботи охоплюють тематику розділів 1. “Матеріалознавчі аспекти курсу. Будова, загальні властивості та класифікація матеріалів електроніки” і 2. “Види матеріалів електроніки та їх основні властивості і застосування”.

Для заочної форми навчання замість модульних контрольних робіт заплановано проведення однієї домашньої контрольної роботи (ДКР). Завдання на домашню контрольну роботу формується кожному студенту індивідуально із набору тем, які вивчаються студентами, в тому числі і під час самостійної роботи над курсом. Мета ДКР: – проведення контролю за якістю засвоєння навчального матеріалу і за ефективністю самостійної роботи студентів, набуття студентами практичного досвіду з пошуку навчальної та науково-технічної інформації з електроніки.

Вимоги до виконання контрольної роботи

При відповіді на питання контрольної роботи необхідно дати коротку відповідь за темою завдання, представити необхідні графіки, малюнки і формули. При виконанні розрахунків записати формулу для розрахунку, підставити значення заданих в умові параметрів та здійснити розрахунок, вказавши одиницю вимірювання. При представленні графіку чи малюнку необхідно під графіком (малюнком) вказати назву і пояснити існуючі помітки. При побудові графіку позначаються найменування координатних осей, відмічаються значення чи фізична особливість аргументу і функції в характерних точках графіку.

При виконанні ДКР необхідно стисло викласти зміст теми, представити необхідні графіки, малюнки і формули. Теоретичні формули пояснити, вказати розмірності всіх параметрів і коефіцієнтів. Важливо в тексті дати стислий опис малюнків, проаналізувати хід графіків та назвати

фізичні процеси, що були причиною деяких змін та особливостей на графіках, описати механізми протікання цих процесів.

Оформлення. Робота виконується в рукописнім чи друкованім виді. Відповідь на кожний пункт завдання модульних контрольних робіт необхідно розпочинати з нового абзацу. Відповіді на кожний підпункт завдання необхідно відмежовувати від наступного горизонтальною лінією.

При оформлені ДКР відповідь на кожний пункт завдання необхідно розпочинати з нової сторінки. Тексти пунктів завдання переписуються точно, без скорочень. У кінці представляється список літератури та інших використаних інформаційних джерел.

Домашню контрольну роботу представити на перевірку не пізніше ніж за 20 днів до початку екзаменаційної сесії.

Варіанти завдань на ДКР *

№ ва- ріанту	№,№ пунктів із тем, розділів					№,№ "Питань для самоперевірки"				
	P1	T.2.1.	T.2.2.	T.2.3.	T.2.4.	П0	П1	П2	П3	П4
1.	1.2	2.1.3	2.2.2	2.3.3	2.4.10		9	11	2	
2.	1.3	2.1.4	2.2.3	2.3.4	2.4.9		10	10	4	
3.	1.4	2.1.5	2.2.4	2.3.5	2.4.8		8	9	3	
4.	1.5	2.1.6	2.2.5	2.3.6	2.4.7		5	6	8	
5.	1.6	2.1.7	2.2.6	2.3.7	2.4.6		6	7	9	
6.	1.7	2.1.8	2.2.7	2.3.8	2.4.5		3	8	10	
7.	1.8	2.1.9	2.2.8	2.3.9	2.4.4		7	5	5	
8.		2.1.10	2.2.9	2.3.10	2.4.3	7	2	4	3	
9.		2.1.12	2.2.10	2.3.11	2.4.2	6	1	3	2	
10.		2.1.1	2.2.11	2.3.12	2.4.1	5	4	2	9	
11.		2.1.2	2.2.1	2.3.2	2.4.10	4	10	1	11	
12.		2.1.3	2.2.2	2.3.3	2.4.9	3	4	9	10	
13.		2.1.4	2.2.3	2.3.4	2.4.8	2	6	8	8	
14.		2.1.5	2.2.4	2.3.5	2.4.7	1	7	4	9	
15.	1.2	2.1.6	2.2.5	2.3.6			9	6	7	1
16.	1.3	2.1.7	2.2.6	2.3.7			5	5	2	2
17.	1.4	2.1.8	2.2.7	2.3.8			8	7	3	3
18.	1.5	2.1.9	2.2.8	2.3.9			3	3	6	4
19.	1.6	2.1.10	2.2.9	2.3.10			2	2	3	5
20.	1.7	2.1.12	2.2.10	2.3.11			1	1	5	6
21.	1.8	2.1.1	2.2.11	2.3.12			10	11	9	7
22.		2.1.2	2.2.1	2.3.2	2.4.10	7	9	10	7	
23.		2.1.3	2.2.2	2.3.3	2.4.9	6	7	8	9	
24.		2.1.4	2.2.3	2.3.4	2.4.8	5	4	7	6	
25.		2.1.5	2.2.4	2.3.5	2.4.7	4	6	9	8	
26.		2.1.6	2.2.5	2.3.6	2.4.6	3	5	6	10	
27.		2.1.7	2.2.6	2.3.7	2.4.5	2	8	5	4	
28.		2.1.8	2.2.7	2.3.8	2.4.4	1	3	4	5	
29.	1.2	2.1.9	2.2.8	2.3.9			2	2	3	9
30.	1.3	2.1.10	2.2.9	2.3.10			1	3	7	8
31.	1.4	2.1.12	2.2.10	2.3.11			9	1	9	7
32.	1.5	2.1.1	2.2.11	2.3.12			10	4	6	6
33.	1.6	2.1.2	2.2.1	2.3.2			7	10	10	5
34.	1.7	2.1.3	2.2.2	2.3.3			4	5	8	4
35.	1.8	2.1.4	2.2.3	2.3.4			6	1	9	3
36.		2.1.5	2.2.4	2.3.5	2.4.3	7	5	9	4	
37.		2.1.6	2.2.5	2.3.6	2.4.2	6	2	7	11	
38.		2.1.7	2.2.6	2.3.7	2.4.1	5	8	4	6	
39.		2.1.8	2.2.7	2.3.8	2.4.10	4	3	8	7	
40.		2.1.9	2.2.8	2.3.9	2.4.9	3	1	6	3	

*- визначення № пункту: "5" в стовпчику П4 – позначає підпункт П4.5 в параграфі П4.

НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНІ МАТЕРІАЛИ

I. Основна методична література

1. Пасынков В. В., Сорокин В. С. Материалы электронной техники. -СПб.: Лань, 2002. -368с.
2. Рычина Т.А., Электрорадиоэлементы. М.: Советское радио, 1976. -336с.
3. Нестеренко К. Цветовая и кодовая маркировка электронных компонентов. -М.: Солон, 2006. 146с.
4. Петров К.С. Радиоматериалы, радиокомпоненты и электроника. –СПб.: Питер, 2003. -528с.

II. Додаткова література

1. Андреев В.М. и др.. Материалы электронной техники. –М.: Радио и связь, 1992. -350с.
2. Богородицкий Н. П., Пасынков В. В., Тареев Б.М. Электротехнические материалы. – Изд.7-е. –Л.: Энергоатомиздат, 1985. -304с.
3. Медведев А. Печатные платы. Конструкции и материалы. -М.: Техносфера, 2005. -304с.
4. Никулин Н.В., Назаров А.С. Радиоматериалы и радиокомпоненты. -М.: ВШ, 1986. -208с.
5. Рычина Т.А., Зеленский А.В., Устройства функциональной электроники и электрорадио-элементы. М.: Радио и связь, 1989. -352с.
6. Справочник по электротехническим материалам: В 3-х кн./под ред. Корицкого Ю.В. -М.: Энергоатомиздат, 1986–1988. -368с, 464с, -728с.
7. Терещук Р.М. и др.. Полупроводн. приемно-усилительные устройства./ Справочник радиолюбителя/ –Киев: Наукова думка, 1988. -800с.
8. Кадыкова Г.Н., Фонарев Г.С., Хвостикова В.Д. Материалы для производства изделий электронной техники. -М.: ВШ, 1987. -247с.



ДОДАТКИ ДО РОЗДІЛУ 1

1.1. Кристалічна структура твердих тіл

Кристалічні речовини – це тверді тіла, у яких структура розміщення частинок речовини характеризується впорядкованістю й періодичністю. У кристалічній структурі є ближній і дальній порядок розміщення складових частинок (атомів, іонів, молекул).

Будову кристала описують моделлю кристалічної ґратки яка складається з безкінечних рядів плоских мікроскопічних вузлуватих ґрат. *Кристалічна ґратка* – це просторова регулярна структура у вузлах якої на перетині напрямків розміщені однотипні частинки, що формують кристал. Головним структурним елементом кристалічної ґратки є елементарна чарунка (рис. Д1.1), яка несе в собі всі елементи симетрії кристалу.

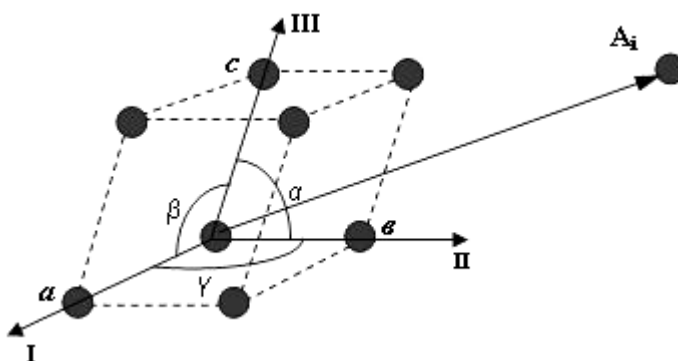


Рис.Д1.1. Елементарна чарунка та її основні параметри:
I, II, III – кристалографічні напрямки; a , b , c , – довжини ребер; α , β , γ , – кути між ребрами; A_i – окремий (довільний) вузол кристалічної ґратки.

Елементарною чарункою кристалічної ґратки називають найменший за об'ємом паралелепіпед у кристалічній ґратці, паралельним переміщенням якого можна створити весь кристал.

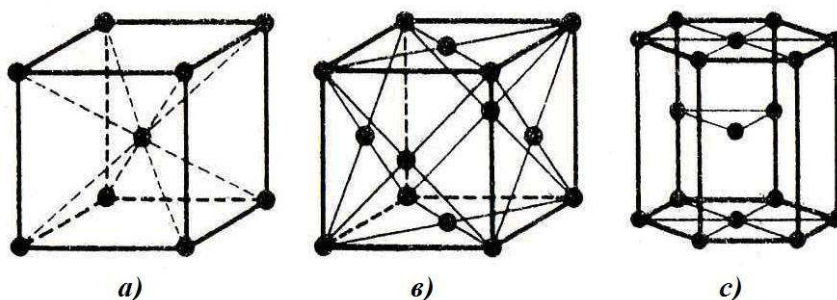


Рис.Д1.2. Зображення елементарних чарунок: а) кубічної об'ємноцентрованої; б) кубічної гранецентрованої; в) гексагональної щільної (щільноупакованої).

Вид ґраток кристалу залежить від геометричних співвідношень між довжинами ребер a , b , c і кутами між ними α , β , γ , а також від типу елементарних чарунок. *Типи елементарних чарунок*: P – примітивна, атоми розміщуються тільки в кутах паралелепіпеда; F – гранецентрована, атоми розміщуються в кутах й у центрі всіх граней; I - об'ємно-центрована, атоми розміщуються в кутах й у центрі паралелепіпеда; C – базоцентрована, атоми розміщуються в кутах й у центрі 2 протилежних граней. Можливо всього 14 основних типів просторових ґраток. Ці ґратки називають ґратками Браве. Усі просторові ґратки ділять на 7 груп (або 7 сингоній чи сукуп) за співвідношенням довжин ребер та величинами кутів між ними.

Для позначення основних кристалографічних площин та кристалографічних напрямків у кристалі використовують спеціальні *індекси Міллера* (рис. Д1.3). Це найменші цілі числа, величини яких обернено пропорційні відрізкам, які відсікає грань на осях координат.

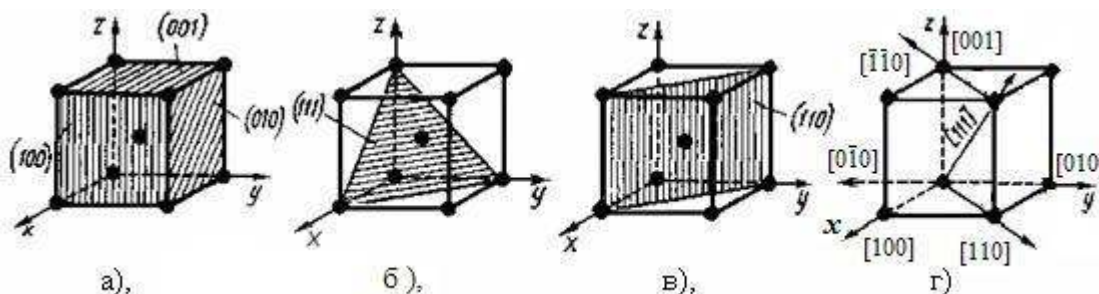


Рис.Д1.3. Приклади позначення основних кристалографічних площин (а, б, в) та кристалографічних напрямків (г) у кубічному кристалі з допомогою індексів Міллера.

Символи грані (кристалографічної площини) записуються як (hkl) , сукупність однотипних площин – $\{hkl\}$. Символи кристалографічних напрямків записуються як $[hkl]$, а сукупність однотипних напрямків позначається як $\langle hkl \rangle$.

1.2. Основи симетрії кристалу

Для опису властивостей твердих тіл у кристалографії введені поняття елементів симетрії. Основні елементи симетрії: вісь, площина, центр симетрії. Складніші елементи симетрії – *елементи другого роду*: інверсійні та дзеркально-поворотні осі.

Опишемо прості елементи симетрії.

1. *Центр симетрії* – така точка всередині багатогранника, через яку з'єднують однакові, але протилежно направлені образи. В цій точці зображення інвертується (як в об'єктиві), тому може використовуватись інша назва – точка інверсії. Позначення – $\bar{1}$ (старе позначення – C).

2. *Площина симетрії* – така площина, що ділить кристал на дві частини, які є дзеркальним відображенням одна одної. Позначення – m (старе позначення – P).

3. *Поворотною віссю симетрії n-ого порядку* називається така уявна пряма, при повному повороті навколо якої багатогранник n раз суміщується сам із собою. Позначення – n (старе – L_n). Існують тільки осі: 1, 2, 3, 4 та 6-ого порядку (5-ого порядку немає).

1.3. Елементи зонної теорії твердого тіла

Зонна теорія твердого тіла описує поведінку валентних електронів, що рухаються в періодичному потенційному полі кристалічної ґратки матеріалу. Енергетична модель електрона у твердому тілі описується смугастим енергетичним спектром – смуги (або зони) дозволених

Додатки

енергетичних рівнів розділені забороненими інтервалами енергій ΔE_3 . Характер енергетичного спектра в провідників, напівпровідників і діелектриків різний. Спрощений вид зонних енергетичних діаграм представлено на рис. Д1.4.

У *металах* валентна зона (ВЗ) незаповнена або перекривається із зоною провідності (ЗП). Кількість рівнів у дозволених зонах залежить від кількості атомів. У кристалі в 1см^3 міститься 10^{22} - 10^{23} атомів. Рівні в зоні відстоять один від одного по енергії на $\Delta E_{\text{МР}} < 10^{-22} \text{eV}$ (eV – електронвольт) і тому навіть слабе поле може надати електронам імпульс, який викличе їхній перехід на найближчі вільні рівні. Із цієї причини метали є добрими провідниками електричного струму.

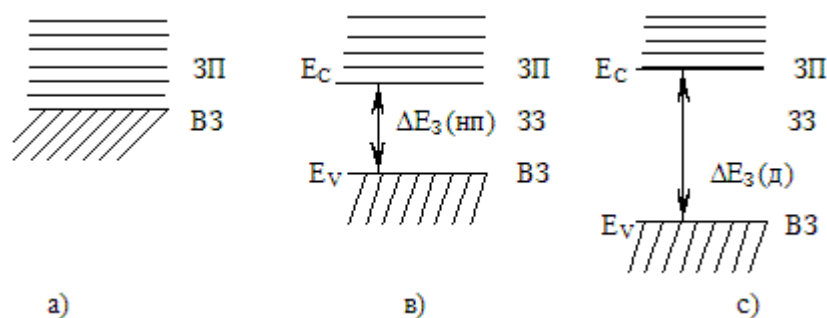


Рис.Д1.4. Спрощений вид зонної діаграми: а) провідника, в) напівпровідника, с) діелектрика. $\Delta E_3 = E_C - E_V$ – ширина забороненої зони: $\Delta E_3(\text{д}) > \Delta E_3(\text{нп})$.

У *неметалах* – напівпровідниках і діелектриках зона провідності й валентна зона відділені забороненою зоною ΔE_3 . До напівпровідників зараховують речовини, у яких заборонена зона $\Delta E_3(\text{нп})$ менше $3,5 \text{eV}$. Речовини з ширшою забороненою зоною $\Delta E_3(\text{д})$ відносять до діелектриків.

У напівпровідниках і діелектриках при температурі абсолютного нуля валентна зона повністю заповнена електронами, а зона провідності пуста. Тому і діелектрик, і напівпровідник при температурі абсолютного нуля не мають електропровідності, тобто поведуться як ідеальні ізолятори. При температурах відмінних від абсолютного нуля, є кінцева ймовірність того,

Додатки

що деякі з електронів за рахунок високоенергетичних теплових флуктуацій переборюють потенційний бар'єр ΔE_z і виявляться в зоні провідності (стануть вільними). Поява вільних електронів спричиняє існування провідності. Одночасно, звільнений електрон залишає після себе одне порожнє місце на енергетичному рівні у валентній зоні – "електронну дірку". Тепер це місце може зайняти який-небудь із електронів валентної зони після одержання незначної енергії. Новоутворене вільне місце може зайняти наступний електрон, і так далі. Рух електронів у валентній зоні зручно описувати за допомогою введення фіктивної частинки - **дірки**, якій приписують позитивний заряд рівний заряду електрона. Дірки переміщуються у сторону протилежну руху електронів.

Процес утворення пари вільних носіїв заряду (електрона і дірки) називається *генерацією*, генерація під впливом температури називається *термогенерацією*. Одночасно з термогенерацією йде зворотний процес – рекомбінація носіїв заряду. *Рекомбінація* проявляється у зникненні пари вільних носіїв заряду при зустрічі вільного електрона і дірки. Ці процеси урівноважують один одного, і в результаті при кожній температурі встановлюються *рівноважні концентрації* вільних електронів n_0 і дірок p_0 .

Модель зонної діаграми дозволяє теоретично описувати електричні властивості всіх твердих тіл з єдиної точки зору. Для участі валентних електронів в електропровідності їх необхідно збудити (перевести із стану зв'язаного з атомом у вільний енергетичний стан). Енергія збудження носіїв заряду до вільного стану дорівнює нулю в металів і постійно зростає в ряді напівпровідників, які умовно переходять при збільшенні цієї енергії в ряд діелектриків. Добре провідні метали й добре ізолюючі діелектрики – це крайні члени ряду, у якому можна розташувати всі тверді тіла.

ДОДАТКИ ДО РОЗДІЛУ 2

2.1. ПРОВІДНИКОВІ МАТЕРІАЛИ

Провідниками можуть бути тверді тіла і рідини. Газ лише при відповідних умовах може іонізуватись та стати провідником змішаного типу. Переважна кількість матеріалів що виконують роль провідників в електроніці є метали та їх сплави. Характеристикою електропровідності є питома електропровідність σ , яка для металу описується формулою:

$$\sigma = en\mu ;$$

тут $e = 0,16 \cdot 10^{-18} \text{ Кл}$ – заряд електрона; μ – рухливість електронів, $\text{м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$;
 n – концентрація вільних електронів у металі, м^{-3} .

2.1.1. Квантова модель валентних електронів у металах

Розташування вільних електронів по рівнях енергії в металі здійснюється не довільно, а за певними правилами, починаючи від нуля. Імовірність розподілу електронів у металі по рівнях енергії в залежності від температури описується функцією Фермі-Дірака (рис. Д2.1.).

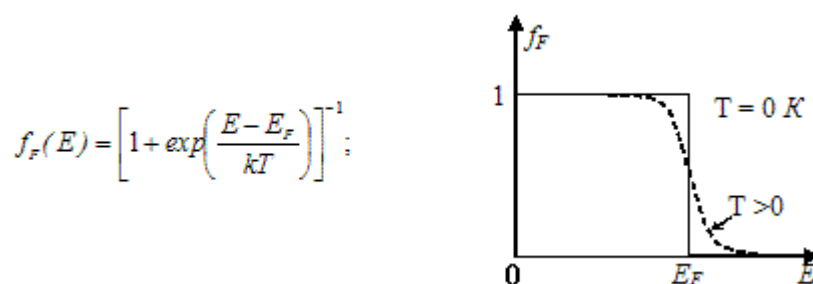


Рис.Д2.1. Функція Фермі-Дірака $f_F(E)$ і її графіки при різних температурах: $T=0 \text{ K}$ і $T>0 \text{ K}$.

Основні твердження квантової теорії металів.

1.) Вільні електрони у металах займають енергетичні рівні, починаючи з найнижчого, відповідно до принципу Паулі – по 2 електрони на 1 рівень. Останній енергетичний рівень E_F , що займають електрони при $T=0 \text{ K}$,

називають рівнем Фермі. Розподіл вільних електронів у металі по енергіях описується формулою Фермі-Дірака. “Електронний газ” у металах є виродженим газом, або “електронною рідиною”.

2.) При збільшенні температури $T > 0$ тільки мала частина електронів у металі Δn_T від загальної кількості вільних електронів N підвищує свою енергію (збуджується) і переходить на рівні вище E_F :

$$\Delta n_T \approx (kT/E_F) \cdot N \ll N.$$

Одержуваний цими збудженими електронами надлишок енергії дуже малий у порівнянні із середньою кінетичною енергією електронів (яка визначається енергією Фермі). Цим і пояснюється мала теплоємність “електронного газу” (для різних металів $E_F = 1,5 \dots 15 \text{ eV}$).

3.) У кінетичних процесах теплопереносу й електропереносу бере участь лише мала частина електронів з енергією близькою до енергії Фермі. Середня енергія й середня “теплова” швидкість електронів v_0 у металі визначаються енергією Фермі й практично не залежать від температури:

$$v_0 \approx v_F = \sqrt{\frac{2E_F}{m^*}} = \frac{h}{m^*} \cdot \left(\frac{3N}{8\pi}\right)^{\frac{1}{3}};$$

де v_F – “швидкість Фермі”, тобто швидкість електрона на рівні Фермі.

m^* – ефективна маса електрона у металі.

4.) Залежність величини питомої електропровідності чистих металів від температури обумовлена зміною рухливості електронів, яка у свою чергу визначається зміною довжини вільного пробігу електрона λ у твердому тілі. Зміна температури не впливає на концентрацію електронів.

Рухливість електронів характеризує здатність вільних електронів набувати дрейфової швидкості у металі під дією електричного поля.

Квантовомеханічний розрахунок показує, що для температур близьких та більших характеристичної для даної речовини температури Θ_D

Додатки

(температури Дебая) довжина вільного пробігу електрона описується простою залежністю – $\lambda = L_M/T$: де L_M – коефіцієнт, що залежить від типу металу, але не залежить від температури.

Підставляючи вираз для довжини вільного пробігу у формулу питомої електропровідності для металів, розраховану із квантової теорії, одержимо рівняння для температурної залежності питомої електропровідності:

$$\sigma(T) = \frac{e^2}{h} \cdot \left(\frac{8\pi}{3}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot N^{\frac{2}{3}} \cdot \lambda = \frac{e^2}{h} \cdot \left(\frac{8\pi}{3}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot N^{\frac{2}{3}} \cdot \frac{L_M}{T} = \frac{C_\sigma}{T}$$

У формулах: C_σ – коефіцієнт, величина якого визначається будовою металу й не залежить від температури; $h = 0,66 \cdot 10^{-33} \text{ Дж}\cdot\text{с}$ – константа Планка; $k = 14 \cdot 10^{-24} \text{ Дж/К}$ – константа Больцмана.

Залежність електричного питомого опору металу від температури в такому разі буде мати лінійний характер –

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{C_\sigma} T = B \cdot T.$$

Лінійна залежність ρ при не дуже низьких температурах добре виконується для більшості металів. На рис. Д2.2 показаний приклад такої залежності для чистої міді. При температурах близьких до абсолютного нуля опір металів різко зменшується,

а у частини металів (олово, свинець, ртуть, ніобій) спостерігається особливий стан – *надпровідність*: опір стає рівним нулю нижче деякої критичної температури $T_{нп}$.

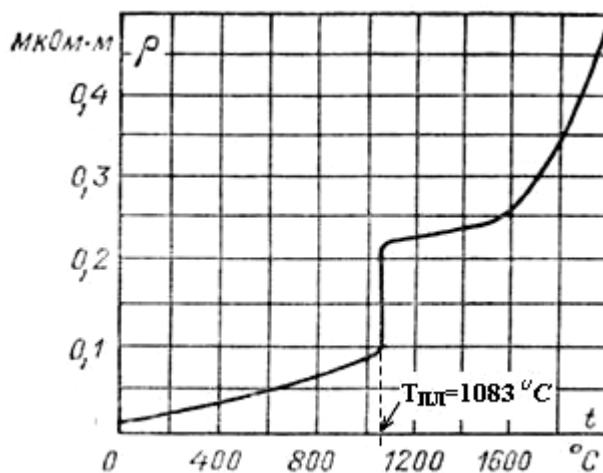


Рис.Д2. 2. Залежність питомого електричного опору міді від температури.

2.1.2. Матеріали для термометрів опору та термопар

Провідникові металеві матеріали використовуються при виготовленні термометрів опору та термопар. Вони необхідні як датчики температури в системах виміру температури, терморегулювання, сигналізації.

Дія *термометру опору* заснована на залежності питомого опору провідникового матеріалу від температури:

$$R(T) = R_0 [1 + \alpha_p (T - T_0)], \quad \text{при } T_0 = 0^\circ\text{C} \quad T = \frac{1}{\alpha_p} \cdot \left(\frac{R}{R_0} - 1 \right) (^\circ\text{C})$$

де α_p – температурний коефіцієнт питомого опору, $(\text{град})^{-1}$; визначається при $T_0 = 0^\circ\text{C}$ та $T = 100^\circ\text{C}$.

При прецизійних вимірюваннях використовуються уточнені формули. Основні матеріали - це дріт або фольга із високоочищеного металу: міді, нікелю, вольфраму, платини. Характеристики ряду термометрів опору представлені в табл. 1. Для запобігання впливу навколишнього середовища чутливий елемент може бути поміщений у газонепроникний корпус, іноді дріт або фольга покривається тонким шаром золота.

Таблиця 1. Основні характеристики термометрів опору

Матеріал	Скорочене позначення	Номінали R_0 при $T_0=0^\circ\text{C}$, Ом	$TK\rho \times 10^{+3}$, $(\text{град})^{-1}$	$T_1 \dots T_2$, $^\circ\text{C}$	Примітки
Cu	ТСМ	10, 50, 100	4,28·	-200...+150	Після 150°C - окисляється
Ni	ТСН	10, 50, 100	6,5·	-50... +250	Після 250°C - нелінійний
W	ТСВ	10, 50, 100	4,6·	-50... +600	мінім. діаметр дроту 20мкм
Pt	ТСП	5, 10, 50, 100, 500, 1000	3.92	-260... +600	до $+1100^\circ\text{C}$ у вакуумі або H_2

Платинові термометри опору є найуніверсальнішими, незважаючи на високу вартість платини, тому що мають постійний температурний коефіцієнт питомого опору $TK\rho = \alpha_p$ в широкому діапазоні температур.

Для виміру температури використовують також явище виникнення термоелектрорушійної сили (ТЕРС) у металах. На стику двох металів

Додатки

виникає контактна різниця потенціалів. Зміна контактної різниці потенціалів при нагріванні контакту призводить до формування ТЕРС.

Термопара – це термоелектричний перетворювач, що складається з двох різних матеріалів, які з'єднані між собою на кінцях в електричні контакти. Матеріалами для металевих термопар служать метали і сплави.

Таблиця 2. Типи металевих термопар, їх склад та основні параметри

Буквенні позначення НСХ ¹	Тип термопари ²	Матеріал термоелектродів		Коефіцієнт термоЕРС, мкВ/°С (в діапазоні температур, °С)	Діапазон робочих температур, °С	Гранична температура короткочасно °С
		позитивного	негативного			
J	ТЖК	Залізо (Fe)	Сплав константен (45%Cu+45%Ni+Mn, Fe)	50-64 (0-800)	від -200 до +750	900
K	ТХА	Сплав хромель (90,5%Ni+9,5%Cr)	Сплав алюмель (94,5%Ni+5,5%Al, Si, Mn, Co)	35-42 (0-1300)	від -200 до +1200	1300
T	ТМК	Мідь (Cu)	Сплав константан (52% Cu + 48%Ni, Mn, Fe)	40-60 (0-400)	від -200 до +350	400
E	ТХКН	Сплав хромель (90,5%Ni+9,5%Cr)	Сплав константан (52%Cu + 48%Ni, Mn, Fe)	59-81 (0-600)	від -200 до+700	900
L	ТХК	Сплав хромель (90,5%Ni+9,5%Cr)	Сплав копель (56%Cu+44%Ni)	64-88 (0-600)	від -200 до +600	800
N	ТНН	Сплав нікросіл (83,49%Ni+13,7%Cr+1,2%Si+0,15%Fe+0,05%С + 0,01% Mg)	Сплав нісіл (94,98%Ni+0,02%Cr+4,2%Si+0,15%Fe+0,05%С + 0,05% Mg)	26-36 (0-1300)	від -270 до +1300	1300
R	ТПП13	Сплав платина-родий (87%Pt +13%Rh)	платина (Pt)	10-14 (600-1600)	від 0 до +1300	1600
B	ТПР	Сплав платина-родий (70% Pt+ 30% Rh)	Сплав платина-родий (94% Pt+6%Rh)	10-14 (1000-1800)	від 600 до+1700	1800
A-1 A-2 A-3	ТВР	Сплав вольфрам-реній (95%W+ 5% Re)	Сплав вольфрам-реній 80%W+20%Re	14-7 (1300-2500)	від 0 до: +2200 (A1) +1800, інші	2500

Примітки: 1) НСХ – номінальні статичні характеристики перетворення за міжнародною класифікацією. 2) Тип термопари визначається за матеріалами, наприклад, ТХК – термопара хромель–копель.

2.2. НАПІВПРОВІДНИКОВІ МАТЕРІАЛИ

2.2.1. Основні напівпровідникові матеріали

Електропровідність напівпровідника обумовлена двома типами носіїв заряду електронами й дірками з концентраціями n і p , та рухливостями μ_n і μ_p , відповідно. У загальному випадку рівняння електропровідності напівпровідника матиме вигляд –

$$\sigma = e(n\mu_n + p\mu_p).$$

Власний напівпровідник. Власними називають напівпровідники у яких електропровідність обумовлена власними носіями заряду. При температурах відмінних від абсолютного нуля у напівпровіднику встановлюються рівноважні концентрації вільних електронів n_0 і дірок p_0 , загалом $n_0 \neq p_0$. У власному напівпровіднику концентрації обох носіїв рівні і позначаються як n_i :

$$n_i = n_0 = p_0, \text{ і тому } \sigma_i = en_i(\mu_n + \mu_p).$$

Чисті напівпровідники, у яких відсутні активні домішки, це напівпровідники з власною електропровідністю. Для порівняння властивостей різних напівпровідникових матеріалів у літературі наводяться дані для чистих власних напівпровідників.

Всі напівпровідникові матеріали можна поділити на два підкласи: елементарні напівпровідники і напівпровідникові сполуки. Найширше використання в електроніці знаходять такі матеріали як германій, кремній та сполуки складу $A^{III}B^V$. Нові напівпровідники з цінними властивостями створюють на основі твердих розчинів Si з Ge, карбїду кремнію а також на основі трьох- та чотирьохкомпонентних твердих розчинів сполук $A^{III}B^V$.

Таблиця 3. Основні характеристики Si, Ge і напівпровідникових сполук складу $A^{III}B^V$.

Формула сполуки	Період кр. ґратки $\times 10$, нм	Ширина забороненої зони ΔE , eV	Рухливість носіїв заряду, μ , $\text{cm}^2/(\text{V}\cdot\text{c})$		Температура плавлення, $^{\circ}\text{C}$
			n	p	
Si	5,43	1.21	1400	500	1421
Ge	5,66	0.78	3900	1900	937
AlP	5,463	2.42	80	30	2000
GaP	5,451	2.25	190	120	1467
InP	5,869	1.28	4600	150	1055
AlAs	5,661	2.16	280	–	1700
GaAs	5,653	1.4	9500	450	1237
InAs	6,058	0.46	33000	460	943
AlSb	6,136	1.6	200	550	1070
GaSb	6,096	0.79	4000	1400	712
InSb	6,479	0.18	78000	750	536

Класичні напівпровідники – германій і кремній кристалізуються в гранецентрованій ґратці кубічної сингонії типу алмазу (рис. Д2.3). Сполуки типу $A^{III}B^V$ називають алмазоподібними напівпровідниками і вони є найближчими електронними аналогами германію та кремнію. Більшість із них кристалізуються в ґратці типу сфалериту, яка подібна до ґратки алмазу, але на відміну від алмазу у цієї ґратки немає центра симетрії.

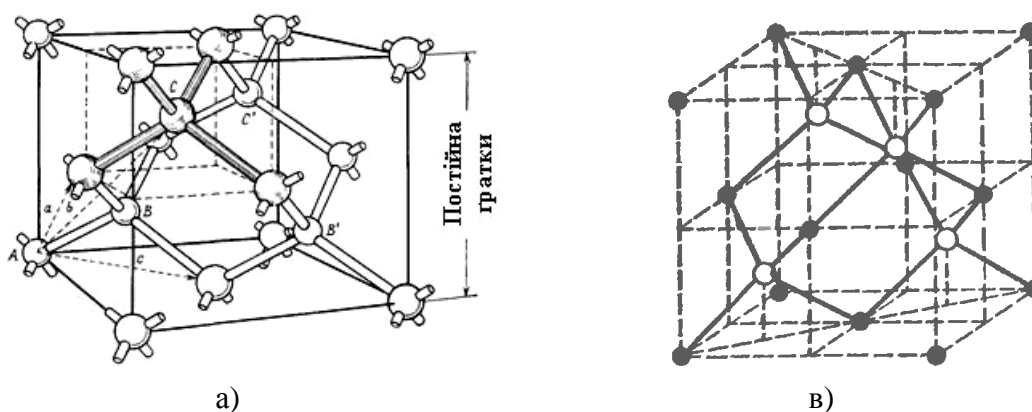


Рис. Д2.3. Кристалічні структури кубічної сингонії: типу алмаза (а) для $C_{\text{алмаза}}$, Si та Ge, і типу сфалериту (б) для сполук A^3B^5 . Чорні кульки це атоми A^3 , білі кульки це атоми B^5 .

Постійна (період) кристалічної ґратки для $C_{\text{алмаза}}$ рівна $3,56 \text{ \AA}$.

2.3. ДІЕЛЕКТРИЧНІ МАТЕРІАЛИ

Діелектрик – це матеріал, основними електричними властивостями якого ϵ : здатність до поляризації та ізоляційна здатність. Застосування діелектрика в електроніці визначається в основному тим, які в ньому ϵ види поляризації та особливостями механізму поляризації.

2.3.1. Класи нагрівостійкості діелектрика

Нагрівостійкість – здатність діелектрика витримувати вплив високої температури протягом часу, порівняного зі строком нормальної експлуатації, без неприпустимого погіршення його властивостей.

Таблиця 4. Класи нагрівостійкості електроізоляційних матеріалів (за СТ СЭВ 782-77).

Клас нагрівостійкості	Y	A	E	B	F	H	C
Максимальна робоча температура, °C	90	105	120	130	155	180	>180

2.3.2. Полімерні діелектричні матеріали

Таблиця 5. Характеристики діелектричних полімерних матеріалів для конденсаторів

Діелектрик	Поліестер (ПЕТФ)	Полікарбонат	Поліпропілен	Полістирол
Діелектрична проникність ϵ	3,3	2,8	2,2	2,5
$\tan\delta$ при 1кГц	0,005	0,001	0,0002	0,0002
$\tan\delta$ при 100 кГц	0,018	0,01	0,0003	0,0003
Максимальна температура, °C	125	125	100	70
Діелектрична абсорбція, %	0,20-0,25	0,12-0,20	0,05-0,10	0,02-0,05
Темпер. коеф. ϵ , ppm/°C	+400	+150	-200	-150
Діелектрична стійкість, В/мм	250	180	350	150

Діелектрична адсорбція вимірюється у процентах по відношенню до первинної напруги після короткого замикання за певний період часу.

2.3.3. Активні діелектричні матеріали

Активними називаються діелектрики, властивостями, яких можна управляти за допомогою зовнішніх енергетичних впливів (температури, електричного поля, світла й ін.). Залежність параметрів діелектрика, як функції від зовнішніх сил використовують для створення функціональних елементів електроніки. До активних діелектриків відносяться сегнетоелектрики, п'єзоелектрики, піроелектрики, електрети й ін..

П'єзоелектрик - це активний діелектрик, здатний поляризуватися під дією механічної сили і деформуватися під дією електричного поля.

Найширше застосування як п'єзоелектричний матеріал має монокристалічний кварц, а також сегнетоелектрична кераміка. У звичайному стані сегнетокераміка не проявляє властивості п'єзоелектрика. Якщо її піддати впливу сильного електричного поля, то поляризація доменів одержить переважну орієнтацію в одному напрямку. Після зняття поля зберігається стійка залишкова поляризація і сегнетоелектрики набувають п'єзоелектричних властивостей.

Таблиця 6. Характеристики промислових видів п'єзоелектричної кераміки.

Марка матеріалу	Діелектрична проникність, ϵ_{33}	Коефіцієнт електромеханічного зв'язку, k_p	П'єзомодулі, не менше $d_{ik} \times 10^{12} \text{ Кл/Н}$,		Точка Кюрі, °С	Функціональна група
			d_{31}	d_{33}		
ТБ-1	1500±300	0,20	45	100	110	1
ЦТС 19	1725±325	0,40	100	200	290	1
ЦТСНВ-1	2250±560	0,45	165	400	240	1
ТБК -3	1200±200	0,20	43	83	95	2
ЦТБС-3	2300±500	0,45	125	320	180	2
ЦТС-23	1075±225	0,43	100	200	275	2
ЦТССт-1	1150±150	0,43	75	180	260	2
НБС 1	1600±300	0,28	67	167	245	2
ТБКС	450±50	0,17	20	50	150	3
ЦТС-35	1000±200	0,38	70	Не норм.	300	3
ЦТС-21	550±150	0,20	27	67	400	4

2.4. ПРОМИСЛОВІ МАГНІТНІ МАТЕРІАЛИ

Технічні магнітні матеріали поділяють на магнітном'які та магнітнотверді матеріали, а також на феромагнетики та ферити.

Магнітном'які матеріали - магнітні матеріали, які намагнічуються до насичення і перемагнічуються в відносно слабких магнітних полях напруженністю $H \sim 0,80 \dots 800$ А/м (0,01...10 ерстед).

Магнітнотверді матеріали - висококоерцитивні магнітні матеріали, які намагнічуються до насичення і перемагнічуються у відносно сильних магнітних полях напруженністю в тисячі і десятки тисяч А/м. Ці матеріали характеризуються високими значеннями коерцитивної сили $H_c > 4000$ А/м, остаточної індукції B_r , магнітної енергії $(BH)_{\max}$.

Таблиця 7. Основні характеристики найважливіших магнітнотвердих матеріалів

Марка матеріалу	Основний склад, % по масі	B_r , Тл	H_c , кА/м	$(BH)_{\max}$, кДж/м ³
У13	1,3С, решта Fe	0,8	4,8	1,7
Е7В6	0,7С, 0,4Сr, 5,7W, 0,4Si, решта Fe	1,04	5,4	2,8
ЕХ9К15М	1С, 9Сr, 15Со, 1,5Мо, решта Fe	0,82	12,7	4,4
12КМВ12 (комол)	12Со, 6Мо, 12W, решта Fe	1,05	20	8,7
52КФ (вікалой)	52Со, 13V, решта Fe	0,6	40	
ЮНД4 (алні)	25Ni, 12Al, 4Cu, решта Fe	0,61	40	7,2
ЮНДК24 (магніко)	14Ni, 8Al, 24Со, 3Cu, Fe	1,23	48	32
ЮНДК35Т5ВА (тіконал)	14Ni, 8Al, 35Со, 3Cu, 5Ti, Nb<1, решта Fe	1,0	119	78
ПлК 76 (платинакс)	76Pt, решта Со	0,79	318	95
Со ₅ Sm	Со ₅ Sm (анізотропний)	0,94	$BH_c=8500$	160
2ФК (Со-ферит)	СоО·Fe ₂ О ₃	0,3	143	16
1БИ (Ва-ферит)	ВаО·6Fe ₂ О ₃ (ізотропний)	0,2	135	7,8
3БА (Ва-ферит)	ВаО·6Fe ₂ О ₃ (анізотропний)	0,37	160	25
3СА (Sr-ферит)	SrО·6Fe ₂ О ₃ (анізотропний)	0,36	255	23

Магнітнотом'які матеріали ділять на низькочастотні і високочастотні. Низькочастотними матеріалами є сталі і сплави на основі заліза – пермаллої, альсіфери (феромагнетики). До високочастотних матеріалів відносяться ферити та магнітодіелектрики.

Таблиця 8. Основні характеристики найважливіших магнітнотом'яких матеріалів

Марка матеріалу	Основний склад, % по масі	B_s , Тл	T_k , °C	$\rho \cdot 10^8$, Ом·м	$\mu_a \times 10^{-3}$	$\mu_{max} \cdot 10^{-3}$	H_c , А/м	Втрати на гістерезис ($B = 0,5$ Тл), Джс/м ³
Армко-залізо	100Fe	2,15	768	12	0,5	10	0,8	500
Э 330	3,5Si, решта Fe	2,0	690	50	1,5	30	0,2	35
80НМ, супер-пермалой	80Ni, 5Mo, решта Fe	0,8	400	55	100	1000	0,005	1
79НМ, мопермалой	79Ni, 4Mo, решта Fe	0,8	450	50	40	200	0,02	7
50Н	50Ni, решта Fe	1,5	500	45	5	40	0,1	15
50НП ¹	50Ni, решта Fe	1,5	500	45	$\frac{B_r}{B_m} = 0,95$	100	0,1	60, при $B = 1,5$ Тл
49КФ–ВИ, пермендюр	49Co, 2V, ост. Fe	2,35	980	40	1	50	0,5	500
40НМКПЛ, пермінвар лінійний ²	40Ni, 25Co, 4Mo, ост. Fe	1,4	600	63	2	2,0+ (<15%)	–	–
16 ЮХ	16Al, 2Cr, решта Fe	0,7	340	160	10	80	0,03	10
10 СЮ	9,5Si; 5,5Al; решта Fe	1,0	550	80	35	100	0,02	3
Ni–Zn ферит	(Ni, Zn)O · Fe ₂ O ₃	0,2–0,3	500–150	10 ¹¹	0,05–0,5	–	1,5–0,5	–
Mn–Zn ферит	(Mn, Zn)O · Fe ₂ O ₃	0,35–0,4	170	10 ⁷	1	2,5	0,6	–

Примітки: T_k – температура Кюрі; ρ – електричний опір; H_c – коерцитивна сила;

μ_a і μ_{max} – початкова і максимальна магнітні проникності матеріалів;

B_s , B_r , B_m – індукції насичення, залишкова та максимальна в полі 600–800 А/м.

¹Кристалічно текстурований. ²Після обробки в поперечному магнітному полі.

ДОДАТКИ ДО РОЗДІЛУ 3

3.1. Номінальні ряди пасивних компонентів

Компоненти випускають зі номінальними значеннями характеристик, що відповідають нормалізованому ряду гармонічної послідовності чисел на декаду. Спеціальні числові ряди E_{xxx} нормалізованих величин A_N визначаються державними чи міжнародними стандартами, або технічними умовами підприємств-виробників. E_{192} і E_{24} складають базову систему величин. Наприклад, у ряду E_{24} на декаду припадає 24 значення величин.

Таблиця 9. Стандартний ряд величин A_N в декаді за публікацією МЕК-63.

E_{48}	E_{24}	E_{12}	E_6	E_3	E_{48}	E_{24}	E_{12}	E_6	E_3	E_{48}	E_{24}	E_{12}	E_6	E_3
100	10	10	10	10	215	22	22	22	22	464	47	47	47	47
105					226					487				
110	11				237	24				511	51			
115					249					536				
121	12	12			261					562	56	56		
127					274	27	27			590				
133	13				287					619	62			
140					301	30				649				
147	15	15	15		316					681	68	68	68	
154					332	33	33	33		715				
162	16				348					750	75			
169					365	36				787				
178	18	18			383	39	39			825	82	82		
187					402					866				
196	20				422	43				909	91			
205					442					953				

3.2. Резистори: маркування, частотна залежність опору

Маркування резисторів завжди включає значення номінального опору та допуск і буває повне або кодоване. Кодоване маркування може здійснюватись кольоровими кільцями, цифрами або символами. Символьне позначення номінального опору складається з трьох або

Додатки

чотирьох знаків: – букви та двох або трьох цифр. Буква позначає множник. Букви R (чи E), K, M, G (чи Г), T, відповідно позначають: 1, 10^3 , 10^6 , 10^9 , 10^{12} . Допуск позначають буквою після номінального опору.

Приклади кодованого позначення резистора: 0,1 Ом $\pm 20\%$ - R1M (E1M); 220 Ом $\pm 10\%$ - 220RK або K22K; 154 МОм $\pm 2\%$ - 154MG або G154G; 160 Ом $\pm 5\%$ - 160RJ (160EJ) чи K16J; 33,2 МОм $\pm 1\%$ - 33M2F.

Для опису частотної залежності резистора можемо використати схему заміщення (рис. Д3.1). У схемі є декілька індуктивностей і ємність. В колах змінного струму вони створюють реактивний опір, який додається до власного, а тому має бути врахований на підвищених частотах (рис. Д3.2).

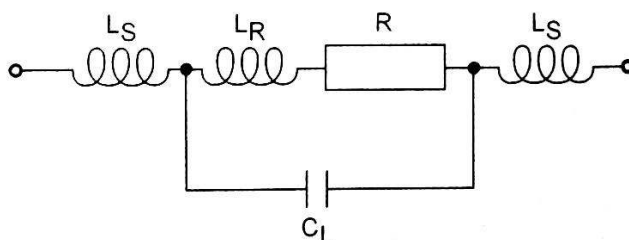


Рис.Д3.1. Схема заміщення резисторів на високих частотах. R- опір, C_L - власна ємність, L_R – індуктивність в елементі резистора і L_S – індуктивність виводів.

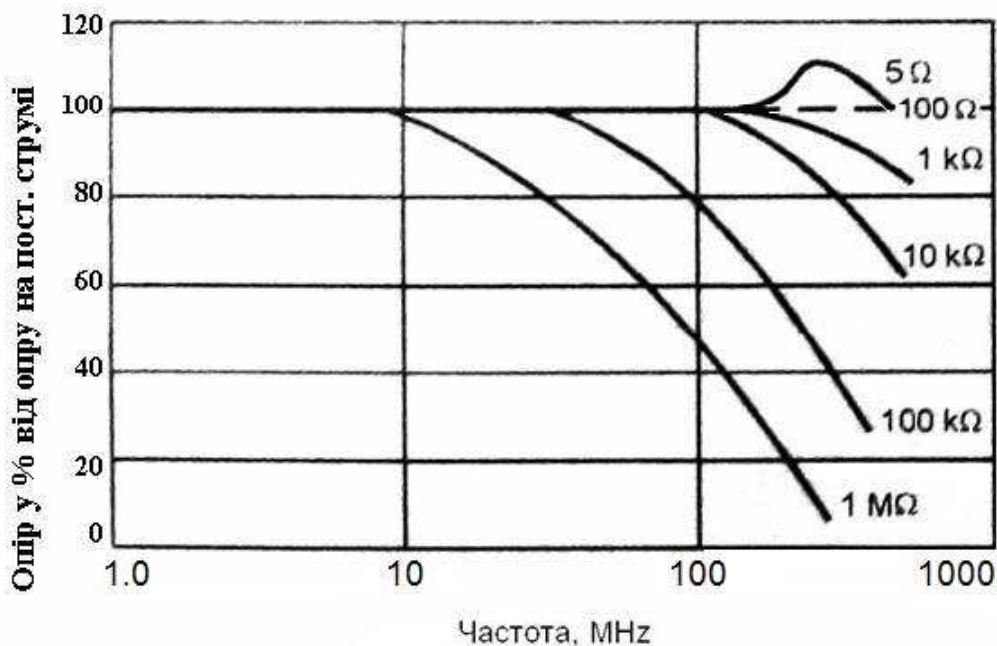


Рис.Д3.2. Частотна залежність опору металоплівкових резисторів.

Резистори мають певну залежність від частоти, яка визначається конструкцією і величиною опору. Значну індуктивність і ємність мають, дротяні резистори, тому їх використання обмежене резонансною частотою.

3.3. Маркування керамічних конденсаторів

Характеристики конденсаторів визначаються в основному матеріалом діелектрика. Діелектриками у керамічних конденсаторах є суміші різних керамічних матеріалів. Конденсаторні матеріали ділять на три групи.

Клас №1 – матеріали з низькою діелектричною проникністю. Вони стабільні при зміні температури, частоти, напруги та часу, мають низькі втрати потужності на високих частотах, є найширше застосовуваними. Конденсатори з одним шаром виготовляються з ємністю від 0,47 пФ до 560 пФ, монолітні конденсатори мають ємність від 10пФ до 0,1 мкФ.

У діелектриків 1-го класу майже лінійний температурний коефіцієнт. Такі конденсатори мають позначку Р чи N відповідно (або П чи М), якщо коефіцієнт позитивний чи негативний.

Таблиця 10. Позначення і маркування конденсаторів 1-го класу.

Діелектрик	Темп. коеф., ppm/°C	Кольоровий код	EIA* позначення
P100 (П100)	+100 ±30	червоний/фіолетовий	M7G
NP0 (МП100)	0 ±30	чорний	C0G
N075 (M75)	-75 ±30	червоний	U1G
N150 (M150)	-150 ±30	оранжевий	P2G
N220 (M220)	-220 ±30	жовтий	R2G
N330 (M330)	-330 ±60	зелений	S2H
N470 (M470)	-470 ±60	голубий	T2H
N750 (M750)	-750 ±120	фіолетовий	U2J
N1500 (M1500)	-1500 ±250	оранжевий/оранжевий	P3K

*EIA – асоціація електронної промисловості США.

Клас №2 – матеріали з великою діелектричною проникністю. Вони мають нелінійну залежність від температури, частоти та напруги. Клас 2 має невеликі втрати при середніх частотах. Одношарові конденсатори

Додатки

випускаються зі значеннями ємності від 100 пФ до 0,1 мкФ, а багатошарові – від 10 пФ до 10мкФ. Клас 2 діелектриків позначається буквою *K* і фігурою, яка вказує на діелектричну константу, або відповідно до ЕІА позначення, трьома символами: перші два вказують на температурний діапазон, остання на зміну ємності зі зміною температури.

Таблиця 11. Позначення конденсаторів 2-го класу.

1 символ коду	Нижня межа зміни температури	2 символ коду	Верхня межа зміни температури	3 символ коду	Зміна ємності
Z	+10 °C	2	+45 °C	A	±1.0%
Y	-30 °C	4	+65 °C	B	±1.5%
X	-55 °C	5	+85 °C	C	±2.2%
		6	+105 °C	D	±3.3%
		7	+125 °C	E	±4.7%
		8	+150 °C	F	±7.5%
		9	+200 °C	P	±10%
				R	±15%
				S	±22%
				T	+22 ...-33%
				U	+22 ...-56%
				V	+22 ...-82%

Наприклад: Z5U означає, що при зміні температури від +10 до +85°C значення ємності буде знаходитись між $C_{\text{ном}} +22\%$ і $C_{\text{ном}} -56\%$.

Клас №3 базується на широкозонних напівпровідникових матеріалах, що мають гранульовану внутрішню структуру, яка забезпечує високе значення питомої ємності. Матеріал має такі ж самі чи дещо гірші властивості, ніж матеріали класу 2, крім того у них менша максимальна робоча напруга (16–50 В). Завдяки надзвичайно високій діелектричній проникності, отримують невеликі та дешеві конденсатори з великою ємністю (від 1000 пФ до 1 Ф).

3.4. Кодове маркування малогабаритних індуктивностей.

Звичайно для індуктивностей кодується номінальне значення індуктивності і допуск. Номінальне значення кодується цифрами, а допуск - літерами. Застосовується два види кодування номінального значення.

Варіант А. Перші дві цифри вказують числове значення у мікрогенрі (мкГн), остання - кількість нулів. Наступна за цифрами літера вказує на допуск (рис. Д3.3). Наприклад, код 101J означає 100 мкГн \pm 5%. У випадках, коли остання літера не вказується - допуск \pm 20%. Існують винятки, коли індуктивність менша 10 мкГн. У таких випадках роль десяткової коми виконує літера R, а для індуктивностей менших 1 мкГн – літера N (тобто у наногенрі – нГн).

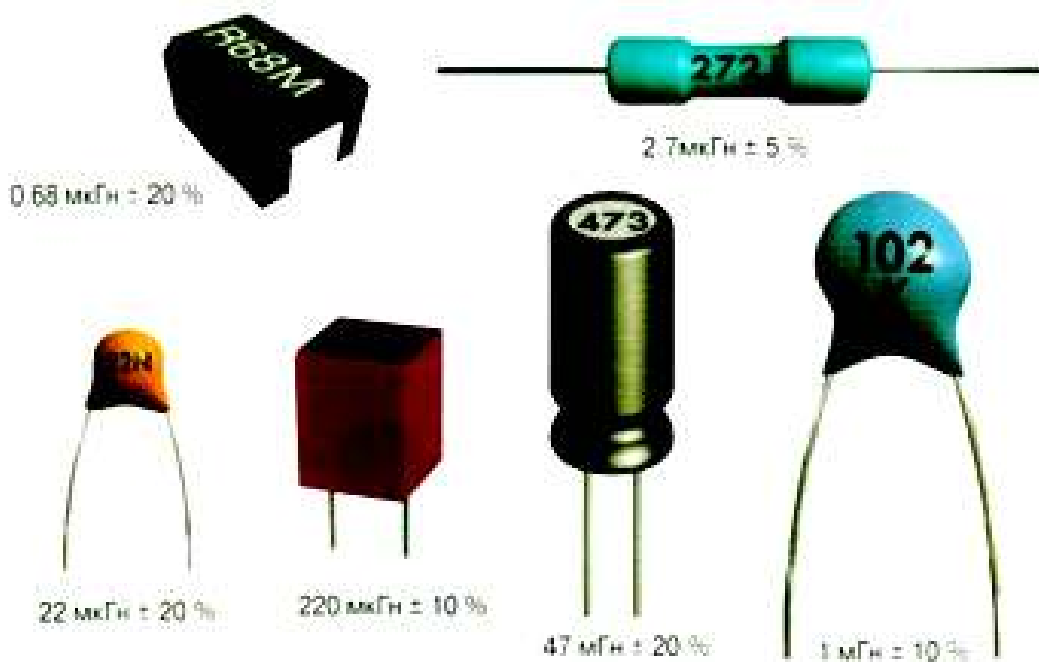


Рис. Д3.3. Маркування індуктивності за варіантом "А".

Варіант Б. Індуктивності маркуються (рис. Д3.4) безпосередньо у мікрогенрі (мкГн). У таких випадках маркування 680K буде означати не 68 мкГн \pm 10%, як у варіанті А, а 680 мкГн \pm 10%.



Рис.Д3.4. Маркування індуктивності за варіантом "Б" (безпосереднє).

Основні допуски установлені для індуктивностей:

$$D = \pm 0.3 \text{ нГн}, J = \pm 5\%, K = \pm 10\%, M = \pm 20\%.$$

Таблиця 12. Приклади позначень індуктивності та їх розшифрування

2N2D - 2.2 нГн ± 0.3 нГн	1R0K - 1.2 мкГн ± 10%	470K - 47 мкГн ± 10%
22N - 22 нГн	2R2K - 2.2 мкГн ± 10%	680K - 68 мкГн ± 10%
R10M - 0.10 мкГн ± 20%	3R3K - 3.3 мкГн ± 10%	101K - 100 мкГн ± 10%
R15M - 0.15 мкГн ± 20%	4R7K - 4.7 мкГн ± 10%	151K - 150 мкГн ± 10%
R22M - 0.22 мкГн ± 20%	6R8K - 6.8 мкГн ± 10%	221K - 220 мкГн ± 10%
R33M - 0.33 мкГн ± 20%	100K - 10 мкГн ± 10%	331K - 330 мкГн ± 10%
R47M - 0.47 мкГн ± 20%	150K - 15 мкГн ± 10%	471J - 470 мкГн ± 5%
R68M - 0.68 мкГн ± 20%	220K - 22 мкГн ± 10%	681J - 680 мкГн ± 5%
1R0K - 1.2 мкГн ± 10%	330K - 33 мкГн ± 10%	102 - 1000 мкГн

3.5. Промислові припаї для електроніки.

Для монтажу електронних компонентів в наш час використовують м'які припаї в основному двох типів – олов'яно-свинцеві та безсвинцеві.

Олов'яно-свинцеві припаї. Олов'яно-свинцеві припаї мають високі технологічні та експлуатаційні властивості, звичні в користуванні.

Припай Sn60Pb40 універсальний високорентабельний паяльний матеріал для електроніки і електротехніки з високим змочуванням.

Додатки

Sn63Pb37. Класичний олов'яно-свинцевий сплав для електроніки, що містить 63% олова та 37% свинцю. Придатний для ручного та автоматизованого монтажу, характеризується підвищеною міцністю пайки.

Sn60Pb38Cu2. Олов'яно-свинцевий сплав 60/38 з добавкою (присадкою) 2% міді, утворює паяні з'єднання на міді підвищеної надійності. Дуже прийнятний для експлуатації при мінусових температурах, для пайки мідних не залужених контактів та дротів.

Sn60Pb38Ag2. Олов'яно-свинцевий сплав 60/38 із присадкою 2% срібла. Високочистий припай призначений для пайки посріблених, срібломістких та позолочених контактів, для пайки срібла на кераміці.

Припаї безсвинцеві. Головний недолік олов'яно-свинцевих припаїв – наявність токсичного свинцю. Із 1 січня 2006 року всі електротехнічні і електронні вироби, що поставляються в Європу не повинні мати свинцю та деяких інших шкідливих речовин. Тому існує необхідність застосовувати для пайки сплави що не містять свинець. Нижче представлені основні види сучасних промислових безсвинцевих припаїв.

Припай Sn96,5Ag3,5. Сплав, що має найвищу міцність серед безсвинцевих композицій, нетоксичний, використовується в електроніці й у медицині, а також при пайці виробів, що контактують з їжею. Придатний для пайки сталі.

Sn96,5Ag3Cu0,5. Найуніверсальніший безсвинцевий припай з відносно низькою температурою плавлення та поліпшеними характеристиками змочуванням.

Sn99Cu1. Сплав для ручної пайки та паяльних ванн (але має вищу температуру плавлення ніж Sn96,5Ag3Cu0,5), є економічною альтернативою традиційним олов'яно-свинцевим припаям.

* - * - *

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	- 3 -
ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ	- 4 -
ЧАСТИНА І. МАТЕРІАЛИ ЕЛЕКТРОНІКИ.....	- 6 -
РОЗДІЛ 1. МАТЕРІАЛОЗНАВЧІ АСПЕКТИ КУРСУ. БУДОВА, ЗАГАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ МАТЕРІАЛІВ ЕЛЕКТРОНІКИ.....	- 6 -
Методичні вказівки	- 6 -
П0. Питання для самоперевірки	- 7 -
РОЗДІЛ 2. ВИДИ МАТЕРІАЛІВ ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ЇХ ОСНОВНІ ВЛАСТИВОСТІ І ЗАСТОСУВАННЯ.	- 8 -
Тема 2.1. ПРОВІДНИКОВІ МАТЕРІАЛИ.....	- 8 -
Методичні вказівки	- 9 -
П1. Питання для самоперевірки	- 9 -
Тема 2.2. НАПІВПРОВІДНИКОВІ МАТЕРІАЛИ	- 10 -
Методичні вказівки	- 11 -
П2. Питання для самоперевірки	- 12 -
Тема 2.3. ДІЕЛЕКТРИЧНІ МАТЕРІАЛИ	- 12 -
Методичні вказівки	- 13 -
П3. Питання для самоперевірки	- 14 -
Тема 2.4. МАГНІТНІ МАТЕРІАЛИ	- 15 -
Методичні вказівки	- 16 -
П4. Питання для самоперевірки	- 17 -
ЧАСТИНА 2. ЕЛЕКТРОННІ КОМПОНЕНТИ	- 18 -
РОЗДІЛ 3. ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ	- 18 -
Тема 3.1. ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОНЕНТІВ	- 18 -
Тема 3.2. РЕЗИСТОРИ	- 18 -
Тема 3.3. КОНДЕНСАТОРИ	- 19 -
Тема 3.4. ІНДУКТИВНІ КОМПОНЕНТИ	- 19 -
Тема 3.5. ФУНКЦІОНАЛЬНІ КОМПОНЕНТИ	- 20 -
Тема 3.6. КОМУТАЦІЙНІ ДРУКОВАНІ ПЛАТИ ТА МАТЕРІАЛИ ДЛЯ НИХ	- 20 -
Методичні вказівки	- 20 -
П5. Питання для самоперевірки до другої частини.....	- 21 -
ПРИБЛИЗНИЙ ПЕРЕЛІК ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ	- 23 -
ПРИБЛИЗНИЙ ПЕРЕЛІК ТЕМ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ	- 23 -

ІНДИВІДУАЛЬНІ СЕМЕСТРОВІ ЗАВДАННЯ	- 24 -
Вимоги до виконання завдання.	- 25 -
КОНТРОЛЬНІ РОБОТИ	- 25 -
Вимоги до виконання контрольної роботи.....	- 26 -
Варіанти завдань на ДКР	- 28 -
НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНІ МАТЕРІАЛИ.....	- 29 -
I. Основна методична література	- 29 -
II. Додаткова література.....	- 29 -
ДОДАТКИ	- 30 -
ДОДАТКИ ДО РОЗДІЛУ 1	- 30 -
1.1. Кристалічна структура твердих тіл	- 30 -
1.2. Основи симетрії кристалу.....	- 32 -
1.3. Елементи зонної теорії твердого тіла	- 32 -
ДОДАТКИ ДО РОЗДІЛУ 2	- 35 -
2.1. ПРОВІДНИКОВІ МАТЕРІАЛИ.....	- 35 -
2.1.1. Квантова модель валентних електронів у металах	- 35 -
2.1.2. Матеріали для термометрів опору та термопар	- 38 -
2.2. НАПІВПРОВІДНИКОВІ МАТЕРІАЛИ	- 40 -
2.2.1. Основні напівпровідникові матеріали	- 40 -
2.3. ДІЕЛЕКТРИЧНІ МАТЕРІАЛИ	- 42 -
2.3.1. Класи нагрівостійкості діелектрика	- 42 -
2.3.2. Полімерні діелектричні матеріали.....	- 42 -
2.3.3. Активні діелектричні матеріали	- 43 -
2.4. ПРОМИСЛОВІ МАГНІТНІ МАТЕРІАЛИ	- 44 -
ДОДАТКИ ДО РОЗДІЛУ 3	- 46 -
3.1. Номінальні ряди пасивних компонентів	- 46 -
3.2. Резистори: маркування, частотна залежність опору	- 46 -
3.4. Кодове маркування малогабаритних індуктивностей.	- 50 -
3.5. Промислові припаї для електроніки.	- 51 -

* - * - *