

KOVÁCS ENDRE, PARIPÁS BÉLA,

FIZIKA II.

13



A Műszaki Földtudományi Alapszak tananyagainak kifejlesztése a
TÁMOP 4.1.2-08/1/A-2009-0033 pályázat keretében valósult meg.

XIII. AZ ELEKTROMOS ELLENÁLLÁST BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK

A fajlagos ellenállást különböző tényezők befolyásolják, legfontosabb persze az anyagi minőség. Az ellenállás függ a mechanikai igénybevételtől is, összenyomáskor általában csökken, nyújtáskor nő, ezt a tulajdonságot használjuk a nyúlásmérő bélyeg esetén. Adott fémre vagy ötvözetre a legfontosabb befolyásoló tényező azonban a hőmérséklet. Tapasztalat szerint növekvő hőmérséklettel a fémek és a legtöbb fémötvözet ellenállása nő. Ez a fajlagos ellenállás növekedés érthető, hiszen a növekvő hőmozgás miatt a kristályrács szabályossága, periodicitása eltorzul, emiatt nagyobb ellenállást fejt ki az elektronok áramlásával szemben.

A fémek, az ötvözetek és a szén fajlagos ellenállásának hőmérsékletfüggését leíró hatványsor így írható fel:

$$\rho_T = \rho_0 (1 + \alpha \Delta T + \beta \Delta T^2 + \dots)$$

itt $\rho_T = \rho(T)$ a T hőmérsékletre tartozó fajlagos ellenállás, $\rho_0 = \rho(T_0)$ pedig általában 0 °C-hoz vagy 20 °C-hoz tartozó fajlagos ellenállást jelenti, $\Delta T = T - T_0$ pedig a hőmérsékletkülönbséget. Néhány száz °C-os tartomány esetén a hőmérsékletfüggés lineárisnak tekinthető, ilyenkor elegendő felírni a lineáris tagot:

$$\rho_T = \rho_0 (1 + \alpha \Delta T)$$

Ha a vezeték hőtágulásától eltekintünk, akkor: $R_T = R_0 (1 + \alpha \Delta T)$

A hőmérsékleti együttható lehet pozitív $\alpha > 0$, ilyenkor növekvő hőmérséklettel az ellenállás nő, de lehet negatív is $\alpha < 0$, ilyenkor növekvő hőmérséklettel az ellenállás csökken.

Tehát fémeknél, ha a hőmérséklet az abszolút nullához tart, akkor az ellenállás fokozatosan csökken. Egy tökéletesen periodikus fém-kristályrács ellenállása lényegében nulla lenne, ui. ekkor az elektronok hullámfüggvénye is felveszi a rács periodicitását és nem ütközik az atomtörzsekkel. (A vezetési elektronok egymással is ütközhetnek, de a tárgyalás ezen egyszerűsített szintjén ezt elhanyagoljuk). Ehhez képest minden, ami a periodicitást lerontja, növeli az ellenállást. Többféle kristályhiba van, pl. vakanciák, interstíciós atomok, diszlokációk, szemcsehatárok. Ezek száma is függ a hőmérséklettől, a vakanciák száma pl. T-vel növekszik. A szennyező atomok is elrontják a periodicitást, pl. mert más a méretük és a vegyértékük. Ezek koncentrációja független a hőmérséklettől. Mivel tökéletesen tiszta fém nem állítható elő, normál (tehát nem szupravezető) esetben T=0K felé közeledve az ellenállás egy nem zérus konstanshoz tart. Ezt maradék- vagy reziduális ellenállásnak nevezzük, a rácshibáktól, a lehűtés sebességétől, stb. is függ. A hőmérséklet növelésével egyre inkább a rácsot alkotó atomok rezgése lesz a fő tényező és az ellenállás eleinte hatványfüggvény-szerűen, majd közel lineárisan növekszik. A Matthiessen-szabály szerint a különböző okokból adódó fajlagos-ellenállás növekedések egyszerűen összeadódnak, pl. $\rho = \rho_h + \rho_T$, ahol ρ_h a rácshibákból, ρ_T a hőmérséklet okozta rácsrczgeből adódó ellenállást jelöli.

A szennyezések sokszor mesterségesek, ötvöző anyagoktól származnak. Tegyük fel, hogy két olyan fémről van szó, amelyeknek tiszta állapotban nagyjából megegyezik a fajlagos ellenállása. Legyen az egyik fém (pl. arany) koncentrációja c, a másik fémé (pl. ezüst) ekkor 1-c. A fajlagos ellenállás koncentrációfüggése: $\rho = \rho_{\text{tiszta}} + Kc(1-c)$, ahol K az adott ötvözetre nézve konstans. Tehát pl. 1% ezüst-szennyezés az aranyban ugyanakkora ellenállás-növekedést okoz, mint 1% arany-szennyezés az ezüstben. Ezt a megfigyelést Mott-szabálynak is hívják. Kis szennyező-koncentrációk esetén a változás lineárisnak tekinthető.

A szén, a félvezetők (és az elektrolitok) T=0 közelében meglehetősen nagy ellenállása növekvő hőmérséklettel csökken és többnyire a szennyezések is csökkentik. Ez egy kvalitatív (minőségi) különbség a vezető fémek és a félvezetők között.

Egyes anyagok nagyon alacsony hőmérsékleten (amely általában -200 °C alatt van) elvesztik elektromos ellenállásukat. Ezt a jelenséget szupravezetésnek nevezik. Ekkor mivel R=0, feszültség nélkül is folyhat áram. Az, hogy egy anyag milyen hőmérsékleten válik szupravezetővé, ill. azzá válik-e, nem függ attól, hogy szobahőmérsékleten jó vezető-e, sőt, szigetelők is lehetnek szupravezetők, ha lehűtjük őket.