### Практична робота №2

**Властивості напівпровідників**

### До напівпровідників відносять матеріали, в яких переважаючим механізмом провідності є електронно - діркова провідність.

### До напівпровідників належать кристали деяких хімічних елементів (кремнію, германію, вуглецю в модифікації алмазу та інших), деякі хімічні сполуки групи AIII BV, AII BVI, AIV B IV та деякі органічні матеріали.

Електропровідність, обумовлену рухом вільних електронів, називають електронною, а електропровідність, обумовлену рухом дірок, – дірковою.

### Електричний струм через напівпровідник обумовлений носіями заряду обох типів:

###  І = e (nμn + рμp) Е, (2.1)

де е - заряд електрона, Кл; n - концентрація электронів провідності, м-3;  р - концентрація дірок провідності, м-3; μn  та μp – рухливість електронів та дірок, відповідно, м2/В∙с; Е – напруженість електричного поля В/м.

### За законом Ома провідність напівпровідника γ

 γ = 1/ρ = e (nμn + рμp) ,

де ρ - питомий опір, Ом∙м.

В абсолютно чистому й однорідному напівпровіднику при температурі, відмінній від 0 К, вільні електрони й дірки утворюються попарно, тобто кількість вільних електронів дорівнює кількості дірок. Електропровідність такого напівпровідника, що обумовлена парними носіями теплового походження, називається власною. В бездомішковому (власному) напівпровіднику n = p = nі, де nі – концентрація власних носіїв заряду, м-3

 ni =  (2.2)

 NV= ; NC=  , (2.3)

де NV, NC – ефективна густина станів дірок валентної зони і електронів зони провідності, відповідно, м-3; ΔЕ – ширина забороненої зони, еВ; mn - ефективна маса електрона, г; mp - ефективна маса дірки, г; k - постійна Больцмана, Дж/К; h - постійна Планка, Дж⋅с; Т – температура, К.

В напівпровіднику з донорною домішкою переважають негативно заряджені носії заряду – вільні електрони (n-тип провідності), а в напівпровіднику з акцепторною домішкою переважають позитивно заряджені носії заряду (p-тип провідності).

Для будь-якого напівпровідника в стані рівноваги при постійній температурі

 n· p = ni2 (2.4)

В робочому інтервалі температур напівпровідникових приладів і інтегральних схем атоми донорної або акцепторної домішки повністю іонізовані (рис. 2.1, 2 – ділянка виснаження легуючої домішки), тому концентрація основних носіїв заряду співпадає з концентрацією відповідної домішки, а концентрацію неосновних носіїв заряду знаходять із (2.4).

Для напівпровідника n – типу:

 nn = Nд, pn = ni 2 /Nд, (2.5)

для напівпровідника р – типу:

 pp = Na , np = ni 2 /Na , (2.6)

де Nд, Na – концентрація донорної й акцепторної домішки, відповідно, м-3.

 

1- іонізація домішки; 2- виснаження домішок; 3 – власна провідність

Рисунок 2.1 - Температурна залежність провідності напівпровідника

**Завдання 1**

Обчислити для температури Т=40 К концентрацію дірок і питомий опір кремнію р-типу, легованого бором до концентрації Na=1022 м-3, якщо ефективна маса густини станів для дірок валентної зони mv=0,56m0, положення енергетичного рівня бора Wv+0,045eV, а рухливість дірок змінюється з температурою за законом μp=0,045(T/300)-3/2

Розв’язання. Ефективна густина станів для дірок валентної зони:

$$N\_{v}=\frac{2(2πm\_{v}kT)^{3/2}}{h^{3}}=\frac{2(2∙3,14∙0,56∙9,1∙10^{-31}∙1,38∙10^{-31}∙40)^{3/2}}{(6,62∙10^{-34})^{3}}=5,1∙10^{23}м^{-3}$$

При Т=40K

а= kT=8,865·10-5·40=3,5·10-3eV;

$p=\sqrt{N\_{a}N\_{v}}e^{-\frac{∆W\_{a}}{2a}}=\sqrt{5∙10^{23}∙10^{22}}e^{(-\frac{0,045}{3,5·10-3})}$=1,05·1020м-3

Низькотемпературна рухливість дірок, обмежена розсіюванням на теплових коливаннях гратки:

$μ\_{p}=0,045(\frac{40}{300})^{-\frac{3}{2}}=0,928$м2Вс

Питомий опір при Т=300К:

$$ρ=(epμ\_{p})^{-1}=(1,6·10^{-19}·1,05·10^{20}·0.928)^{-1}=6,4·10^{-2}Ом·м$$

*Задачі для самостійної роботи:*

1. *Визначити власну питому провідність германія при кімнатній температурі. Прийняти власну концентрацію носіїв заряду при кімнатній температурі пі= 2,1·10^19 м-3, рухливість електронів μn = 0,39м^2/(B·c), рухливість дірок μp = 0,19м^2/(B·c)*
2. *Зразок кремнію містить 2·10^20 м^(-3) атомів домішки фосфору. Яку потрібно створити концентрацію атомів галію в цьому провіднику, щоб тип електропровідності змінився на протилежний, а питомий опір дорівнював 0,5 Ом·м? Прийняти рухливість дірок =0.05м^2/(B·c)*
3. Що таке власний напівпровідник? Які властивості він має?
4. Чи може домішковий напівпровідник мати власну електропровідність?
5. Які домішки в ковалентних напівпровідниках є донорами, а які - акцепторами?
6. Яким співвідношенням пов'язані між собою концентрації електронів і дірок у невироджених напівпровідниках при термодинамічній рівновазі?
7. Як залежить від температури питома провідність напівпровідника?
8. Що таке рухливість носіїв заряду в напівпровідниках?