

Дідовець В'ячеслав Євгенович

Група ДК-09-19- КП
Група ДК-09-19- КФ
Група ДК-09-19- КМ

Заняття № 4.14 (II курс)

Тема: ЕЛЕКТРОПРОВІДНІСТЬ НАПІВПРОВІДНИКІВ. ВЛАСНА ТА ДОМШКОВА ПРОВІДНОСТІ НАПІВПРОВІДНИКІВ. НАПІВПРОВІДНИКОВИЙ ДІОД. НАПІВПРОВІДНИКОВІ ПРИЛАДИ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ.

Засвоєння нових знань.

Напівпровідники – це речовини, провідність яких має проміжне значення між діелектриками і провідниками. Найпоширенішими з них є: *Ge - Германій, Si - Кремній, Se – Селен, Tl – Талій, PbS – сульфід Свинцю, CdS – сульфід Кадмію та ін.*

Напівпровідники – речовини, питомий опір яких дуже швидко зменшується з підвищенням температури. Також на електропровідність напівпровідників впливає світло, сильне електромагнітне поле, потоки швидких частинок і т. д.

Взаємодія пари сусідніх атомів у напівпровідниках здійснюється за допомогою *ковалентного зв'язку*. В утворенні цього зв'язку від кожного атома бере участь по одному валентному електрону, які відщеплюються від атомів. Тобто, ці електрони належать двом атомам одночасно (обертаються навколо ядер обох атомів).

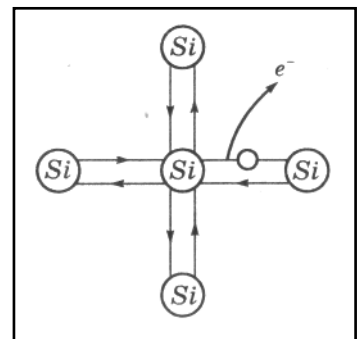
Кожний атом утворює чотири зв'язки із сусідніми, й будь-який валентний електрон може рухатися по одному з них. Дійшовши до сусіднього атома, він може перейти до наступного, а потім далі вздовж усього кристала. *Валентні електрони належать усьому кристалу.*

Ковалентні зв'язки напівпровідника достатньо міцні й за низьких температур не розриваються. Тому напівпровідники за низької температури не проводять електричний струм.

Отже, основною відмінністю металів від напівпровідників є те, що в металах практично всі валентні електрони є вільними, а в напівпровідниках – зв'язаними. Енергія їх зв'язку з атомами невелика, тому за рахунок додаткової енергії вони здатні переходити у вільний стан.

Власна провідність напівпровідників.

У разі нагрівання напівпровідника кінетична енергія частинок підвищується й відбувається розрив окремих зв'язків. Деякі електрони стають вільними, подібно до електронів у металі. На місці відсутнього зв'язку утворюється “*дірка*”, яка еквівалентна позитивному заряду.

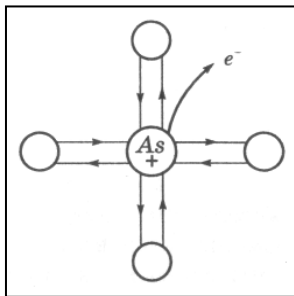


В електричному полі електрони переміщуються між вузлами решіток, утворюючи електричний струм. Дірки переміщуються в тому напрямі, куди рухалися б позитивні заряди, тобто: електрони – до *аноду* (позитивного контакту), а дірки – до *катоду* (негативного контакту).

Власна провідність напівпровідників – електронно-діркова.

Домішкова провідність напівпровідників.

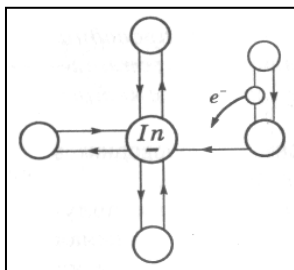
При наявності в напівпровідниках невеликого процента домішків крім власної провідності виникає *домішкова*.



➤ *Донорні домішки.*

При додаванні до чотирьохвалентного напівпровідникового кристала (германію або кремнію) домішки, наприклад *миш'яку* (As), збільшується його електронна провідність. Атом миш'яку (As), має п'ять валентних електронів, 4 з яких утворюють ковалентні зв'язки з атомами основного напівпровідника, а 5-й стає вільним. Домішковий атом кремнію (Si) стає додатнім іоном. Такі домішки мають назву *донорних* (що дають e^-) а напівпровідник - *n-типу* (negative - від'ємний). В напівпровідниках n-типу електрони є основними носіями заряду, а дірки – неосновними.

Провідність – електронно-діркова з переважанням електронної.



➤ *Акцепторні домішки.*

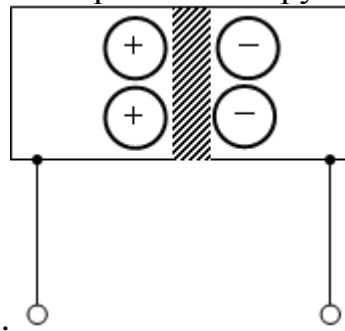
Домішка – трьохвалентний *індій* (In).

Атом індію (In) має три валентних електрона, тому він захоплює у атома основного чотирьохвалентного напівпровідника валентний електрон для того, щоб закрити “пустий” зв'язок. Атом In стає від'ємним іоном. Такі домішки мають назву *акцепторних* (що відбирають e^-) а напівпровідник *p-типу* (positive - додатній). В напівпровідниках *p-типу* електрони є неосновними носіями заряду, а дірки – основними.

Провідність – електронно-діркова з переважанням діркової.

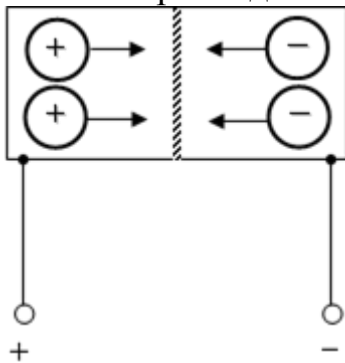
Якщо з'єднати напівпровідник *p-типу* з напівпровідником *n-типу*, то утвориться напівпровідник *p-n-типу* (який має *p-шар* та *n-шар*) у місці їх з'єднання створиться електронно-дірковий перехід (*p-n-перехід*), у якому електрони *n-шару* заповнюють дірки *p-шару*. Тому в місці з'єднання утвориться шар речовини, що не має вільних зарядів (тобто з великим опором), який називають *замикаючим шаром*. Товщина замикаючого шару складає кілька мікрометрів, його розширенню перешкоджає електричне поле нерухомих іонів домішок. Отже, у нейтральному стані, коли потенціали на кінцях напівпровідника

дорівнюють нулю, упорядкований і спрямований рух зарядів у ньому відсутній,



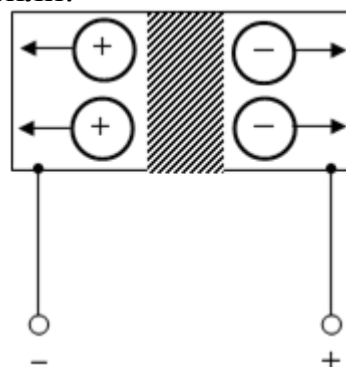
тобто сила струму дорівнює нулю.

Якщо від джерела електрорушійної сили до *p*-шару отриманого напівпровідника прикласти позитивний потенціал ($+\varphi$), а до *n*-шару – негативний потенціал ($-\varphi$), то електрони під дією прикладеної напруги з *n*-шару почнуть проникати в *p*-шар, заповнюючи дірки. Нестача електронів у *n*-шарі та дірок у *p*-шарі компенсується за рахунок джерела електрорушійної сили: електрони від джерела надходять у *n*-шар, а з *p*-шару електрони надходять до джерела, утворюючи в цьому шарі дірки. Цей упорядкований і спрямований рух вільних зарядів у напівпровіднику (прямий електричний струм) відбувається доти, поки до нього прикладена пряма напруга від джерела електрорушійної сили:



«+» – до *p*-шару, а «-» – до *n*-шару.

Якщо від джерела електрорушійної сили до *p*-шару отриманого напівпровідника прикласти негативний потенціал ($-\varphi$), а до *n*-шару – позитивний потенціал ($+\varphi$), то електрони під дією прикладеної напруги з *n*-шару почнуть надходити до джерела, з якого будуть проникати в *p*-шар, заповнюючи дірки (тобто відбудеться *розширення замикаючого шару*). Цей процес припиниться, коли товщина замикаючого шару стане пропорційною прикладеній напрузі джерела. У напівпровіднику буде відбуватися незначний упорядкований і спрямований рух зарядів (зворотний електричний струм) доти, поки до нього прикладена зворотна напруга від джерела електрорушійної сили:



«-» – до *p*-шару, а «+» – до *n*-шару.

Отже, характерними властивостями напівпровідників є:

– напівпровідник при прямій напрузі проводить електричний струм в одному напрямку (є провідником), а при зворотній напрузі практично не проводить електричний струм (є діелектриком);

– при збільшенні температури питомий опір напівпровідників знижується (провідників, навпаки, зростає).

Застосування напівпровідників

Властивості напівпровідникових приладів вигідно відрізняють їх від інших електронних приладів. До цих властивостей відносяться малі габарити, вага і споживання потужності, велика механічна міцність, відсутність споживання потужності на нагрівання. Сучасні напівпровідникові прилади здатні працювати до 100 000 годин.

Серед фізичних властивостей, які мають напівпровідники, найбільше застосування дістали властивості контактів (*p-n-переходу*) між напівпровідниками з різними типами провідності.

Пристрій з *p-n-переходом* називається *напівпровідниковий діод*.

В залежності від конструктивного виконання *p-n-переходу* розрізняють точкові діоди, які мають незначну потужність, та площинні діоди, які мають значну потужність. На принципових електричних схемах літерно-графічне позначення напівпровідникового діода наступне:

В електричних схемах діод позначається: 

Залежність сили струму в діоді від прикладеної до нього напруги, вольт-амперна характеристика (ВАХ), показана на рис.1. Вона ж є узагальненою ВАХ *p-n-переходу*. Вольт-амперна характеристика напівпровідникового діода має три характерних ділянки:

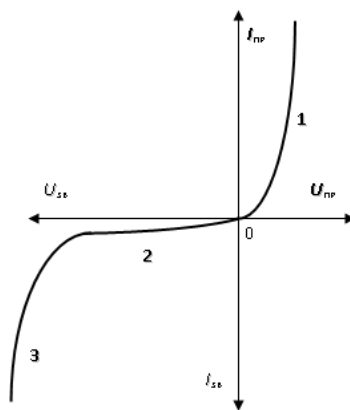


Рис.1.

1 – робота при прямій напрузі (протікає прямий струм: *p-n-перехід* відкритий, і сила струму обмежена тільки опором матеріалу напівпровідника);

2 – робота при зворотній напрузі (протікає зворотний струм: *p-n-перехід* закритий, і струм незначної сили проходить за рахунок незначної кількості не основних носіїв вільних зарядів у матеріалі напівпровідника (електронів у *p-шарі* та дірок у *n-шарі*);

3 – робота при напрузі пробою (зворотний струм різко збільшується: відбувається різке («лавиноподібне») збільшення неосновних носіїв вільних

зарядів у матеріалі напівпровідника (електронів у *p-шарі* та дірок у *n-шарі*) при збільшенні зворотної напруги).

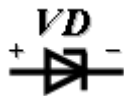
Для оцінки та вибору напівпровідникових діодів указують наступні технічні параметри:

- прямий струм: максимально припустимий (середній за період) струм, сила якого визначається нагріванням діода;
- пряма напруга: пряма імпульсна максимальна напруга для припустимого імпульсу прямого струму;
- потужність, що розсіюється діодом: максимальна потужність, яку здатний розсіювати діод;
- зворотна напруга: зворотна імпульсна максимальна напруга, яка дорівнює 70 % від напруги пробою;
- зворотний струм: сила струму, який протікає при зворотній напрузі.

Напівпровідникові діоди випускають кремнієві і германієві: кремнієві діоди здатні працювати при температурі від 120°C до 150°C при прямій напрузі близько 1 В, германієві діоди здатні працювати при температурі від 55°C до 85°C при прямій напрузі близько 0,3 В. Для отримання більшої зворотної напруги діоди з'єднують послідовно, а для отримання більшого прямого струму діоди з'єднують паралельно.

Якщо номінальний режим роботи діода знаходиться на зворотній частині його вольт-амперної характеристики (рис.1, ділянка 2), то діод називають стабілітроном.

На принципових електричних схемах літерно-графічне позначення



стабілітрона наступне:

Стабілітрон призначений для стабілізації напруги, тобто підтримки напруги на одному рівні. Стабілітрон включають паралельно навантаженню (рис.2). При збільшенні вхідної напруги зростає струм у колі $RI - VD$, а напруга на навантаженні $U_{НАВ}$ (яка дорівнює напрузі стабілізації) практично не змінюється за рахунок спадання надлишкової напруги на резисторі RI .

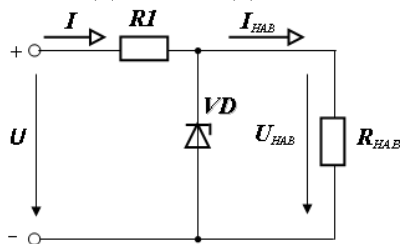


Рис.2

Діоди, розраховані на сильні струми, використовують для випрямлення змінних струмів, що живлять електродвигуни трамваїв, електровозів тощо. Напівпровідникові випрямлячі мають високу надійність і значний термін служби. Проте вони можуть працювати лише в обмеженому інтервалі температур (від -70 до 125 °C).

Силкові напівпровідникові діоди працюють зі струмами в сотні Ампер.

Транзистор – напівпровідниковий триод (пристрій з *p-n-p-переходом*)

Транзистор (біполярний транзистор) – це напівпровідниковий пристрій, який призначений для підсилення електричного сигналу (струму, напруги), та має два *p-шари* і один *n-шар* (рис.3а), або один *p-шар* і два *n-шари* (рис.3б), з 2-ма електронно-дірковими переходами (*p-n-переходами*) і 3-ма виводами. Шари, що знаходяться по краях транзистора, називають *колектором* і *емітером*, а середній шар називають *базою*.

Транзистор винайдений у 1948 році американськими вченими *Д. Бардіном*, *У. Браттейном* і *У. Шоклі*, за що їм була присуджена Нобелівська премія.

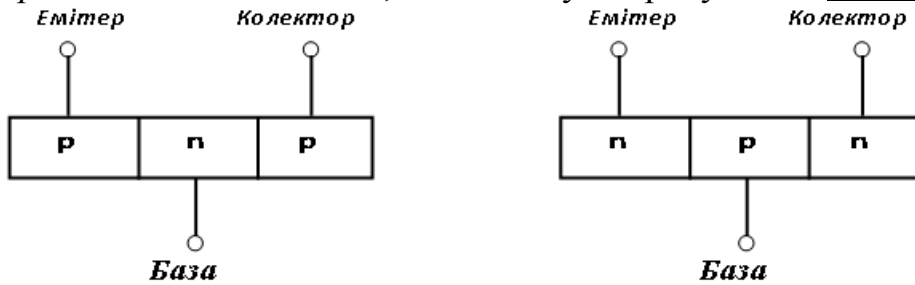
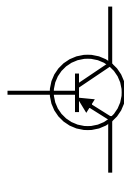


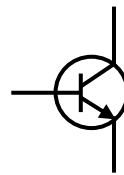
Рис. 3: а

б

На принципових електричних схемах літерно-графічне позначення транзистора наступне:



Транзистор p-n-p-типу



Транзистор n-p-n-типу

На кожний *p-n-перехід* транзистора може бути подана як пряма, так і зворотна напруги. Відповідно розрізняють чотири режими роботи транзистора: *режим відсічення (режим закритого транзистора)* – на обидва переходи подається зворотна напруга; *режим насичення (режим відкритого транзистора)* – на обидва переходи подається пряма напруга; *активний режим* – на емітерний перехід подається пряма напруга, на колекторний перехід подається зворотна напруга; *інверсний режим* – на емітерний перехід подається зворотна напруга, на колекторний перехід подається пряма напруга.

Розглянемо *активний* режим роботи транзистора. Між одним шаром (емітером – «*випромінювачем*» вільних зарядів) та іншим шаром (базою – «*передавачем*» вільних зарядів) подають пряму напругу, тобто на один *p-n-перехід*. Між іншим шаром (колектором – «*одержувачем*» електронів) і базою подають зворотну напругу, тобто на другий *p-n-перехід*. В результаті один *p-n-перехід* буде відкритий, а другий *p-n-перехід* – закритий. Отже, у колі «*емітер – база*» буде протікати прямий електричний струм, а в колі «*база – колектор*» – зворотний електричний струм:

$$I_E = I_K + I_B,$$

де I_E – сила струму, який протікає в емітері, *A*;
 I_K – сила струму, який протікає в колекторі, *A*;
 I_B – сила струму, який протікає в базі, *A*.

Таким чином, транзистор можна розглядати як пристрій, що розподіляє електричний струм (який протікає через один електрод – *емітер*), між двома іншими електродами (*базою і колектором*) у визначеному співвідношенні. Ця властивість транзистора використовується для підсилення електричного сигналу. Відношення зміни сили струму, який протікає в колекторі (ΔI_K), до зміни сили струму, який протікає в базі (ΔI_B), при незмінній напрузі між емітером і колектором називають коефіцієнтом передачі базового струму:

$$\beta = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B}.$$

Для транзисторів різних типів $\beta = 15 - 500$, тобто сила електричного струму, який протікає в *колекторі*, набагато більше сили струму, який протікає в *базі*.

Отже, якщо струм у базі, буде вхідним сигналом, а струм у колекторі – вихідним сигналом, то транзистор буде працювати в *режимі підсилення вхідного електричного сигналу*. У цьому випадку загальною точкою вхідного і вихідного електричного кола є *емітер*, а схему називають «*із загальним емітером*» (рис.4). Схему «*із загальною базою*» використовують для підсилення напруги (рис.5).

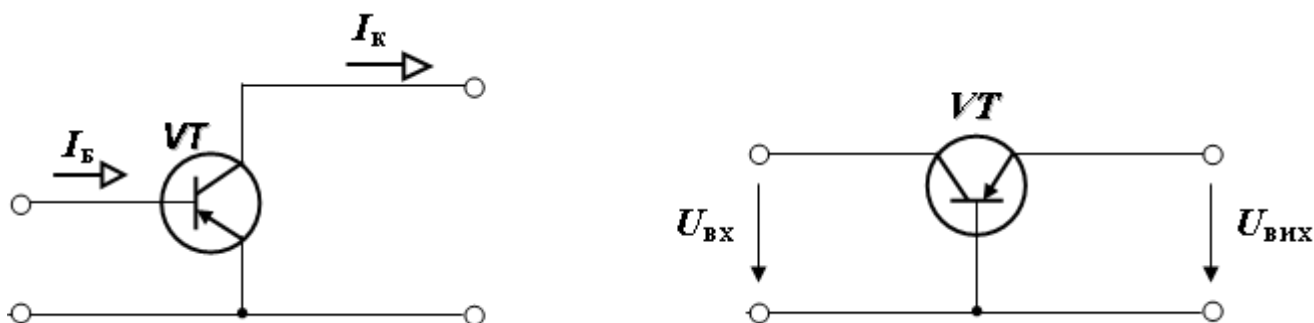


Рис.4

Рис.5

