

VEZETÉSI JELENSÉGEK, VEZETŐANYAGOK



**ANYAGTUDOMÁNY ÉS
TECHNOLÓGIA TANSZÉK**
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Elektronikai technológia és anyagismeret – VIETAB00

Vezetési jelenségek,
vezetőanyagok

1

ELEKTROMOS VEZETÉSI FOLYAMATBAN TÖLTÉST TOVÁBBÍTÓ (ELMOZDULNI KÉPES) RÉSZECSKÉK:

Vezetők	fémek ötvözetek elektrolitok plazma áll. gázok	szabad elektron szabad elektron + és - ionok + és - ionok
Félvezetők	elemi vegyület	szabad elektronok, lyukak szabad elektronok, lyukak
Szigetelők	kovalens kristályok ionos kristályok folyadékok gázok	szabad elektronok, lyukak szabad elektronok, lyukak + és - ionok + és - ionok

Vezetési jelenségek
2/25

2

VEZETŐ ANYAGOK KLASSZIKUS CSOPORTOSÍTÁSA

σ (fajlagos vezetőképesség)
Siemens/m, 1/Ohm m

$< 10^{-8}$ S/m $10^{-8} - 10^6$ S/m $> 10^6$ S/m	szigetelő félvezető fémes vezető
---	--

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

$$\rho [\Omega m]$$

$$\sigma \left[\frac{S}{m} \right]$$

Vezetési jelenségek
3/25

3

Vezetési jelenségek, vezetőanyagok

VEZETÉSI JELENSÉGEK, VEZETŐANYAGOK

FAJLAGOS ELLENÁLLÁS IRÁNYFÜGGÉSE

izotróp (kőbös szerkezetű egykristályok, polikristályok)

anizotróp (alacsony szimmetriájú kristályok: hex., tetragonális ...)

pl: Cd, Mg, Zn, C (grafit): $\frac{\rho_{parallel}}{\rho_{perpendicular}} \approx 1000$

Vezetési jelenségek

4/25

4

VEZETÉSI MECHANIZMUSOK LEÍRÁSA

Klasszikus (Sommerfeld-féle, szabad-elektron modell)

Feltételezés: elektronok között nincs kölcsönhatás (ideális gáz)

Elektron mozgása:

Rendezetlen termikus mozgás + sodródás (drift)

Kvantummechanikai leírás

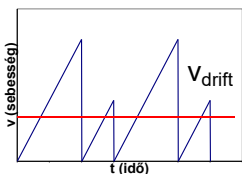
Elektronhoz rendelt síkhullám mozgása a rácspériodikus potenciálterben. Vezető test: potenciálgödör.

Vezetési jelenségek

5/25

5

KLASSZIKUS VEZETÉSI MODELL



Az elektronok az elektromos térerősség hatására folyamatosan gyorsulnak, az atomtörzseknek ütközve megállnak, majd újra gyorsulnak.

$$v_d = \mu \cdot E$$

v_d : driftsebesség (sodródási seb.)

q : az elektron töltése

n : a szabad elektronok száma

τ : két ütközés közötti átlagos idő

a : gyorsulás

F : az elektronra ható erő

m : az elektron tömege

E : elektromos térerősség

s : fajlagos vezetőképesség

$$j = q \cdot n \cdot v_d$$

$$a = \frac{F}{m} = \frac{q \cdot E}{m} \Rightarrow v_d = \frac{q \cdot E}{2 \cdot m} \tau$$

$$j = \frac{n \cdot q^2 \cdot \tau}{2 \cdot m} E = \sigma \cdot E$$

Vezetési jelenségek

6/25

6

Vezetési jelenségek, vezetőanyagok

VEZETÉSI JELENSÉGEK, VEZETŐANYAGOK

KLASSZIKUS VEZETÉSI MODELL

Eredmények:

- Differenciális Ohm-törvény
- 1-2 vegyértékű fémekre jó fajlagos ellenállás értékek

Problémák:

- azonos fém allotróp módosulatainak különböző vezetését nem magyarázza meg
- többvegyértékű fémek (fajlagos ellenállás hibás)
- Félvezetők, szigetelők fajlagos ellenállásának hőmérsékletfüggését nem magyarázza meg
- σ (T, megvilágítás, külső E, sugárzás...) nem definiált

Vezetési jelenségek

7/25

7

FÉMEK FAJLAGOS ELLENÁLLÁSÁT BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK

Kristálysírk torzulása $\Rightarrow \rho$ növekedése

- termikus rácsrezgések
- termikusan aktivált ponthibák
- diszlokációk (alakítás)
- felületszerű hibák (szemcseméret)
- térfogati hibák (kiválások, új fázis)
- rácstorzulás (szilárd oldatos ötvöztetés)
- ...

Matthiesen-szabály (az egyes tényezők szeparálható függvényként fejtik ki hatásukat)

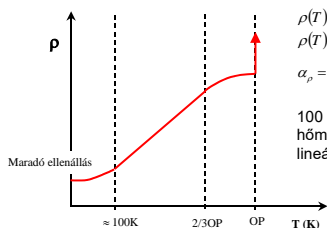
$$\rho(T, c, \varepsilon) = \rho_1(T) + \rho_2(c) + \rho_3(\varepsilon) + \dots$$

Vezetési jelenségek

8/25

8

ρ HŐMÉRSÉKLETFÜGGÉSE (FÉMES VEZETŐ)



$$\rho(T) = \rho_0(1 + \alpha\Delta T + \beta\Delta T^2 + \dots + \mu\Delta T^n)$$

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

$$\alpha_\rho = \frac{1}{\rho_0} \frac{\Delta\rho}{\Delta T}$$

100 K felett a fajlagos ellenállás hőmérsékletfüggése jó közelítéssel lineáris.

kristályhibák \Rightarrow maradó ellenállás
Szupravezető: maradó ellenállás nulla

Lineáris viselkedéstől eltér, ha van:
ferro-paramágneses átmenet
allotróp átalakulás, fázis átalakulás

Vezetési jelenségek

9/25

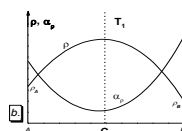
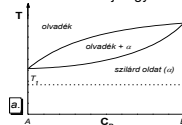
9

Vezetési jelenségek, vezetőanyagok

VEZETÉSI JELENSÉGEK, VEZETŐANYAGOK

ÖTVÖZÉS HATÁSA

A két alkotó korlátlan mértékben oldja egymást



$$\Delta\rho_{olv} = Ac(1-c)$$

Vezetési jelenségek

10/25

10

ÖTVÖZÉS HATÁSA

Nordheim-szabály: ha az alkotók szilárd oldatot és második fázist is létrehozhatnak akkor a fajlagos ellenállás:

$$\rho = \rho_A + (\rho_A - \rho_B)c_B + Ac_B(1 - c_B)$$

Mott-szabály: szilárd oldatok esetén kis ötvözőkoncentrációnál az (1-C) közelítőleg 1 lesz, vagyis az egyik (pl. A) alkotóban gazdag ötvözetben a másik (pl. B) alkotó atomjai által okozott ellenállás-növekmény egyenlő lesz az A atom által okozott növekménnyel, ha az ötvözet B atomokban gazdag.

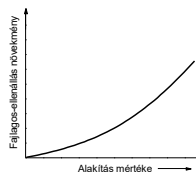
$$\Delta\rho = Ac \Rightarrow \Delta\rho_{AB} = \Delta\rho_{BA}$$

Vezetési jelenségek

11/25

11

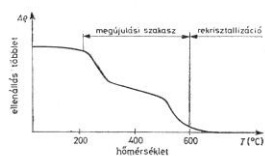
KÉPLÉKENY ALAKÍTÁS, HŐKEZELÉS HATÁSA



Képlékeny alakítás \Rightarrow vakanciák, diszlokációk, növelik a fajlagos ellenállást

$$\Delta\rho_\varepsilon = k \cdot \varepsilon^n$$

$$\ln \Delta\rho_\varepsilon = n \ln \varepsilon + \ln k$$



Újrakristályosodás hatására egyensúly felé tart a rendszer, ρ csökken.

Vezetési jelenségek

12/25

12

Vezetési jelenségek, vezetőanyagok

VEZETÉSI JELENSÉGEK, VEZETŐANYAGOK

NYOMÁS ÉS RÉTEGVASTAGSÁG HATÁSA

Nyomás (hidrosztatikus) hatása: ρ növekszik

Rétegvastagság hatása

ha az e- szabad úthossza összemérhetővé válik a rétegvastagsággal

k: felület minősége (jellemző konstans)

a: alaktényező (huzal, lemez)

d: vastagság, átmérő

λ : e- szabad úthossza

$$+\Delta\rho = k \cdot a \cdot \rho \cdot \frac{\lambda}{d}$$

$$\lambda = v_{drift} \cdot \tau$$

Vezetési jelenségek

13/25

13

VEZETŐANYAGOK

Vezetékanyagok:

Cu és ötvözetek

Al és ötvözetek

Fe és ötvözetek

Hőelemek aktív anyagai

Cu - konstantán

Fe - konstantán

Ni - CrNi, Pt - PtRh

Érintkezőanyagok

kis átmeneti ellenállás

jó hővezetés

jó iválóság

nagy szilárdság

kopásállóság

pl. Au, Ag, W, Pt,

Cu-Ag, Cu-Ag-Au,

kompozitok, pl. Ag-CdO

Üveg- és kerámiaátvezetők

kis hőtágulási együttható

pl. Fe - Ni ötvözet 36-42% Ni

Kettősfémek

két eltérő hőtágulású anyag

összehengerelve

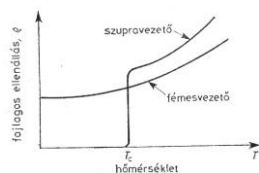
Forrasanyagok

Vezetési jelenségek

14/25

14

SZUPRAVEZETÉS



Kamerlingh Onnes, 1911 (Hg)

28 elem és több mint 1000 vegyület

Nb 7,2K

Nb₃Sn 18,1K

Nb₃Al 17,5K

V₃Si 17K

V₃Ga 16,8K

Szupervezető anyag a kritikus hőmérséklet alatti hőmérsékleten elveszti az elektromos ellenállását.

Vezetési jelenségek

15/25

15

Vezetési jelenségek, vezetőanyagok

VEZETÉSI JELENSÉGEK, VEZETŐANYAGOK

SZUPRAVEZETŐ ELEMÉK A PERIÓDUSOS RENDSZERBEN

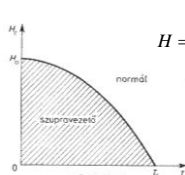
H																	He
Li	Be	Légköri nyomáson szupravezetővé válik										B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg	Csak nagy nyomáson válik szupravezetővé										Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt									
		Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu		
		Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr		

Vezetési jelenségek

16/25

16

T_C , H_C , (J_C) HATÁSA



$$H = H_0 \left[1 - \left(\frac{T}{T_C} \right)^2 \right]$$

$$H = \frac{j}{2r\pi}$$

H: mágneses télerősség
 H_0 : kritikus mágneses tér
 T: hőmérséklet
 T_C : kritikus hőmérséklet
 j: áramsűrűség
 r: a vezető keresztmetszetének sugara

A szupravezető állapot nem csak a kritikus hőmérséklet, hanem egy kritikus mágneses télerősség miatt is megszűnhet. Ezt a télerősséget a szupravezető huzalban folyó áram is előidézheti. Emiatt a szupravezető huzalok nem használhatók tetszőlegesen nagy áramok továbbítására.

Vezetési jelenségek

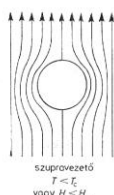
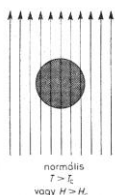
17/25

17

MEISSNER-EFFEKTUS

Mágneses tér erővonalai kiszorulnak

Szupravezető: ideális diamágnes (I. fajú)



$$\vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{M}) = 0$$

$$\vec{M} = \kappa \vec{H}$$

$$B = 0 \Rightarrow \vec{H} = -\vec{M} \Rightarrow \kappa = -1$$

B: mágneses indukció
 μ_0 : mágneses permeabilitás
 M: mágnesezettség
 k: szuszceptibilitás

Vezetési jelenségek

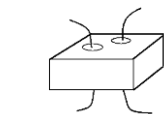
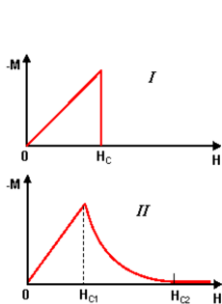
18/25

18

Vezetési jelenségek, vezetőanyagok

VEZETÉSI JELENSÉGEK, VEZETŐANYAGOK

I. ÉS II. FAJÚ SZUPRAVEZETŐK



I. és II. fajú szupravezetők M mágneseszettségének alakulása a külső tér függvényében

H_{c1} : alsó kritikus térerő
 H_{c2} : felső kritikus térerő
 H_{c1} alatt: ideális diamágnes
 H_{c1} - H_{c2} : H tér behatol

Vezetési jelenségek

19/25

19

ISMERTEBB I. ÉS II. FAJÚ SZUPRAVEZETŐ ELEMÉK ÉS T_c (K)

				Al	
				1,18	
Ti	V		Zn	Ga	
0,39	5,03		0,86	1,09	
Zr	Nb	***	Cd	In	Sn
0,55	9,5		0,52	3,41	3,72
	Ta		Hg	Tl	Pb
	4,48		4,15	2,37	7,19

Vezetési jelenségek

20/25

20

SZUPRAVEZETŐ ANYAGTÍPUSOK

- Elem
- Ötvözet
- Vegyület (intermetallikus)
- Kerámia (rideg, törékeny, magas T_c)

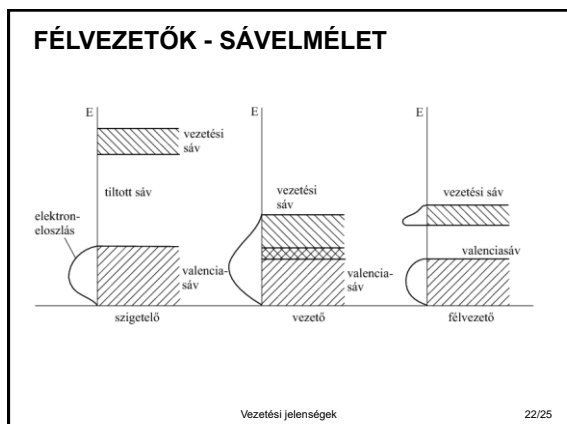
Vezetési jelenségek

21/25

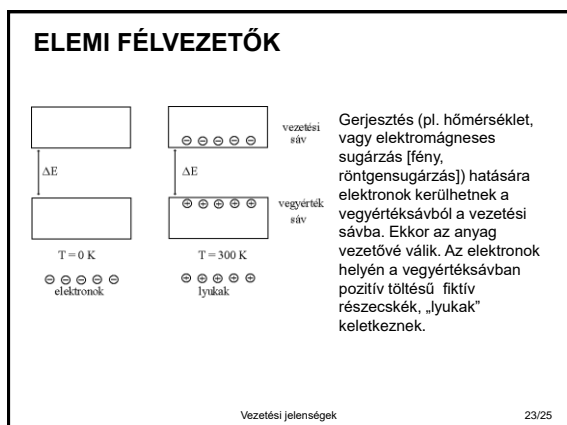
21

Vezetési jelenségek, vezetőanyagok

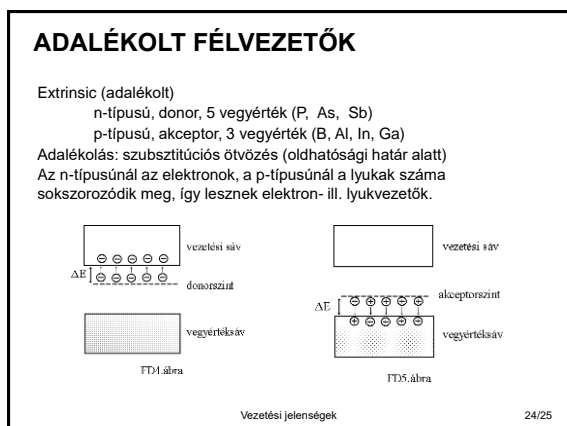
VEZETÉSI JELENSÉGEK, VEZETŐANYAGOK



22



23



24

Vezetési jelenségek, vezetőanyagok

VEZETÉSI JELENSÉGEK, VEZETŐANYAGOK

FÉLVEZETŐK CSOPORTOSÍTÁSA

	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>	<i>VII</i>
<i>II</i>	Be	B	C	N	O	
<i>III</i>	Mg	Al	Si	P	S	Cl
<i>IV</i>	Ca	Ga	Ge	As	Se	Br
<i>V</i>	Zn	In	Sn	Sb	Te	I
<i>VI</i>	Sr		Pb	Bi	Po	At
<i>VII</i>	Cd					

Elemi félvezető (Si, Ge...)

Vegyületfélvezetők: biner, ternér, kvaternér... ($A^{III}B^V$, $A^{II}B^{VI}$)

Vezetési jelenségek

25/25
