

Напівпровідникові матеріали

У наш час найбільші успіхи в електроніці пов'язані саме із застосуванням пристроїв, виконаних на напівпровідникових приладах. Напівпровідники (НП) належать до класу речовин, що мають тверду кристалічну структуру і за питомою провідністю ($10^4 - 10^{10}$ Сим/см) займають проміжне місце між провідниками ($10^4 - 10^6$ Сим/см) та діелектриками (10^{-10} Сим/см та менше).

При виготовленні НП приладів частіше використовують кремній (Si - має робочу температуру до 140°C), германій (Ge - найбільша робоча температура 75°C), арсенід галію (GaAs - працює при температурах до $350 - 400^\circ\text{C}$). У наш час починає використовуватися новий напівпровідниковий матеріал карбід кремнію (SiC - працює при температурі вище за 600°C), якому прогнозують широке використання.

Напівпровідники займають проміжне положення між провідниками та діелектриками. Головна особливість напівпровідників - зростання питомої електричної провідності з підвищенням температури, на відміну від провідників, у яких із підвищенням температури питома електрична провідність зменшується.

Крім того, електропровідність напівпровідників істотно залежить від зовнішніх чинників: нагрівання, опромінення, електричних та магнітних полів, тиску, прискорення, а також від наявності навіть дуже незначної кількості домішок.

Властивості напівпровідників можна пояснити за допомогою зонної теорії твердого тіла.

Атоми будь-якої речовини складаються з позитивно зарядженого ядра і негативно заряджених електронів, які рухаються по замкнутих орбітах навколо ядра.

Головне положення (постулат) зонної теорії полягає в тому, що електрони не можуть мати довільне значення енергії, а тільки дискретні або квантова ні значення. Тому електрон може рухатися тільки на певних дозволених орбітах, які відповідають дискретним значенням енергії.

Дозволені значення енергії W електрона можна показати наочно за допомогою діаграми рівнів енергії. чим більше віддалена орбіта від ядра, тим більша енергія електрона на цій орбіті. Найвищі рівні займають валентні електрони, тобто електрони, які взаємодіють з іншими атомами, забезпечуючи молекулярні зв'язки.

У твердому тілі атоми об'єднуються й утворюють кристалічну ґратку. Електричні рівні окремих атомів розміщуються дуже близько один від одного і майже зливаються, утворюючи **енергетичні зони**. За аналогією з енергетичними рівнями окремих атомів, енергетичні зони у твердому тілі можуть бути **дозволеними і забороненими**. Енергетична зона, у якій розміщуються енергетичні рівні валентних електронів, називається **валентною зоною**. Дозволені зони, у яких відсутні електрони, називаються **вільними зонами**. Вільна зона, в якій знаходяться електрони, називається **зоною провідності**. Зона провідності завжди розташована вище від валентної зони.

До НП також відносять селен, телур, деякі оксиди, карбіди та сульфіди.

НП мають такі властивості:

- 1) негативний температурний коефіцієнт опору - із збільшенням температури їхній опір зменшується (у провідників - зростає);
- 2) додавання домішок призводить до зниження питомого опору (у провідників - до збільшення);
- 3) на електричну провідність впливають радіація, електромагнітне випромінювання.

Процеси електропровідності НП і діелектриків подібні, але суттєво відрізняються від електропровідності провідників.

Зазначимо, що електрони, розташовані на зовнішній орбіті атома речовини, мають назву валентних. Вони найслабкіше зв'язані з ядром і визначають фізичні та хімічні властивості речовини.

У провідників електрони, розташовані на зовнішній орбіті атома, слабо зв'язані з ядром і тому досить легко покидають свої атоми після чого хаотично переміщуються у матеріалі - стають вільними. Якщо до провідника прикласти зовнішнє електричне поле, виникне впорядкований рух електронів - електричний струм.

У НП усі валентні електрони міцно зчеплені з кристалічними ґратками завдяки так званому ковалентному зв'язку. Доки цей зв'язок існує, електрони не можуть переносити електричний заряд у матеріалі.

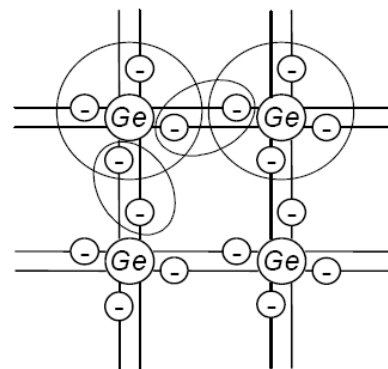


Рис. 1.1 – Кристалічні ґратки германію

Механізм електропровідності НП розглянемо на прикладі кристалічних ґраток германію, що є елементом IV групи періодичної системи Менделєєва. Ґратки у вигляді площинної структури зображено на рис. 1.1.

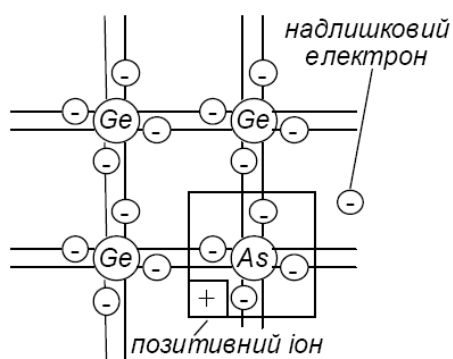


Рис. 1.2 – Кристалічні ґратки германію з донорною домішкою

зв'язку - має
приписується умовно.

Якщо тепер
виникне спрямований
На відміну від
забезпечується носіями
та негативного

Провідність
НП відносять до i -типу.
невелика. Значно
домішками, до того ж її
домішок.

Розглянемо

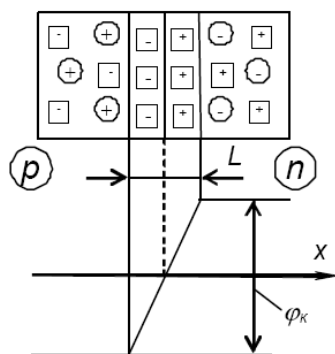
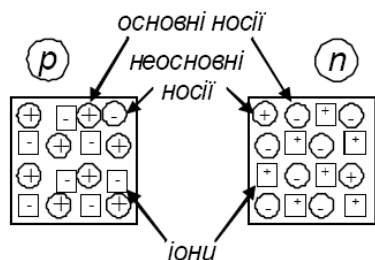


Рис. 1.4 - Утворення на межі між шарами p - та n -типу p - n переходу та потенціального бар'єру ϕ_k

негативні іони. Така домішка називається акцепторною, а НП з переважною кількістю дірок – НП з дірковою провідністю, або p -типу. Переважаючі у НП рухомі носії заряду мають назву основних, решта – неосновних.

Атоми германію розміщені у вузлах кристалічних ґраток, їх зв'язок з іншими атомами здійснюється за допомогою чотирьох валентних електронів. Подвійні лінії між вузлами вказують на ковалентний характер зв'язку, тобто кожна пара валентних електронів належить водночас двом сусіднім атомам. При температурі абсолютного нуля і за відсутності опромінення у НП відсутні рухомі носії і його електричний опір великий (нескінченний).

За звичайних умов, внаслідок дії на речовину теплової енергії, деякі з валентних електронів покидають ковалентні зв'язки і стають електронами провідності – відбувається процес генерації пар носіїв: електронів і дірок. При цьому дірка –

вакантне місце у ковалентному позитивний заряд, що їй

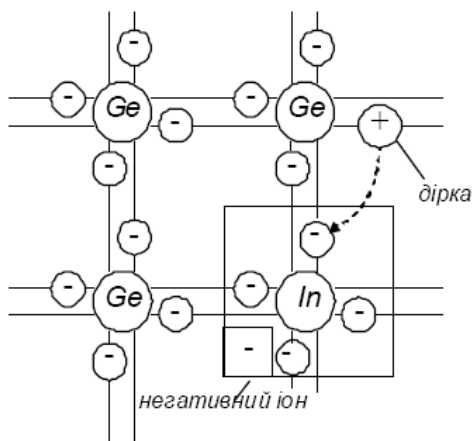


Рис. 1.3 - Кристалічні ґратки германію з акцепторною домішкою

миш'яку (As), як показано на рис. 1.2. При застиганні у деяких вузлах кристалічних ґраток германію його атоми заміщуються атомами домішки. При цьому чотири валентних електрони домішки створюють систему ковалентних зв'язків з чотирма валентними електронами германію, а п'ятий електрон домішки виявляється надлишковим - вільним. Вільні електрони залишають у вузлах кристалічних ґраток нерухомі позитивно заряджені іони, що створюють у кристалі позитивний об'ємний заряд.

Домішка, що віддає вільні електрони, називається донорною. НП з переважуючою кількістю вільних електронів має назву НП з електронною провідністю, або НП n -типу. Розглянемо введення у германій домішки з трьома валентними електронами (III група таблиці Менделєєва), наприклад, індію (In), як це показано на рис. 1.3.

Для утворення ковалентного зв'язку між Ge та In одного електрона не вистачає. При дії теплоти навколишнього середовища електрони з верхнього рівня валентної зони переміщуються на рівень домішки, створюючи зв'язки, яких не вистачає, завдяки чому у валентній зоні утворюються рухомі дірки, а атоми домішки перетворюються у

1. Що таке провідники?
2. Що таке діелектрики?
3. Що таке напівпровідники?
4. Головний постулат зонної теорії...
5. Що таке діаграма рівнів енергії?
6. Як утворюються енергетичні зони?
7. Що таке валентна зона?
8. Що таке вільна зона?
9. Що таке зона провідності?

Викладач _____ Л.І.Шаповалова