

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

Циклова комісія природничих дисциплін

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

навчальної дисципліни «Фізика»
обов'язкових компонент
освітньої програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

Технічне обслуговування та ремонт повітряних суден і авіадвигунів

За темою - Електричний струм у напівпровідниках

Харків 2022

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 30.08.2022 № 8

СХВАЛЕНО

Методичною радою
Кременчуцького льотного коледжу
ХНУВС

Протокол від 22.08.2022 № 1

ПОГОДЖЕНО

Секцією Науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від 29.08.2022 № 8

Розглянуто на засіданні циклової комісії природничих дисциплін, протокол
від 10.08.2022 № 1

Розробник: викладач циклової комісії природничих дисциплін, спеціаліст
першої категорії, Москалик В.М.

Рецензенти:

1. Завідувач відділення фахової підготовки навчального відділу КЛК ХНУВС,
к.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист Владов С.І.
2. Доцент кафедри автомобілів і тракторів Кременчуцького національного
університету імені Михайла Остроградського, к.т.н., доцент Черниш А.А.

Тема Електричний струм у напівпровідниках

План лекції:

1. Напівпровідники. Власні та домішкові напівпровідники.
2. Електронно-дірковий перехід.
3. Діоди, транзистори.

Література:

Основна література:

- 1.1 Дмитрієва В. Ф. Фізика : навчальний посібник / В. Ф. Дмитрієва. – К. : Техніка, 2008. – 608 с.
- 1.2 Трофімова Т.І. Курс фізики ; 11-е изд., стер. : навчальний посібник для вищів / Т.І. Трофімова. –К.: Видавничий центр «Академія», 2006. – 560 с.
- 1.3.Технічна термодинаміка (Термодинаміка, теплопередача, теорія авіаційних двигунів) навчальний посібник: Л.В. Михненко. Міністерство цивільної авіації

1. Напівпровідники. Власні та домішкові напівпровідники

Власна провідність

У реальному твердому тілі, якщо вільних рівнів і зовнішнього збуджуючого поля немає, електрони можуть вільно переміщатися всередині кристалічних ґрат тіла, але такий хаотичний рух не спричинює утворення електричного струму. Це докорінно відрізняється від моделі зв'язаних електронів у діелектриках, за допомогою якої класична теорія пояснює відсутність у них провідності.

Коли електрон під зовнішньою дією переходить з валентної в зону провідності, то у валентній зоні залишається вакантне місце або дірка.

Перехід частини електронів з валентної зони в зону провідності спричинює появу вільних рівнів у першій з них. Це дає можливість електронам валентної зони, які залишились, також брати участь в електричному струмі, переміщуючись по найближчих вільних рівнях у межах самої зони. Для зручності міркувань говорять не про рух електронів валентної зони, а про рух валентних місць (дірок).

Рух дірок еквівалентний руху позитивно заряджених частинок з зарядом, який дорівнює заряду електрона. У хімічно чистому напівпровіднику кількість електронів, які перейшли в зону провідності, дорівнює кількості дірок, що утворилися у валентній зоні. І ті й інші беруть участь в електричному струмі. Проте рухливість електронів більша, ніж дірок, тому дірковий струм не дорівнює половині загального струму.

Оскільки кількість електронів дорівнює кількості дірок, то питома провідність напівпровідника складається з електронної і діркової провідностей. Носії електричного заряду, які утворюються при переході електронів з валентної зони в зону провідності, називаються власними носіями, а провідність, зумовлена ними, - власною провідністю.

Домішкова провідність

Електропровідність напівпровідників визначається концентрацією електронів і дірок та їх рухливістю, а введення атомів домішок спричинює створення додаткових носіїв струму і підвищує електропровідність речовини. Тому більшість напівпровідників - домішкові.

Донорні домішки

Якщо в кристалічні ґрати германію ввести атоми миш'яку, сурми або інших речовин, атоми яких мають п'ять валентних електронів, то концентрація вільних електронів у напівпровіднику різко зростає. Пояснюється це тим, що чотири валентні атоми домішки беруть участь у створенні хімічного зв'язку з атомами германію. П'ятий валентний електрон буде слабо пов'язаний з атомом домішки, тому він легко залишає атом і стає «вільним».

Отже, в цьому разі домішкові атоми віддають електрони, тобто є донорами електронів, що й пояснює їх назву. Провідність, зумовлена рухом вільних електронів, називається електронною, або провідністю *n*-типу.

Акцепторні домішки

Якщо в кристалічні ґрати германію ввести атоми індію, галію або інших тривалентних елементів, то характер провідності напівпровідника змінюється. Це пояснюється тим, що для утворення двохелектронного зв'язку з одним із сусідніх атомів германію в атома індію не вистачає одного електрона, тобто між цими двома атомами не заповнюється валентний зв'язок, або дірка. Кількість дірок у кристалі дорівнює кількості атомів домішки. Провідність, зумовлену рухом дірок, називають дірковою, або провідністю *p*-типу.

2. Електронно-дірковий перехід

Межа стикання двох напівпровідників, один з яких має електронну, а інший - діркову провідність, називають електронно-дірковим переходом, або *p-n*-переходом. Ці переходи мають велике практичне значення, оскільки вони є основою роботи багатьох напівпровідникових приладів. Практично *p-n*-перехід здійснюється не механічним контактом двох різних напівпровідників, а внесенням донорних і акцепторних домішок у різні частини чистого напівпровідника.

Нехай два напівпровідники з різним типом електропровідності (*p* і *n*) спікаються один з одним. При цьому розпочнеться перехід (дифузія)

електронів з n -області, де їх багато, в p -область, де їх мало, і переміщення дірок у зворотному напрямі. Оскільки дірки й електрони - це заряджені частинки, то внаслідок їх дифузії виникне контактна різниця потенціалів між p - і n -областями (рис. 1, а). Електрони і дірки на межі поділу двох напівпровідників створюють запірний шар, поле якого перешкоджає дальшому дифузному переміщенню носіїв заряду.

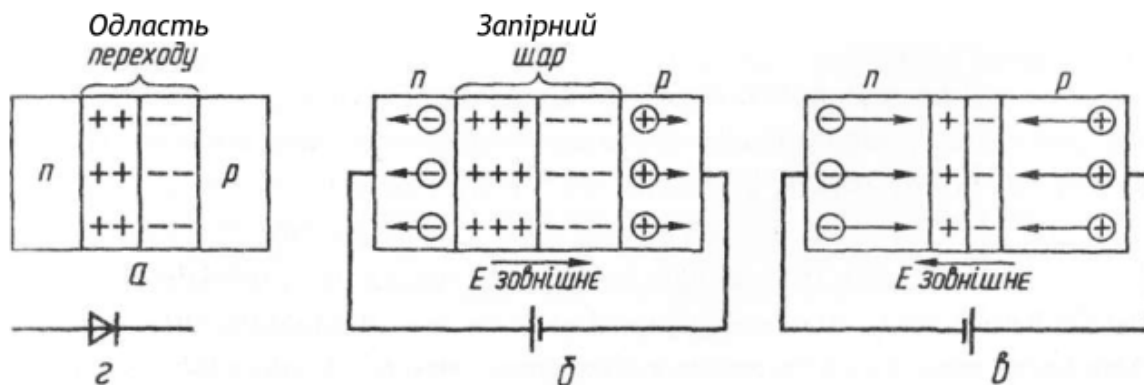


Рис. 1

Прикладемо зовнішнє електричне поле до системи двох напівпровідників (як показано на рис. 1, б). У цьому разі напруженість зовнішнього поля збігається за напрямом з полем запірного шару. При такому напрямі зовнішнього електричного поля електрони, рухаючись проти поля, а дірки, рухаючись уздовж поля, виходять з області поблизу контакту. При цьому запірний шар розширюється і ширина його залежить від прикладеної різниці потенціалів. У запірному шарі концентрація вільних електронів і дірок мала і він поводить себе як діелектрик. Очевидно, що в цьому разі електричний струм через p - n -перехід практично не проходить. Напрямок зовнішнього поля, яке розширює запірний шар, називають запірним (зворотним).

Якщо змінюється напрям зовнішнього електричного поля (рис. 1, в), то змінюється напрям руху електронів і дірок на протилежні. В області p - n -переходу вони рекомбінують. При цьому ширина запірного шару і його опір зменшуються. Отже, в цьому напрямі електричний струм проходить крізь p - n -перехід від p -напівпровідника до n -напівпровідника. Такий напрям струму називають пропускним, або прямим.

Отже,

p - n -перехід має односторонню провідність.

3. Діоди, транзистори

Діод

Напівпровідник з одним p - n -переходом називають напівпровідниковим діодом.

Напівпровідниковий діод, як і двохелектродна електронна лампа (діод), має однобічну провідність. Напівпровідникові діоди мають значно простішу конструкцію і надійніші в роботі, ніж електронна лампа. Тепер вони майже зовсім витіснили скляні діоди в радіотехніці. Напівпровідниковий діод використовують для випрямлення змінного струму; він може працювати як детектор.

Якщо в напівпровідниковий матеріал внесено в 20-30 разів домішок більше, ніж звичайно, то дістають особливий клас діодів, які називають тунельними. Такі діоди застосовують як підсилювачі і генератори високої частоти.

Транзистор. Тріод

Для створення напівпровідникового тріода - транзистора - треба мати три складові частини напівпровідникового домішкового матеріалу: дві n - і одну p -типу або навпаки. Для вмикання транзистора в коло використовують дві батареї. Одну вмикають плюсом на p -частину тріода, яку, називають емітером (Е), а мінусом - на середню n -частину, яку називають базою (Б). Іншу батарею вмикають плюсом на базу, а мінусом - на другу p -частину, яку називають колектором (К). При такому вмиканні дірки емітера йдуть у базу. Наступний рух дірок з бази в колектор здійснюється за рахунок іншої батареї.

Із збільшенням напруги першої батареї зростає кількість дірок емітера, які через базу досягають колектора. Отже, напруга між базою і емітером керує струмом колектора, як і напруга між сіткою і катодом у ламповому тріоді керує анодним струмом.

Застосування напівпровідників здійснило революцію в радіотехніці. Радіодеталі стали такими мініатюрними, що виникла можливість виготовляти друкарським способом так звані мікромодулі. Мікромодулі - це тонкі пластинки, на яких надруковані діоди, тріоди, опори, індукційні котушки та інші елементи радіосхем. Використовуючи різні комбінації мікромодулів, можна, виготовляти радіопристрої з наперед заданими параметрами.

Напівпровідники набувають дедалі більшого значення, збагачуючи фізику, хімію, біологію та інші науки. Використання напівпровідників ще не закінчено, і сьогодні не можна передбачити розвиток фізики напівпровідників.