

МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ

Харківський національний університет внутрішніх справ

Факультет № 4

Кафедра інформаційних технологій

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

з дисципліни «Електроніка»

***за темою* «Напівпровідникові прилади. Діоди.»**

Галузь знань: 12 «Інформаційні технології»

Спеціальність: 125 «Кібербезпека»

Ступень вищої освіти: бакалавр

**Харків
2017рік**

Текст лекції призначений для використання при вивченні курсу „Електроніка” в рамках підготовки бакалаврів за спеціальністю 125 «Кібербезпека» в Харківському національному університеті внутрішніх справ.

СХВАЛЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ

_____ Протокол № _____
(дата, місяць, рік)

ЗАТВЕРДЖЕНО

Вченою радою факультету № 4
Харківського національного університету
внутрішніх справ

_____ Протокол № _____
(дата, місяць, рік)

_____ (підпис) _____ (П.І.Б.)

ПОГОДЖЕНО

Секцією науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін

_____ Протокол № _____
(дата, місяць, рік)

_____ (підпис) _____ (П.І.Б.)

ЗАТВЕРДЖЕНО

На засіданні кафедри інформаційних
технологій факультету № 4 ХНУВС

_____ Протокол № _____
(дата, місяць, рік)

_____ (підпис) _____ (П.І.Б.)

Рецензент:

Носов В.В., професор кафедри кібербезпеки факультету № 4 Харківського національного університету внутрішніх справ к.т.н., доцент.

Розробник: Тулупов Володимир Володимирович – м. Харків: Харківський національний університет внутрішніх справ, 2017 р.

Тулупов В.В., 2017
© Харківський національний університет внутрішніх справ

План лекції

1. Напівпровідники.
2. Принцип дії p - n переходу.
3. Напівпровідникові діоди.
4. Маркування напівпровідникових діодів.

Література:

Основна:

1. Бريدلي К., Карр Дж. Карманный справочник инженера электронной техники/ Пер.с англ. - М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2002.- 480 с.
2. Булычев А.Л., Лямин П.М., Тулинов Е.С. Электронные приборы.- Мн.: Выс.шк., 1999.-415с.

Додаткова:

1. Жеребцов И.П. Основы электроники. – Л.: Энергоатомиздат, 1990. - 352 с.
2. Кучумов А.И. Электроника и схемотехника. – М.: Гелиос АРВ, 2002. - 304 с.
3. Лачин В.И., Савёлов Н.С. Электроника. – Ростов н/Д: изд-во «Феникс», 2002. - 576 с.

Текст лекції

Напівпровідники – це речовини, питомий опір яких залежить від впливу температури, електричного поля, зміни освітлення, наявності домішок. Звичайно до напівпровідників відносять кристалічні матеріали у яких для вивільнення електронів необхідна енергія 0,5-2 еВ. В радіоелектроніці у якості напівпровідників найчастіше використовуються кремній, германій у яких атоми поєднані ковалентними зв'язками. Фізична природа цих зв'язків дозволяє пояснити властивості напівпровідників. Так при нагріванні напівпровідників їх атоми іонізуються, електрони, що звільняються, не можуть бути захвачено сусідніми атомами, так як їх валентні зв'язки насичені. Вільні електрони під впливом зовнішнього електричного поля можуть переміщатися у кристалі, таким чином створюючи електричний струм провідності. Втрата електрону з зовнішньої оболонки одного з атомів у кристалічній решітці призводить до створення позитивного іону. Цей іон може нейтралізуватися захвати електрон. Далі, у результаті переходу електронів від атому до позитивних іонів, здійснюється процес хаотичного переміщення у кристалі місця з недостаючи електроном – «дірки». Зовні цей процес хаотичного переміщення приймається як переміщення позитивного заряду. При поміщенні кристалу у електричне поле виникає підпорядковане переміщення «дірок» - дірковий струм провідності. У ідеальному кристалі струм створююся рівною кількістю електронів і дірок. На провідність напівпровідників великий вплив оказують домішки. Домішки бувають донорні та акцепторні. Донорні домішки – це коли домішки мають більшу валентність. При

внесенні донорних домішок створюються надлишкові електрони. У напівпровіднику провідність стає електронною, а напівпровідники називаються напівпровідниками n - типу. Наприклад, для кремнію з валентністю n -4, донорною домішкою є миш'як з валентністю n -5. Атом домішки легко іонізується, добавляє електрон до електронів власної провідності. Акцепторна домішка – це домішка з меншою валентністю. При додатку такої домішки у напівпровіднику створюється надлишкова кількість дірок. Провідність буде дірковою а напівпровідник p - типу. Наприклад, для кремнію акцепторною є домішка індію (бору) з валентністю n -3. Атом домішки іонізується, приймає електрон від сусіднього атому основного напівпровідника, що призводить до створення надлишкової дірки.

Найбільше використання знайшли напівпровідники одна частина з яких має акцепторну, а інша донорну домішку. Перехід між двома областями напівпровідника з різними типами електропровідності називається електронно-дірковим, або p - n переходом. Електронно-дірковий перехід має властивість несиметричної провідності (нелінійний опір). Робота більшості напівпровідникових приладів основана на використанні властивостей p - n переходу.

Принцип дії p - n переходу.

Розглянемо принцип дії p - n переходу (рис. 5.1). Після створення у напівпровіднику p та n областей починається дифузійний струм основних носіїв заряду (дірок з p області до n області та електронів у зворотному напрямку). Дифузія електронів і дірок оставляє після себе позитивно та негативно заряджені іони домішу, які жорстко закріплені у кристалічній решітці та переміщатися не можуть. У n області дифузійні дірки рекомбінують з електронами, різко зменшують концентрацію електронів та додатково утворюють не скомпенсовані позитивні іони. Аналогічним чином у p області електрони, що дифузують, рекомбінують з дірками, різко зменшується концентрація основних носіїв заряду та додатково утворюються не скомпенсовані негативні іони. Таким чином поблизу кордону p та n областей концентрація основних носіїв заряду різко зменшується. Виникає збіднений носіями слай.

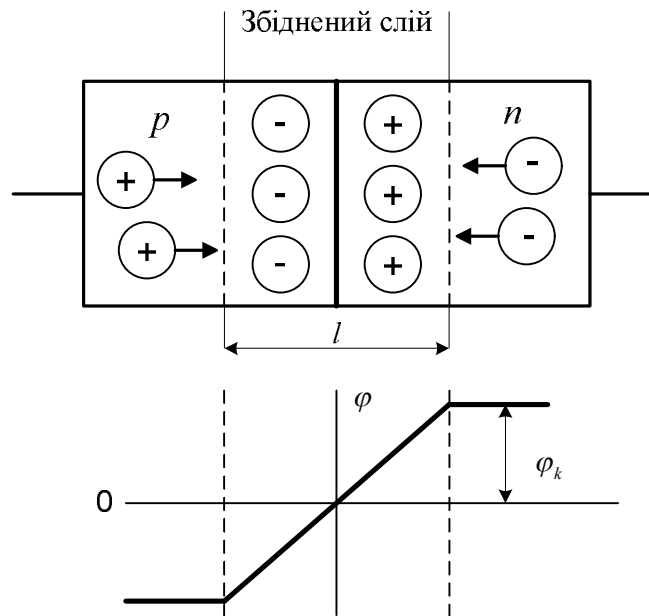


Рис. 5.1. Принцип дії p - n переходу.

Ширина цього слою для кремнієвого переходу дорівнює $l=0,3$ мкм. Появлення протилежно заряджених іонів призводить до виникненню електричного поля в переході. Це поле направлене таким чином, що гальмує процеси дифузії. Електричному полю відповідає контактна різниця потенціалів φ_k , яка визначає висоту потенційного бар'єру. При температурі $T=27^0$ С для кремнію $\varphi_k \approx 0,8$ В.

Електричне поле в переході визиває появу дрейфового струму – струму неосновних носіїв зарядів в переході. Дірки з n області переносяться електричним полем в p область, а електрони з p області зтягуються до n області. Величина дрейфового струму мала, оскільки мала концентрація неосновних носіїв заряду. В сталому режимі дифузійний струм дорівнює дрейфовому.

Висоту потенційного бар'єру можливо змінювати, для цього до p - n переходу прикладається зовнішня напруга. Якщо зовнішня напруга створює у p - n переході поле яке співпадає з внутрішнім, то висота потенційного бар'єру збільшується, при зворотній полярності прикладеної напруги висота потенційного бар'єру зменшується. Якщо прикладена напруга дорівнює контактній різниці потенціалів, то потенційний бар'єр зовсім виникає.

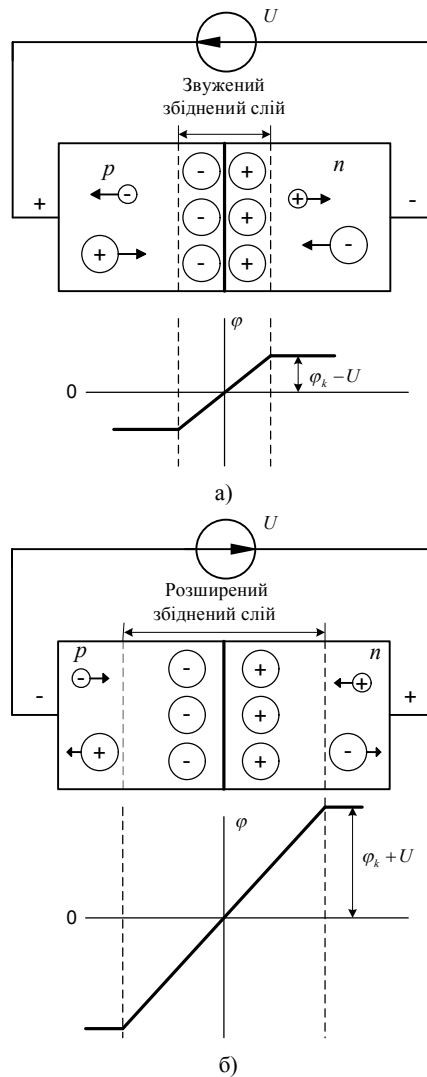


Рис. 5.2. Схеми підключення джерел постійної напруги p - n переходу.

Розглянемо p - n перехід при підключенні його до джерела постійної напруги (рис.5.2(а)).

Електричне поле, яке створює джерело, накладається на внутрішнє поле p - n переходу створене іонами домішки. Результуючий струм у переході зменшується. Виникає додаткова дифузія основних носіїв заряду. Дифузійний струм через перехід становиться більш дрейфового. Чим більша напруга прикладається, тим більший дифузійний струм через перехід. Напруга, при якій струм через p - n перехід швидко збільшується називається прямою (відкриваючою) напругою. Струм, що при цьому виникає, називається прямим струмом.

При підключенні p - n переходу до джерела постійної напруги таким чином, що мінус прикладається до p - області (рис.5.2 (б)), додаткове електричне поле складається з внутрішнім електричним полем в p - n переході, результуюче поле збільшується. Дифузія основних носіїв заряду зменшується, а при підвищенні потенціалу майже зовсім припиняється. Дрейфовий струм через перехід незначно збільшується та становиться більшим за дифузійний. Опір переходу струму що протікає остається збільшеним, постільки концентрація неосновних носіїв в напівпровіднику мала і дрейфовий струм набагато менший прямого струму.

Подана напруга називається зворотною (замираючою, закриваючою), а струм, що виникає при цьому, зворотнім струмом.

Теоретична залежність струму через перехід від поданої напруги має вид:

$$I = I_0(e^{u/\psi_T} - 1),$$

де I_0 - зворотній струм переходу при великій зворотній напрузі,

ψ_T - тепловий потенціал.

Вольт - амперна характеристика (ВАХ) переходу представлена на рис. 5.3.

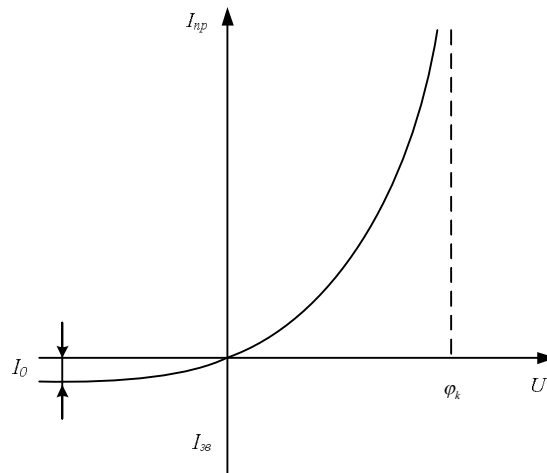


Рис. 5.3. Вольт-амперна характеристика $p-n$ переходу.

Аналізуючи ВАХ можливо простежити основну властивість $p-n$ переходу - односторонню провідність. При подачі прямої напруги струм через перехід зростає по експозиційному закону. Зворотній струм, що виникає при зворотній напрузі, значно менший за прямий та слабо залежить від величини зворотної напруги. Граничне значення напруги на $p-n$ переході при прямому зміщенні не перевищує контактної різниці потенціалів. Зворотна напруга обмежена пробоем $p-n$ переходу. Пробій виникає за рахунок лавинного розмноження неосновних носіїв та називається лавинним пробоем.

Напівпровідниковий $p-n$ перехід має ємність. Розрізняють бар'єрну та дифузійну ємності.

Бар'єрна ємність обумовлена наявністю в збідненому шарі протилежно заряджених іонів домішу. Два шари позитивно та негативно заряджених іонів відповідають двом зарядженим пластинам конденсатора. Бар'єрна ємність відіграє основну роль при подачі зворотної напруги. Залежність бар'єрної ємності для малих змінних струмів від зворотної напруги визначається виразом:

$$C_{\phi} = \frac{C_0}{\sqrt{1 + u_{\phi}/\phi_k}},$$

де ϕ_k – контактна різниця потенціалів,

C_0 - значення бар'єрної ємності при $u=0$,

$u_{зб}$ - зворотна напруга на переході.

Залежність бар'єрної ємності від напруги приведена на рис. 5.4.

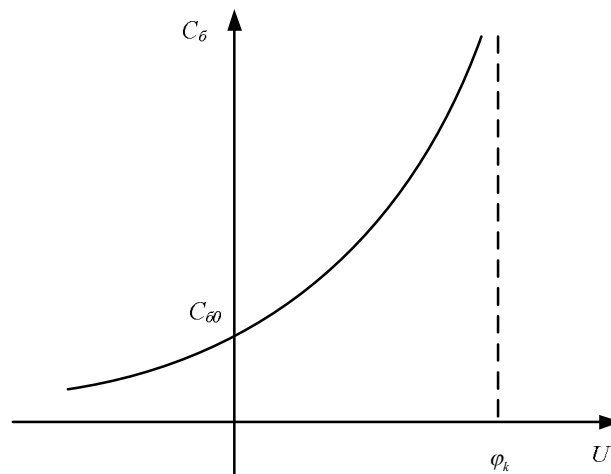


Рис. 5.4. Залежність бар'єрної ємності від напруги на p - n переході.

Дифузна ємність характеризується накопиченням нерівно вагового заряду, який обумовлений дифузією електронів та дірок у глиб напівпровідника за межі переходу. Так як, час життя електронів та дірок обмежений, то по обидві зони переходу появляються додаткові об'ємні заряди. Дифузійна ємність для малих змінних напруг лінійно збільшується при збільшенні струму:

$$C_{\partial} = \frac{I_{np}}{\varphi_k} \tau_p,$$

де τ_p - час життя неосновних носіїв.

Загальна ємність переходу при прямому зміщенні складається з бар'єрної і дифузійної

При зворотному зміщенні переходу дифузійна ємність відсутня.

Напівпровідникові діоди.

Напівпровідниковим діодом називається прилад який має один (або декілька) p - n переходів та два виводи. Всі напівпровідникові діоди можливо розділити на дві групи: випрямляючі та спеціальні. Випрямляючі призначені для випрямлення змінного струму. Спеціальні напівпровідникові діоди використовують різні властивості p - n переходів - явище пробою, бар'єрної ємності, наявність ланок з негативним опором та ін.

Найбільш поширене використання отримали діоди які мають один p - n перехід. Умовне графічне позначення діоду та його структура приведені на рис. 5.5. Електрод підключений до p області називається анодом, а до n - катодом.

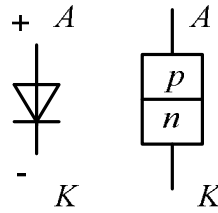


Рис. 5.5. Умовне позначення та структура діода.

Діоди мають односторонню провідність та використовуються для випрямлення змінного струму, стабілізації струму та напруги, формування імпульсів регулювання потужності та ін.

Випрямляючі діоди використовуються для перетворення змінного струму у постійний. Вони діляться на: малої потужності (до 0.3 А); середньої потужності (до 10 А); потужні (більше 10 А), низькочастотні (до 1 кГц), високочастотні (до 100 кГц).

Властивості випрямляючих діодів характеризуються статистичними та динамічними параметрами.

До статистичних параметрів відносяться :

середнє значення прямого струму I_{cp} ;

пряме падіння напруги U_{np} ;

зворотній струм при заданій температурі $I_{зв}$;

напруга відсічки $U_{від}$;

потужність розсіювання P та ін.

Статистичні параметри можливо встановити по вольт – амперній характеристиці діода (рис. 5.6).

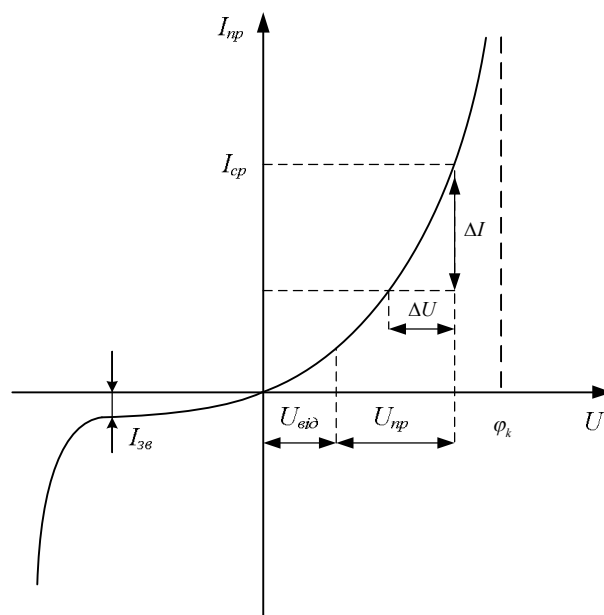


Рис. 5.6. Вольтамперна характеристика діода.

До динамічних параметрів діода відносять його часові та частотні характеристики.

Високочастотні діоди призначені для перетворення і обробки високочастотних сигналів (до десятків ГГц).

Імпульсні діоди знайшли широке використання в схемах автоматичного регулювання, автоматики, обчислювальній техніці. Вони мають високу швидкодію та мінімальний час відновлення.

Стабілітрони – напівпровідникові діоди робоча ділянка яких лежить у області лавинного пробою і характеризується малими змінами напруги при значних змінах струму. Вони широко використовуються у джерелах живлення для отримання стабільної вихідної напруги. Вольт – амперна характеристика стабілітрону приведена на рис. 5.7.

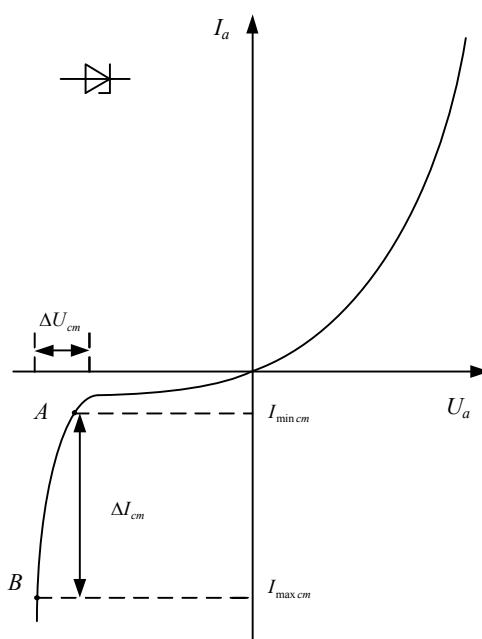


Рис. 5.7. Вольтамперна характеристика стабілітрона.

Варикапи - напівпровідникові діоди в яких використовується залежність бар'єрної ємності p - n переходів від зворотної напруги. На рис. 5.8 приведена вольт амперна і ємнісна характеристики варикапу. Ємність варикапу збільшується із зменшенням напруги. Варикапи знайшли застосування у електричних схемах приймачів та передатчиків та використовуються у якості конденсатора зі змінною ємністю.

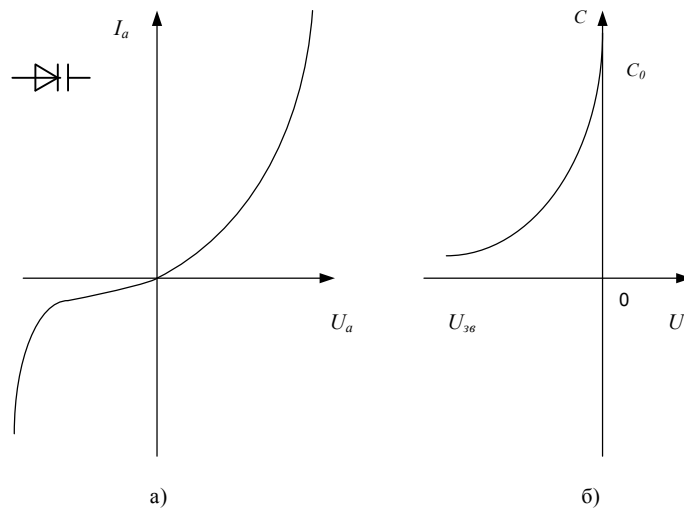


Рис. 5.8. Вольтамперна характеристика (а) та ємнісна (б) характеристики варикапу.

Тунельний діод - напівпровідниковий діод вольт - амперна характеристика якого при прямій напрузі має падаючу ланку (рис 5.9). Наявність цієї ланки пояснюється виникненням тунельного ефекту.

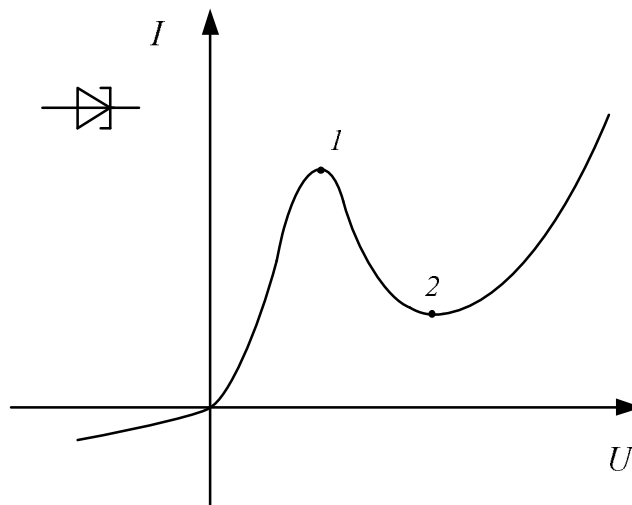


Рис. 5.9. Вольтамперна характеристика тунельного діода.

Випромінюючі діоди, це діоди які випромінюють з області $p-n$ переходу кванти енергії. Вони можуть випромінювати енергію як у видимій області спектру так і інфрачервоній.

Випромінюючі діоди використовуються у якості індикаторів, джерел випромінювання в оптоелектронних пристроях та ін.

Маркування діодів.

Маркування вітчизняних напівпровідникових діодів складається з шести символів.

Перший символ - буква або цифра, вказують вихідний напівпровідниковий матеріал виготовлення Г (1) – германій, К (2) – кремній, А (3) – арсенід галію.

Другий символ – буква, визначає підклас діоду: Д (випрямляючі, високочастотні, імпульсні); В – варикапи; С – стабілітрони, стабістори, Н – динистори, У – тиристори, У – випромінюючі та ін.

Третій символ - цифра, вказує призначення діоду: випрямляючі, імпульсні, СВЧ та ін.

Четвертий та п'ятий – двозначне число яке вказує порядковий номер розробки (у стабілітронів номінальну напругу стабілізації).

Шостий символ – параметр групи прибору.

Наприклад: КД 521 кремнієвий імпульсний діод, розробки 21, група А, загального призначення.