

Електричний струм у різних середовищах

Електричний струм у металах

Б.10.6.1 Основні положення електронної теорії провідності металів

1. При утворенні кристалічної решітки металу валентні електрони відриваються від атомів і хаотично рухаються у проміжках між іонами, а самі іони здійснюють коливання у вузлах кристалічної решітки. Електрони, які відірвалися від атомів є вільними носіями заряду в металах, їх називають електронами провідності.

2. В електричному полі, створеному всередині металу, електрони провідності рухаються хаотично, одночасно зміщуються в одному напрямі – протилежному до напрямку вектора напруженості поля.

Впорядковане переміщення електронів провідності і є електричним струмом у металах.

3. У процесі руху під дією електричного поля електрони провідності співударяються з іонами кристалічної решітки.

Серед цих зіткнень бувають і такі, коли електрони всю набуту внаслідок розгону в електричному полі енергію передають решітці. Саме такі зіткнення відповідальні за електричний опір металу.

4. Електрони провідності в провіднику переміщуються під дією поля з дуже малою швидкістю. Коли йдеться про величезну швидкість поширення струму в провідниках, то мають на увазі, що з такою швидкістю поширюється дія електричного поля на заряди у провіднику.

Б.10.6.2 Залежність опору металевих провідників від температури

1. З підвищення температури провідника зростає середня швидкість теплового руху електронів і збільшується амплітуда коливань іонів у вузлах кристалічної решітки. Це веде до збільшення кількості зіткнень електронів з іонами, отже і збільшення опору металів.

2. Для характеристики залежності опору провідника від температури вводять температурний коефіцієнт опору α – величину, що показує на скільки змінюється кожна одиниця питомого опору речовини внаслідок зміни температури на один кельвін:

$$\alpha = \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0 \cdot \Delta T}.$$

В СІ температурний коефіцієнт опору вимірюється в K^{-1} .

3. При сталому α :

$$\rho = \rho_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T); \quad R = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T),$$

де ρ_0 і R_0 – значення опору провідника і питомого опору при $T_0 = + 273\text{K}$ ($t = 0^\circ\text{C}$), ρ і R – при T .

4. Як правило, з підвищенням температури температурні коефіцієнти опору металів зростають.

Б.10.6.3 Надпровідність

1. Зі зниженням температури опір металевих провідників зменшується. При температурах, близьких до абсолютного нуля, багато металів і сплавів стають надпровідниками. Їх опір при наближенні до абсолютного нуля різко спадає до нуля.

2. Якщо в кільцевому провіднику, який перебуває в надпровідному стані, створити струм, а потім вимкнути джерело, сила цього струму не змінюється як завгодно довго.

3. Зовнішнє магнітне поле не проникає всередину надпровідників.

4. Магнітне поле руйнує стан надпровідності.

Електричний струм у напівпровідниках

Б.10.6.4 Напівпровідники

1. Характерна особливість напівпровідників – це дуже сильна залежність їх питомого опору від стану речовини: температури, освітлення, наявності домішок тощо.

2. Основною відмінністю металів від напівпровідників є те, що в металах практично всі валентні електрони знаходяться у вільному стані, а в напівпровідниках – у зв'язаному.

Причому енергія зв'язку їх з атомами невелика, так що за рахунок теплових коливань іонів решітки частина електронів із зв'язаного стану може переходити у вільний.

3. У діелектриках (ізоляторах) енергія зв'язку валентних електронів з атомами значно перевищує енергію коливального руху атомів решітки, і тому за звичайних умов у таких речовинах вільних електронів практично немає.

При досить великих температурах діелектрики можуть поводити себе як напівпровідники.

Б.10.6.5 Провідність напівпровідників

1. Типовим напівпровідником є германій. Чотири валентні електрони кожного атома вступають у ковалентні зв'язки з електронами сусідніх атомів, так що вільних електронів у чистому германії при дуже низьких температурах немає.

2. При підвищенні температури кристалу внаслідок теплових коливань решітки відбувається розривання деяких валентних зв'язків. Наслідком чого стає поява електронів провідності і вакантних місць – дірок.

3. За наявності електричного поля електрони провідності переміщуються проти поля і утворюють електричний струм, який називають електронним. Дірки поводять себе як позитивно заряджені частинки і при наявності електричного поля переміщуються в напрямку поля, утворюючи електричний струм, який називають дірковим.

4. Електропровідність, обумовлену переміщенням дірок, називають дірковою провідністю. В процесі діркової провідності беруть участь електрони зв'язку (не провідності), які переміщуються від дірки до дірки проти поля.

5. У хімічно чистих напівпровідниках електропровідність обумовлена однаковою кількістю електронів провідності і дірок та має назву власної електропровідності.

6. Домішки можуть збільшувати концентрацію електронів провідності і створювати у напівпровіднику електронну домішкову провідність n-типу. Такі домішки називаються донорними.

У провідності n-типу основними носіями струму є електрони провідності, а дірки – не основними.

7. Домішки, які захоплюють електрони від сусідніх атомів і викликають появу дірок, називають акцепторними. У даному випадку тип провідності називається провідністю р-типу, а напівпровідники з такою провідністю – дірковими, або напівпровідниками р-типу.

У провідності р-типу основними носіями струму є дірки, не основними – електрони.

Б.10.6.6 Електронно-дірковий перехід

1. Поблизу межі розділу напівпровідників n-типу і р-типу виникає шар підвищеного опору, який називається електронно-дірковим, або р-n переходом.

2. Особливістю р-n переходу є те, що його опір залежить від значення і напрямку напруженості зовнішнього електричного поля, прикладеного до цього переходу.

3. Якщо n-напівпровідник приєднати до негативного полюса джерела напруги, а напівпровідник р-типу до позитивного полюса, то концентрація носіїв струму в області підвищеного опору збільшується, що веде до зменшення опору р-n переходу.

Зі збільшенням напруги опір р-n переходу зменшується. Цей напрям зовнішнього електричного поля прийнято називати пропускним.

4. Якщо змінити полярність прикладеної до напівпровідників напруги, то розмір подвійного шару, збідненого на носії струму – електрони і дірки, збільшуватиметься і його опір зростає. При досить великій напрузі цього напрямку подвійний шар є практично ізолятором. Цей напрям зовнішнього електричного поля називають запірним.

5. Контакт напівпровідників р- і n-типу має однобічну провідність – він добре пропускає струм в одному напрямі і практично не пропускає струм у протилежному

напрямі.

Електричний струм у вакуумі

Б.10.6.7 Електричний струм у вакуумі

1. Електричний струм у вакуумі можна створити за рахунок введення в нього носіїв заряду.

2. Для цього використовують електронну емісію, тобто вихід вільних електронів з металу.

Для вилітання електрону з металу у вакуум він повинен виконати певну роботу проти сил електростатичного притягання з боку надлишку позитивного заряду, який виникає в металі внаслідок вилітання електронів, а також сил відштовхування з боку електронів, які вилетіли раніше і утворили поблизу поверхні металу електронну “хмару”.

Цю роботу називають роботою виходу електронів з металу.

3. Щоб існувала емісія електронів, необхідно надати електронам провідності металу кінетичної енергії, достатньої для виконання роботи виходу. Електрони можуть набувати кінетичної енергії за рахунок нагрівання тіла. В цьому випадку кажуть про термоелектронну емісію.

4. Струм через вакуумний діод проходить лише в тому випадку, коли розжарюваний електрод є катодом, а холодний – анодом.

5. При малих напругах сила струму у вакуумі зростає зі збільшенням напруги, але не лінійно. При певній напрузі, коли всі випущені катодом електрони досягають анода, настає насичення. Подальше збільшення напруги не приводить до зростання сили струму.

Електричний струм у розчинах і розплавах електролітів

Б.10.6.8 Електричний струм у розчинах електролітів

1. Електропровідність електролітів обумовлена переміщенням іонів, які виникають лише у процесі взаємодії молекул розчиненої речовини з молекулами води.

2. Процес розпаду молекул розчиненої речовини на іони під впливом розчинника називається електролітичною дисоціацією.

3. Одночасно з дисоціацією існує процес рекомбінації, або молізації. У даному стані електроліту встановлюється динамічна рівновага, при якій число іонів, які утворюються внаслідок дисоціації, дорівнює числу іонів, які рекомбінують за той самий час.

4. Для кількісної характеристики ступені дисоціації вводиться коефіцієнт, або ступень дисоціації, який показує, яка частина молекул розчиненої речовини розпалася на іони.

5. Коли зовнішнє електричне поле відсутнє, іони в електроліті здійснюють хаотичний тепловий рух.

Якщо створити в електроліті електричне поле, то на хаотичний тепловий рух накладається напрямлене зміщення іонів, тобто виникає електричний струм.

6. Електропровідність електролітів з підвищенням температури зростає. Це пояснюється тим, що під час нагрівання електроліту зростає ступень дисоціації, тобто концентрація іонів, і зростає їх рухливість, що веде до зменшення опору.

Б.10.6.9 Закони електролізу

1. Електроліз полягає у виділенні на електродах нових речовин, яких не було в розчині.

2. Маса речовини, яка виділяється на одному електроді, пропорційна кількості електрики, яка проходить через електроліт:

$$m = k \cdot q.$$

У цьому полягає перший закон електролізу Фарадея.

3. Коефіцієнт пропорційності k називається електролітичним еквівалентом речовини. Він залежить від хімічної природи речовини і чисельно дорівнює масі, яка виділяється на електроді при проходженні одиниці заряду.

В СІ електрохімічний еквівалент вимірюється в $\frac{\text{кг}}{\text{Кл}}$.

4. Добуток числа Авогадро N_A на елементарний електричний заряд e є сталою величиною, яка називається числом Фарадея:

$$F = N_A \cdot e.$$

1. Електрохімічні еквіваленти речовин прямо пропорційні масам їх молів і обернено пропорційні їх валентностям:

$$k = \frac{1}{F} \cdot \frac{M}{n}.$$

У цьому полягає другий закон Фарадея для електролізу.

2. Часто обидва закони електролізу об'єднують в одному виразі:

$$m = \frac{1}{F} \cdot \frac{N_A}{n} \cdot q \quad \text{або} \quad m = \frac{1}{F} \cdot \frac{M}{n} \cdot I \cdot t.$$

Електричний струм у газах

Б.10.6.10 Електричний струм у газах

1. Гази у звичайних умовах складаються з нейтральних молекул і не проводять електричний струм.

2. Внаслідок зовнішніх впливів відбувається іонізація газів і в них з'являються вільні носії заряду – електрони та іони обох знаків.

Поряд з іонізацією в газах може відбуватися і зворотний процес – рекомбінація (молізація) іонів у нейтральні атоми чи молекули.

3. Проходження електричного струму через газ називається газовим розрядом.

Якщо електропровідність в газі виникає під дією іонізаторів, а з відділенням останніх припиняється, то має місце несамотійний розряд, а провідність називається несамотійною.

4. При невеликих напругах залежність сили струму лінійна. Це означає, що тут справджується закон Ома.

Зі збільшенням напруги сила струму зростає повільніше, ніж напруга.

Починаючи з деякої напруги сила струму зберігає сталі значення, яке називають струмом насичення.

Нарешті, при ще більшому значенні напруги сила струму, знову різко зростає внаслідок ударної іонізації.

5. Ударна іонізація – це іонізація газу, що виникає внаслідок зіткнень електронів з нейтральними атомами і молекулами. Внаслідок ударної іонізації число носіїв струму в газі наростає лавиноподібно.

Б.10.6.11 Самостійний електричний розряд

1. Самостійним називають розряд у газах, який зберігається й після припинення дії зовнішнього іонізатора.

2. Щоб розряд був самостійним, потрібна не тільки іонізація газу електронними ударами, а й вибивання позитивними іонами вільних електронів з молекул або з катода.

3. Залежно від стану газу (температури і тиску), від напруги, форм і розмірів електродів самостійні газові розряди відрізняються одні від одного як за зовнішнім виглядом, так і за характером фізичних процесів, які обумовлюють їх виникнення й проходження.

4. До самостійних розрядів у газах відносяться: тліючий розряд; тепловий розряд; коронний розряд; дуговий розряд.

Б.10.6.12 Поняття про плазму

1. Сильно іонізований газ дістав назву плазми – четвертого стану речовини. У плазмі концентрація електронів та іонів однакова, сумарний об'ємний заряд дорівнює нулю.

2. Плазма має дуже велику електропровідність. Вона є своєрідним пружним середовищем, в якому можуть легко збуджуватися і поширюватися різноманітні

коливання і хвилі. Зовнішні електричне і магнітне поля діють на частинки плазми з великими силами.

3. Газорозрядна плазма, тобто плазма, яку отримують за допомогою газового розряду, стійка лише за наявності електричного поля. Її називають низькотемпературною.

4. У високотемпературній плазмі можливі реакції термоядерного синтезу, при якій виділяється значна енергія.