

ELEKTRONIKAI ALKATRÉSZEK

IRODALOM

1. Székely V., Tarnay K., Valkó I.P. Elektronikus eszközök. Budapest: Műegyetemi Kiadó, 2000.
2. Gergely L. Elektronikai alkatrészek és műszerek I. Budapest: Tankönyvkiadó, 1985.
3. Rumpf K.-H. Elektronikai alkatrészek kislexikonja. Budapest: Műszaki Könyvkiadó, 1992.
4. Bársony István, Kókényesi Sándor. Funkcionális anyagok és technológiájuk // DE MFK (főiskolai jegyzet), 2003.
5. Sze S.M. Semiconductor Devices: Physics and Technology. New York: 2nd edition, Ed.-Wiley, 2002.
6. Wang F.F.Y. Introduction to solid state electronics. Amsterdam; New York: North-Holland; New York, NY, USA; Sole distributors for the USA and Canada, Elsevier Science Pub. Co., 1989.

ELEKTRONIKA ALAPFOGALMAI

1. ELŐADÁS

- Elektronika fogalma
- Alkatrészek kategóriái (passzív-aktív, lineáris-nemlineáris, vákuum-szilárdtest)
- Elektronikus alkatrészek működésének alapjai a sávmélet eszköztárával
- Vezetési mechanizmusok

ALAPVETŐ DEFINÍCIÓK

ANYAG

A materializmus tanítása szerint a tudattól független létező valóság, amely a létező világot alkotja.

Technikai értelemben az ember által alkotott szerszámok, gépek eszközök, műtárgyak építőeleme.

A modern atomfizika egyre mélyebbre hatol az anyag szerkezetébe.

ALAPVETŐ DEFINÍCIÓK

ELLENÁLLÁS (VEZETŐKÉPESSÉG)

Írd fel a képletet: $R=(\rho \cdot l)/A$ [Ohm·m]

$\sigma=1/\rho$ [S/m].

Ohm-törvény: $R=U/I$

Ohm-törvény differenciális formája: $j=\sigma E$.

Itt R ellenállás, l és A a vezető hossza, illetve keresztmetszete, I az áramerősség, U feszültség, j az áramsűrűség, E az elektromos mező térerőssége, ρ a vezető fajlagos ellenállása, σ a vezető fajlagos vezetése (vezetőképessége).

ALAPVETŐ DEFINÍCIÓK

ELEKTROMOS VEZETŐKNEK

nevezzük azokat az anyagokat, melyek alapvető tulajdonsága a kis elektromos ellenállással jellemezhető jó áramvezetés.
 $10^{-11} \leq \rho \leq 10^{-4}$ Ohm·m.

ALAPVETŐ DEFINÍCIÓK

FÉLVEZETŐKnek

nevezzük azokat a szilárd anyagokat, melyek fajlagos ellenállása a vezetőké és a dielektrikumok között van és nagymértékben függ az adalékok, a különböző rácshibák fajtájától és koncentrációjától, csakúgy, mint a különböző külső hatásoktól (hőmérséklet, megvilágítás, stb.).
 $10^{-4} \leq \rho \leq 10^7$ Ohm·m.

ALAPVETŐ DEFINÍCIÓK

DIELEKTRIKUMOKnak

nevezzük azokat a szilárd anyagokat, amelyekben nagy feszültségek hatására sem folyik számottevő áram. Tökéletes szigetelő nincs, elegendően nagy feszültség esetén mindig mérhető csekély áramerősség.

Aktív (nagy-) és passzív (kis) kapacitású szigetelők.

Különleges tulajdonságuk az, hogy bennük létezik elektrosztatikus mező (polarizáció).

$10^7 \leq \rho \leq 10^{16}$ Ohm·m.

ALAPVETŐ DEFINÍCIÓK

MÁGNESES ANYAGOKnak

nevezzük azokat, amelyek mágneses térbe helyezve a teret kisebb vagy nagyobb mértékben megváltoztatják.

A mágneses anyagokban a külső tér befolyásolásának mértéke több nagyságrenddel nagyobb, mint más anyagok esetében.

ALAPVETŐ DEFINÍCIÓK

VEGYÜLET, MOLEKULA

Kémiai szempontból az anyagok két nagy csoportra bonthatók: elemekre és vegyületekre.

A vegyületek kémiai reakciók során elemekből keletkeznek.

A vegyületek azon legkisebb építőegységei, amelyek még rendelkeznek a vegyület valamennyi kémiai tulajdonságával, a molekulák.

ALAPVETŐ DEFINÍCIÓK

ELEM, ATOM

Az elemek kémiai szempontból a legegyszerűbb anyagok.

Az elemek legkisebb építőelemei az atomok.

Az elem legkisebb része, amely még rendelkezik annak összes tulajdonságával, az atom.

Részecske-hullám kettőség (dualizmus).

BOHR-MODELL

pályafeltétel

A megengedett elektronpályákon az elektron impulzusmomentuma (perdüllete) csak \hbar egészszámú többszöröse lehet, azaz

$$mvr = n\hbar.$$

frekvenciafeltétel

Az atomok fénykibocsátását Bohr két állandó energiájú pálya közti elektronátmenettel értelmezte.

$$\nu = \Delta E/h = (E_n - E_m)/h.$$

DE BROIGLE HIPOTÉZISE

De Broigle a részecskéknek (elektron, proton, stb.) hullámot feleltetett meg.

A hullám jellemzőinek (λ , ν) meghatározásához a fotonra vonatkozó összefüggéseket fogadta el.

Eszerint egy E energiájú, m tömegű, v sebességű részecskéhez:

$$\nu = E/h$$

frekvenciájú és

$$\lambda = h/mv = h/p$$

hullámhosszú síkhullám rendelhető.

DE BROIGLE HIPOTÉZISE

De Broigle részecske-hullám hipotézisét 1927-ben sikerült kísérletileg bizonyítani (Davisson és Germer).

De Broigle az mv impulzusú részecskéhez $\lambda = h/mv$ hullámhosszúságú végtelen síkhullámot rendelt.

Ez viszont nem fogadható el maradéktalanul:

A mozgó részecske kiterjedése véges kell hogy legyen.

Bizonyítás: véges sebesség, mérhető idő, pontoszerű becsapódás az ernyőn.

HULLÁMCSONAG

Az ellentmondás feloldható, ha a részecskéhez nem végtelen síkhullámot, hanem véges hullámvonalat – hullámcsoportot (hullámcsomagot) rendelünk.

Hullámcsoport esetén a hullámfüggvény amplitúdója egy kisebb-nagyobb tartományban különbözik a zérustól.

A hullámcsomagot matematikailag több különböző hullámhosszúságú szinusz hullám szuperpozíciójaként írhatjuk le.

HULLÁMCSONAG

A hullámcsoport Δx kiterjedése annál nagyobb, minél kevésbé tér el egymástól λ_1 és λ_2 értéke, illetve annál kisebb, minél tágabb az összetevő síkhullámok hullámhossztartománya.

Ellentmondás: relativitáselmélet – részecske sebessége.

A térben lokalizált részecske sebessége ugyanis nem a hullám fázis sebességével, hanem az egész csomag előrehaladási sebességével, az ún. csomagsebességgel azonos. $v_{cs} = d\omega/dk = dE/dp$, $k = 2\pi/\lambda$.

HEISENBERG-FÉLE HATÁROZATLANSÁGI RELÁCIÓ

A részecskék helye és impulzusa nem határozható meg egyszerre tetszőleges pontossággal:

$$\Delta p \Delta x \geq \hbar/2.$$

Hasonló relációk:

szög és impulzuszórák koordináták között:

$$\Delta \alpha \Delta N_\alpha \geq \hbar/2.$$

HEISENBERG-FÉLE HATÁROZATLANSÁGI RELÁCIÓ

Energia és idő között:

$$\Delta E \tau \geq \hbar/2.$$

Ha egy elektron gerjesztett energiája ΔE szélességű, akkor az alapállapotba történő visszatérés – azaz a megfelelő energiájú foton kisugárzása – τ időtartam erejéig bizonytalan.

Heisenberg-féle mikroszkóp kísérlet (hipotetikus)

HULLÁMFÜGGVÉNY

A hullámfüggvény a részecske helyét (a hullámcsomag szélességén keresztül), a részecske impulzusát (a de Broigle-hullámhosszon keresztül), röviden a részecske állapotát jellemzi.

Az elektronok hullámtulajdonságát kristályrác segítségével előállított interferenciakép bizonyította (O. Jönsson, 1961).

Max Born adta elsőként a de Broigle-hullámok fizikai értelmezését. Eszerint az elektronok $\psi(x,t)$ hullámfüggvénye meghatározza megtalálási valószínűségüket. $P(r)=|\psi(r)|^2\Delta V$.

SCHRÖDINGER-EGYENLET

Szabad részecske – hullámcsomag.

Kötött részecske – Schrödinger-egyenlet.

$$i\hbar(\partial\psi/\partial t)=-(\hbar^2/(2m))(\partial^2\psi/\partial x^2+V\psi).$$

A kötött részecskék állapotát leíró hullámfüggvények - állóhullámok.

Az olyan állapotokat, amelyekben lényegesen különböző hullámfüggvényekhez azonos energia tartozik, elfajuló (degenerált) állapotoknak nevezzük.

KVANTUMSZÁMOK

A Schrödinger-féle hullámmechanikai leírás szerint a hidrogénatom elektronja négy kvantumszám segítségével jellemezhető.

Az n kvantumszám döntően meghatározza az elektron energiáját.

Az l mellék kvantumszám az elektron-állóhullámok csomósíkjainak számát adja meg, és ezzel a hullámfüggvény alakját, az elektron megtalálási valószínűségének anizotrópiáját jellemzi.

KVANTUMSZÁMOK

Az m mágneses kvantumszám az elektron-állóhullámok térbeli orientációját szabja meg az iránykvantált impulzusmomentum meghatározásán keresztül (Zeeman-effektus).

Az s spinkvantumszám az elektron sajátperdületének állását határozza meg (Stern, Gerlach).

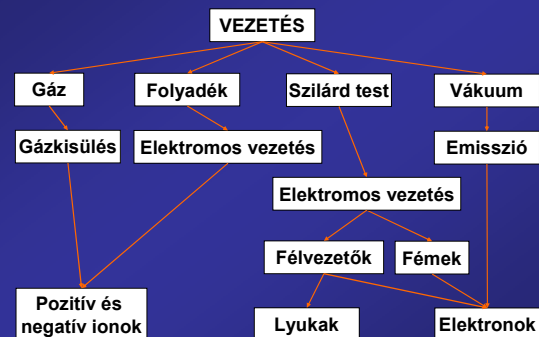
Adott kvantumszámsorozat esetén az elektron állapota meghatározható.

PAULI-ELV

A több elektront tartalmazó kvantummechanikai rendszerekben (atom, molekula, kristály, stb.) minden egyes elektron más-más kvantumállapotban van.

Ennek megfelelően az atomokban az elektron állapotát jellemző négy kvantumszám közül legalább egynek különbözőnek kell lennie, ha az atom bármely két elektronját összehasonlítjuk.

VEZETÉSI MECHANIZMUSOK



VEZETŐK TÍPUSAI (FAJAI)

1.-fajú vezetők azok, amelyekben az áramvezetés nem jár anyagátvitellel (fémek, félvezetők, pl. szén grafit módosulata).

2.-fajú vezetők azok, amelyekben az áramvezetés anyagátvitellel jár (elektrolitok; ionok, azaz anyag mozgása a közegben).

VEZETÉS GÁZOKBAN

A gázok elektromosan semleges atomokból és molekulákból állnak. Normál körülményekben a gázok dielektrikumok.

A gázok elektromos vezetése ionizálásuk következtében jön létre.

Ionizálásnak nevezzük az elektronok a gázok atomjairól, molekuláiról való leszakadásának folyamatát.

Az ionizálás eredménye: elektron és pozitív ion keletkezése.

Másik folyamat: semleges atom, molekula + elektron = negatív ion.

VEZETÉS GÁZOKBAN

Egy atom (molekula) ionizálása közben A_i ionizálási munka végződik az elszakadó elektron és az atom (molekula) más részecskéi között fennálló kölcsönhatás ellen.

Ez a munka a gáz kémiai természete és az atom (molekula) elektronjának energiaállapotától függ.

φ_i ionizálási potenciálnak nevezzük azt a potenciálkülönbséget, amelyet meg kell tenni a gyorsító elektromos mezőben az elektronnak ahhoz, hogy az energianövekedése az A_i ionizálási munkával azonos értékűvé váljon.

VEZETÉS GÁZOKBAN

A gáz ionizálása külső hatások által történik:

- erős melegítés;
- röntgen sugárzás;
- radioaktív sugárzás;
- kozmikus sugárzás

• a gáz atomjainak (molekuláinak) bombázása gyorsan mozgó elektronokkal vagy ionokkal.

Az ütközési ionizáláshoz szükséges részecske energia: $mv^2/2 = A_i(1 + m/M)$,

ahol m az ütköző elektron vagy ion tömege, M az atom tömege, A_i az ionizálási munka.

VEZETÉS GÁZOKBAN

Ha a gázok elektromos vezetése külső ionizálók okozzák, akkor a gázon átfolyó elektromos áramot nem-önfenntartó gázkisülésnek nevezzük.

Ionok elektromos töltésének elvesztési folyamatát rekombinációnak nevezzük.

Nagy feszültség mellett a gázban levő töltéshordozók száma nem a külső ionizáló hatás szabja meg (a gázkisülés a külső ionizáló hatás beszüntetése után is folytatódik), hanem azok a vezetés mechanizmusa (ütközési ionizálás) során keletkeznek. Ezt a gázban végbemenő áramvezetési folyamatot önfenn tartó gázkisülésnek nevezik.

VEZETÉS GÁZOKBAN

A nem-önfenntartó gázkisülés átmenete önfenn tartó gázkisülésbe elektromos átütésnek nevezzük.

Az átmenet U_g gyújtásfeszültségnél (átütési feszültségnél) történik. U_g értéke függ az ionizálási potenciáltól, illetve az elektronok kilépési energiájától.

U_g értéke ezenkívül a gáz nyomásától és a sík elektróda közötti távolság függvényében.

Az önfenn tartó gázkisülések látványos kísérője a fénykibocsátás.

VEZETÉS FOLYADÉKOKBAN

Az elektromosan vezető folyadékokat elektrolitoknak nevezzük.

Ezek sók, savak, bázisok (alkáli, alkáliföld fémek oxidjai) vizes oldatai.

Az elektromos áram folyása ilyen folyadékokban elektrolízissel jár.

Az elektromos áram hatására oldatból történő anyagkiválasztást elektrolízisnek nevezzük.

A kiváló anyagok minősége az elektrolit minőségétől függ.

VEZETÉS FOLYADÉKOKBAN

A semleges folyadékmolekulák szétválási folyamatát pozitív és negatív ionokra oldás hatására elektrolitos disszociációnak nevezzük.

Faraday 1. törvénye: az elektrolízis során az elektródokon kiváló anyagok mennyisége az elektroliton áthaladt töltés mennyiségével arányos.

$$m = kt = kQ,$$

ahol m a kiváló anyag tömege, Q az elektroliton áthaladt töltésmennyiség, k az ún. elektrokémiai egyenérték.

VEZETÉS FOLYADÉKOKBAN

A k számértékileg azt adja meg, hogy 1 C töltés hány mg anyagot választ ki.

Egy anyag kémiai egyenértéksúlyán A atomsúlyának és z vegyértékének hányadosát értik.

Faraday 2. törvénye: a különböző anyagok elektrokémiai egyenértékei úgy aránylanak egymáshoz, mint kémiai egyenértékei (A/z).

$$k = (1/F)(A/z),$$

ahol A és z az anyag atomsúlya és vegyértéke, F a Faraday-állandó ($F = 96494$ C/mól).

VEZETÉS FÉMEKBEN

A fématomok vegyértékelektronjai közösek, azaz nem tartoznak egy bizonyos atomhoz. Ez az oka annak, hogy a fémekben a vezetési elektronok az áramvezetők.

Klasszikus megközelítésben a vezetési elektronokat elektrongáznak tekintjük, mely részecskéi 3 szabadságfokkal bírnak.

Pontosabb megközelítésben az elektrongázt elfajult (degenerált) kvantumgázként kezeljük, melyet a Fermi-Dirac statisztika ír le:

$$f(E) = 1 / (1 + \exp((E - E_F) / kT)),$$

ahol E_F a Fermi-energia (-szint) az elfoglalt (telített) állapotok határenergija abszolút 0 K hőmérsékletnél, T az abszolút hőmérséklet, k a Boltzmann-állandó.

VEZETÉS FÉMEKBEN

A gázok elfajultságának kritériuma:

$$T \leq T_o,$$

ahol $T_o = (h^2(n_o)^{3/2}) / (2\pi mk)$.

A fémekben $n_o \approx 10^{22} - 10^{23}$ cm⁻³, azaz $T_o \approx (16 - 20) \cdot 10^3$ K.

Tehát a fémek elektron gáza mindig elfajult az elektron alacsony tömege ($m \approx 10^{-30}$ kg) és a magas részecskesűrűség miatt.

VEZETÉS FÉMEKBEN

A fématomok vegyértékelektronjai közösek, azaz nem tartoznak egy bizonyos atomhoz. Ez az oka annak, hogy a fémekben a vezetési elektronok az áramvezetők.

Klasszikus megközelítésben n_o a vezetési elektronok száma 1 cm³ egy vegyértékű fémében:

$$n_o = N_A(A\rho),$$

ahol N_A az Avogadro-szám, A és ρ a fém atomi súlya, illetve sűrűsége. Nagyságrendben $n_o = 10^{22} - 10^{23}$ cm⁻³.

VEZETÉS FÉMEKBEN

Klasszikus elmélet szerint az elektronok kaotikus hőmozgása szobahőmérsékleteknél $\langle v \rangle = 10^5$ cm/s átlagsebességgel történik.

Drude-Lorentz elmélete alapján az elektronok $\langle \lambda \rangle$ átlagos szabad úthossza nagyságrendben megegyezik a fém kristályrács periódusával (10^{-8} cm).

Kvantum elméletben a fémbeli elektronok a hullám- (kvantum)-mechanika törvényeivel és a Fermi-Dirac kvantumstatistika alapján írhatjuk le („potenciális doboz” modell, sáv szerkezet).

VEZETÉS FÉMEKBEN

Az elektronok által elfoglalt energiaszinteknek a száma nagyságrendben megegyezik a fémbe levő szabad elektronok számával.

A fémbe a közel elhelyezkedő (kvázifolytonos) energiaszintek energiasávokat alkotnak.

A legalsó elektronokkal csak részben feltöltött energiasávot a fémek vezetési sávjának nevezik. Olyan esetek is lehetségesek, mikor a két egymás utáni sáv (vezetési és vegyérték sáv) átlapol (pl. alkáliföld és átmeneti fémek).

A fémvezetés jellemző sajátossága egy elektronok általi nem teljesen feltöltött sávnak a megléte.

VEZETÉS FÉMEKBEN

A fémek kvantummechanikája az elektronok és a kristályrács pozitív ionjainak kölcsönhatását az elektronhullámok a rács ionjainak hőrezgéseiben való szórásaként vizsgálja.

Egy fémvezetőben az elektronok rendezett mozgása külső elektromos mező által jön létre.

Az áramsűrűség

$$j = en_o \langle v \rangle,$$

ahol n_o a vezetési elektronok száma egységnyi térfogatban, e az elektron töltésének abszolút értéke, $\langle v \rangle$ az elektronok irányított mozgásának átlagsebessége.

VEZETÉS FÉMEKBEN

Legnagyobb megengedett áramsűrűségeknél a $\langle v \rangle = 10^2$ cm/s.

Egy áramkörben az áram beállási ideje $t = L/c$, ahol L az áramkör hossza, c a fény sebessége a vákuumban. Ez az az idő, melynek folyamán beáll az állandó elektromos mező és elkezdődik az elektronok rendezett mozgása.

Az Ohm-törvény áramsűrűsége

$$j = \sigma E.$$

Egy vezető áramsűrűsége a fém σ fajlagos vezetőképességének és az elektromos mező E térerősségének szorzata.

VEZETÉS FÉMEKBEN

Klasszikus elektromos elméletben a σ értéke

$$\sigma = (n_o e^2 \langle \lambda \rangle) / (2m \langle v_r \rangle),$$

ahol n_o az elektronok száma 1 cm³ fémterefogatban, az elektronok hőmozgásának $\langle v_r \rangle$ átlagsebessége adott hőmérsékletnél.

A fémek kvantummechanikája szerint

$$\sigma = (n_o e^2 \langle \lambda \rangle) / p_F,$$

ahol p_F az E_F Fermi-szinten elhelyezkedő elektron impulzusa, a p_F nem függ a hőmérséklettől; $\langle \lambda \rangle$ a fémbe terjedő elektronhullámok szabad átlag-úthossza.

VEZETÉS FÉMEKBEN

Szobahőmérsékleteknél $\langle \lambda \rangle = \lambda(E_F)$ és gyorsan növekszik a hőmérséklet csökkenésével.

Az Ohm-törvény magas áramsűrűségeknél megszakad.

A w áram hőteljesítménysűrűségnek nevezik azt az energiamennyiséget, mely átadódik a kristályrács ionjainak egységnyi vezetőtérfogatban, egységnyi idő alatt az ionok és elektronok közötti kölcsönhatás következtében.

Joule-Lenz törvénye az áram hőteljesítménysűrűsége:

$$w = \sigma E^2.$$

VEZETÉS FÉMEKBEN

A K hővezetési tényező jelentése: az 1 m^2 -es keresztmetszeten 1 s alatt átáramló hő számértéke 1 K -es hőmérsékletkülönbség esetén ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$).

Wiedemann-Franz-törvény:

Az összes fémnél a K hővezetési tényező és a σ fajlagos vezetőképesség aránya egyenes arányos a T abszolút hőmérséklettel

$$K/\sigma = CT = 3(k/e)^2 T,$$

ahol k a Boltzmann-állandó, e az elektron töltése, C állandó.

VEZETÉS FÉMEKBEN

Wiedemann-Franz törvénye annak a következménye, hogy a fémek hő- és elektromos vezetése szabad elektronok által valósul meg.

A fémek kvantummechanikája szerint

$$C = (\pi^2/3)(k/e)^2.$$

A C ezen értéke szobahőmérsékleteknél jól egyezik a gyakorlati értékekkel.

VEZETÉS FÉMEKBEN

Egy vezető ρ fajlagos ellenállásának hőmérsékletfüggése:

$$\rho_t = \rho_{20}[1 + \alpha(t-20)],$$

ahol ρ_{20} a vezető fajlagos ellenállása $20 \text{ }^\circ\text{C}$ -nál, t a vezető hőmérséklete $^\circ\text{C}$ -ban, α a vezető (ellenállás) hőmérsékleti tényezője.

0 - $100 \text{ }^\circ\text{C}$ hőmérséklettartományban a fémek többségének α értéke $(3,3-6,2) \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ intervallumba esik.

A ρ és σ hőmérsékletfüggése tiszta fémek (és bizonyos fémes ötvözetek) esetén a $\langle \lambda \rangle$ hőmérsékletfüggésével magyarázható.

VEZETÉS FÉMEKBEN

Minden hőmérsékletnél, kivéve a $T=0 \text{ K}$, az elektronhullámok az ion hőrezgéseinek (fononok) szóródnak.

A szóródás mértéke annál nagyobb, minél magasabb a hőmérséklet. Eközben a $\langle \lambda \rangle$ és a σ fordítottan arányosak az abszolút hőmérséklettel (nem túl alacsony hőmérséklettartományban).

Bizonyos fémekben és ötvözetekben megfigyelhető a szupravezetés-jelenség, melynek lényege, hogy egy bizonyos kritikus hőmérsékletnél alább ezen anyagok ellenállása elhanyagolhatóan kicsivé válik.

VEZETÉS FÉMEKBEN

A valós fémek ellenállása az abszolút nulla hőmérsékletéhez közelítve állandó értéket vesz, amelyet maradék-ellenállásnak neveznek.

A maradék-ellenállás többnyire a szennyezőkön (idegen atomok) történő elektronszórás következménye, kisebb mértékben egyéb rács hibák (diszlokációk, szemcsehatárok, szekunder halmazállapotok) befolyásolják annak értékét.

A fémek ρ fajlagos ellenállása Matthiesen-szabállyal írható le, azaz a fém teljes ellenállása a $\rho_T = BT$ (B állandó) hőmérsékletfüggő (rácsionok mozgásának következménye) és a ρ_R maradék-ellenállás összetevők összege:

$$\rho = \rho_T + \rho_R.$$