

Fogorvosi anyagtan fizikai alapjai

10.

Hőtani, elektromos, kémiai és optikai tulajdonságok

Kiemelt témák:

- ❖ Elektromosságban alapfogalmak
- ❖ Szilárdtestek energiasáv modelljei
- ❖ Félvezetők és alkalmazásai

Tankönyv fej.:
19

Házi feladat:
5. fej.:
1, 2, 5, 6, 8, 9, 10,
32, 35

1

Hőtani tulajdonságok

- hőmérséklet
- hőfelvétel/leadás



$$\text{hőkapacitás (C): } C = \frac{\Delta Q}{\Delta T}$$

$$\text{moláris hőkapacitás (c}_v\text{): } c_v = \frac{C}{\nu}$$

$$\text{fajlagos hőkapacitás – fajhő (c): } c = \frac{C}{m}$$



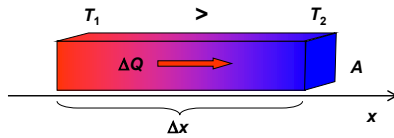
Néhány fogászati anyag fajhője:

anyag	c (J/(kg·K))
fogzománc	750
dentin	1260
víz	4190
amalgám	210
arany	126
porcelán	1100
üveg	800
PMMA	1460
cinkfoszfát	500

2

• hővezetés

- rácsrezgések
- szabad elektronok



$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = -\lambda A \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad \text{Fourier-törvény}$$

λ — hővezető képesség
hővezetési együttható
 $\text{J}/(\text{s} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{m}) = \text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

Stacionárius esetre jó jellemző!

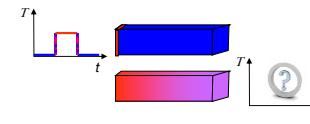
Néhány fogászati anyag hővezetési együtthatója:

anyag	λ (W/(mK))
fogzománc	0,9
dentin	0,6
víz	0,44
amalgám	23
arany	300
porcelán	1
üveg	0,6-1,4
akrilát	0,2
PMMA	0,2-0,3
cinkfoszfát	1,2



3

Nemstacionárius körülmények között:



$$D = \frac{\lambda}{c \cdot \rho}$$

D — hőmérséklet-vezetési
együttható
(hődiffúziivitás)
(m^2/s)



Néhány fogászati anyag hődiffúziivitása:

anyag	λ (W/(mK))	D ($10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$)
fogzománc	0,9	0,5
dentin	0,6	0,2
víz	0,44	0,14
amalgám	23	9,6
arany	300	118
porcelán	1	0,4
üveg	0,6-1,4	0,3-0,7
akrilát	0,2	0,1
PMMA	0,2-0,3	0,12
cinkfoszfát	1,2	0,3

4

• hőtágulás

Lineáris hőtágulás:

$$\frac{\Delta l}{l} = \alpha \Delta T$$

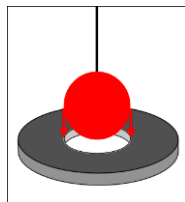
α — lineáris hőtágulási együttható (1/K)

Térfogati hőtágulás:

$$\frac{\Delta V}{V} = \beta \Delta T$$

β — térfogati hőtágulási együttható (1/K)

$$\beta = 3\alpha$$

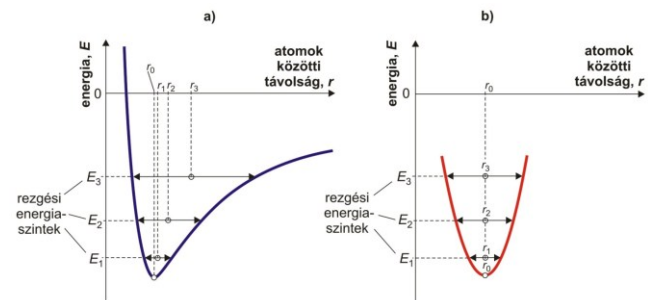


Néhány fogászati anyag lineáris hőtágulási együtthatója:

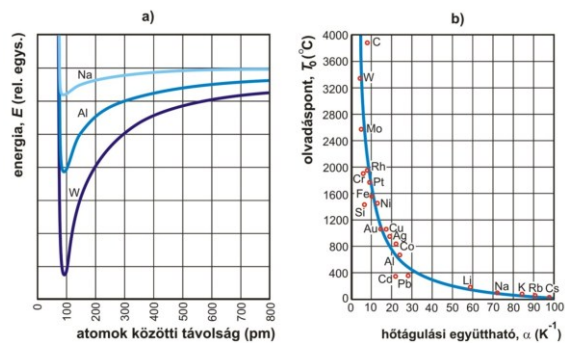
anyag	α (10^{-6} 1/K)
fogzománc	11,4
dentin	8,3
arany	14,2
aranyötvezetek	11-16
amalgám	≈ 25
porcelán	4-16
akrilát	90
üveg	8
PMMA	90-160
szilikon	100-200
gipsz	15-20
viasz	300-500

5

A hőtágulás háttere:



6



7

A hőtágulás (esetleges) következménye:

Különböző hőtágulás \Rightarrow feszültségek!

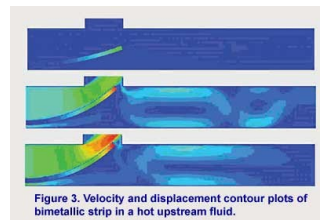
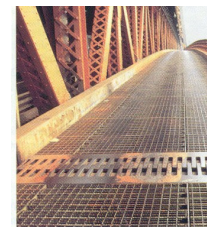
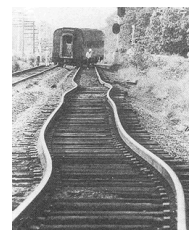
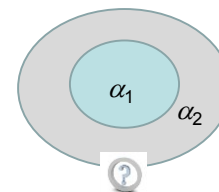
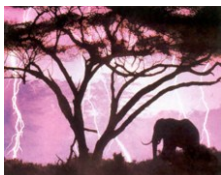


Figure 3. Velocity and displacement contour plots of bimetallic strip in a hot upstream fluid.



8

Elektromosságtani ismételés



Ismételés

9

Elektromos töltés

Töltés: anyaghoz kötött tulajdonsága egy testnek (mint a tömeg).
Makroszkopikus testek általában neutrálisak.



Elektron (görögül, ηλεκτρον) = borostyán

Elektron negatív, proton pozitív töltésű.

Az elektromos töltés kvantált, legkisebb értéke az elektron (proton) töltése abszolút értékben (e^-), az ún. **elemi töltés** (e).

Mértékegysége: 1 C (Coulomb) = 1 A s

$$e = |e^-| = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

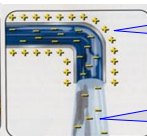
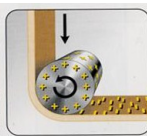
Faraday-állandó (1 mól proton össztöltése):

$$F = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C} \times 6 \times 10^{23} \text{ 1/mol} = 96\,500 \text{ C/mol}$$

10

Töltésszétválasztás

Az elektromos töltéseket dörzsöléssel választhatjuk el egymástól (statikus elektromosság = dörzsölési elektromosság).

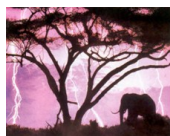


elektronhiány

elektrontöbblet



"I told you nylon carpets were a mistake."



Töltésszétválasztás után
kisülés!

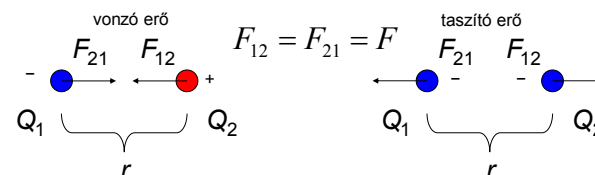
Ismételés

11

Elektromos kölcsönhatás

Elektromos töltéssel rendelkező testek egymásra hatnak:

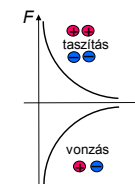
- különböző töltés esetén vonzás
- azonos töltések esetén taszítás



Coulomb-erő:

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

$$k = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$$



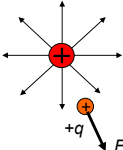
12

Elektromos tér (mező), erővonalak

Ha két test úgy áll kölcsönhatásban egymással, hogy nem érintkeznek, akkor a kölcsönhatásukat úgy képzeljük el, hogy közöttük egy erőter (mező) jön létre, és az közvetíti az erőhatást.

Az erőteret (mezőt) a térerősséggel jellemezzük, és az erővonalak segítségével tesszük szemléletessé.

elektromos térerősség, E :

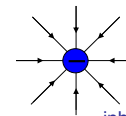
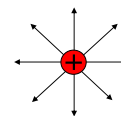
$$E = \frac{F}{q} \quad \left[\frac{N}{C} \right]$$


erővonalak:

- Iránya megadja a térerősség irányát
- Sűrűsége megmutatja a térerősség nagyságát

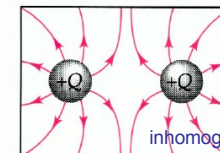
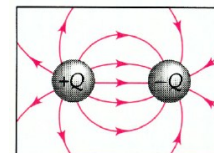
13

Ponttöltés tere:



inhomogén tér

Dipól és két azonos töltés tere:



inhomogén tér

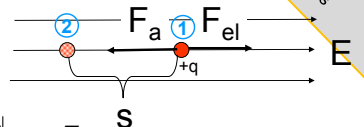
homogén tér:



14

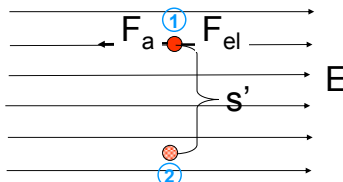
Munkavégzés elektromos tér ellenében:

Töltés mozgatása az erővonalakkal párhuzamosan:



$$W = |\vec{F}_a| \cdot s = |\vec{F}_{el}| \cdot s = q|\vec{E}|s = qEs$$

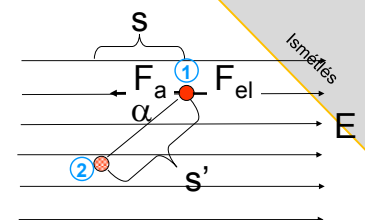
Töltés mozgatása az erővonalakra merőlegesen:



$$W = |\vec{F}_a| \cdot s' \cdot \cos \alpha = 0$$

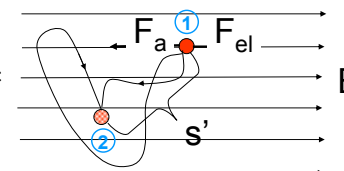
15

Töltés mozgatása „ferdén”:



$$W = |\vec{F}_a| \cdot s' \cdot \cos \alpha = qEs' \cdot \cos \alpha = qEs$$

W független az útvonaltól a két pont között, csak a két végponttól függ!



16

Feszültség (= potenciálkülönbség)

Tegyük fel, hogy $W_{1 \rightarrow 2}$ munkavégzés szükséges ahhoz, hogy egy q töltésű próbatöltet (próbatöltést) az elektromos mező 1-es pontjából a 2-es pontba vigyünk. $W_{1 \rightarrow 2} / q$ független a próbatöltés nagyságától, valamint az útvonaltól. Így:

Elektromos feszültség az 1-es és 2-es pontok között:

$$U_{21} = \frac{W_{1 \rightarrow 2}}{q} \quad \text{Mértékegység: Volt [V]} \quad 1 \text{ V} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ C}}$$

Megjegyzések:

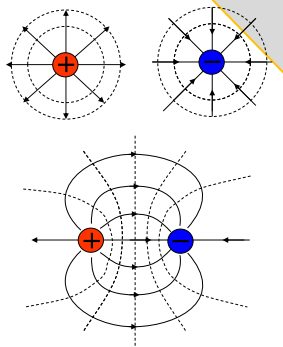
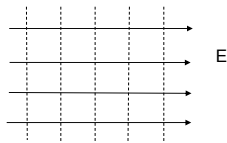
- ha $U_{21} > 0 \Rightarrow$ 2-es pont pozitívabb, mint az 1-es
- $U_{21} = -U_{12}$
- homogén térben: $U_{21} = W_{1 \rightarrow 2} / q = qEs / q = Es$
- pl. röntgencsőnél: $W = eU = \frac{1}{2} mv^2$
- $U_{21} = \varphi_2 - \varphi_1$

17

Potenciáltér, ekvipotenciális felületek

ekvipotenciális = azonos potenciállal rendelkező

Az ekvipotenciális vonalak, vagy felületek (szaggatott vonalak) és az erővonalak (folytonos vonalak) egymásra merőlegesen futnak.



Egy ekvipotenciális felületen való mozgásnál nincs munkavégzés!!

19

Elektromos potenciál

Jelölje $W_{0 \rightarrow i}$ azt a munkát, amely ahhoz szükséges, hogy egy q próbatöltést a 0 vonatkoztatási pontból az i pontba vigyünk.

$\frac{W_{0 \rightarrow i}}{q}$ független a próbatöltéstől és az útvonaltól!

Elektromos potenciál: $\varphi_i = \frac{W_{0 \rightarrow i}}{q}$ Mértékegység: Volt (V)

Az elektromos potenciál (φ_i) megadja az 1 C nagyságú próbatöltés potenciális energiáját az i pontban, miután az adott elektromos mezőben a vonatkoztatási pontból (0) az i pontba vittük.

Vonatkoztatási pontnak sokszor a végtelen távoli pontot választják, ekkor:

$$\varphi_i = \frac{W_{\infty \rightarrow i}}{q}$$

18

Elektromos áram

Írányított transzport, a töltéshordozók kollektív vándorlása

elektromos töltéshordozók = szabadon mozgó, elektromosan töltött részecskék
pl. fémekben: **elektronok**
pl. elektrolitoldatokban, vagy gázokban: **ionok**

Elektromos áramerősség (I):

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

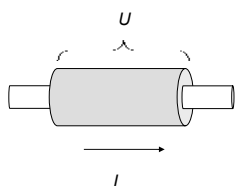
ΔQ : egy vezető keresztmetszetén Δt idő alatt átvándorló töltésmennyiség

Mértékegység: amper (A), $1 \text{ A} = 1 \text{ C/s}$

A technikai (konvencionális) áramirány: a pozitív töltéshordozók vándorlási iránya.

20

Ohm törvény



Egy vezető két vége közötti feszültség (potenciálkülönbség, U) és a vezetőben folyó áram erőssége (I) arányosak egymással.

$$U \sim I \quad \left\{ \begin{array}{l} U = RI \\ GU = I \end{array} \right.$$

R : elektromos ellenállás (rezisztencia)

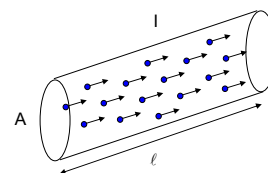
G : elektromos vezetés (konduktancia)

$$R = \frac{U}{I} \quad \text{mértékegység : ohm } (\Omega) \quad 1\Omega = \frac{1\text{V}}{1\text{A}}$$

$$G = \frac{1}{R} \quad \text{mértékegység : siemens (S), } 1\text{S} = \frac{1}{1\Omega}$$

21

Egy vezető ellenállása



$$I \sim v \sim E = U/l \\ I \sim Q \sim A$$

$$\left. \begin{array}{l} I \sim \frac{A}{l} U \\ I = \frac{U}{R} \end{array} \right\} R \sim \frac{l}{A} \Rightarrow R = \rho \frac{l}{A}$$

fajlagos ellenállás (rezisztivitás)
SI-mértékegység: Ωm

Fajlagos vezetés (vezetőképesség, konduktivitás) (σ): $\sigma = \frac{1}{\rho}$
SI-mértékegység: S/m

22

Egyéb tulajdonságok

• elektromos

Fajlagos ellenállás (ρ):

$$\rho = \frac{R \cdot A}{l} \quad (\Omega\text{m})$$

Fajlagos vezetés,
(fajlagos) vezetőképesség (σ):

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad ((\Omega\text{m})^{-1} = \text{S/m})$$

Elektromos vezetőképesség tényezői:

- szabad töltéshordozók (elektron, ionok) mennyisége
- mozgékonyáguk

anyag	σ (S/m)	
ezüst	$6,8 \cdot 10^7$	vezetők
arany	$4,3 \cdot 10^7$	
platina	$0,94 \cdot 10^7$	
germánium	2,2	
szilícium	$4 \cdot 10^{-4}$	félvezetők
cirkon	$\approx 10^{-10}$	
porcelán	$\approx 10^{-11}$	szigetelők
üveg	$\approx 10^{-13}$	
PMMA	$\approx 10^{-12}$	
PE	$\approx 10^{-16}$	

23

Elektronszerkezet - energiasávok

Sávok feltöltődése:

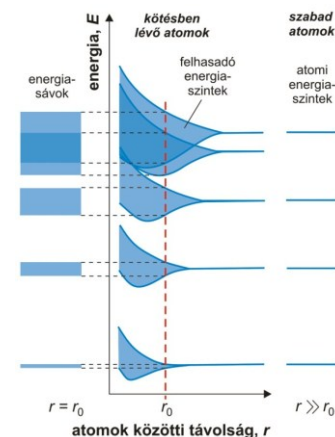
- energiaminimum
- Pauli-elv
- elektronok száma

• vezetési sáv

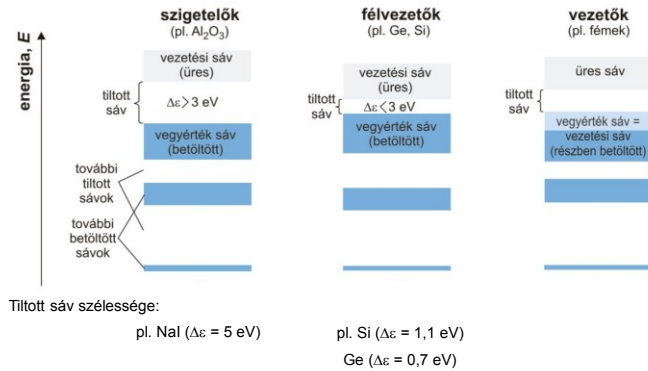
Az üres, ill. a részben betöltött sávok közül a legalsó.

• vegyértéksáv:

Azon sávok közül, amelyekben elektron található, a legfelső.

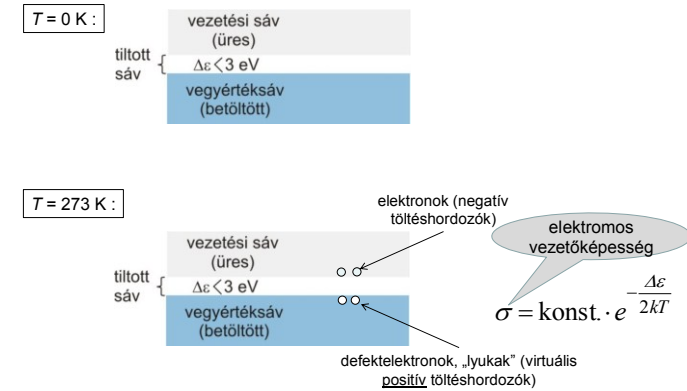


24



25

Tiszta félvezető (intrinsic vezetés)

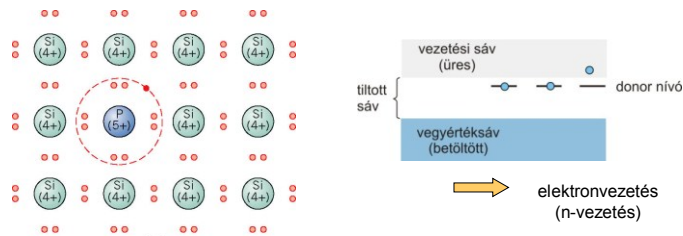


26

Szennyezett félvezető

n-félvezető
 adalék pl. P
 $_{15}\text{P}: 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3$

alapkristály pl. Si
 $_{14}\text{Si}: 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$

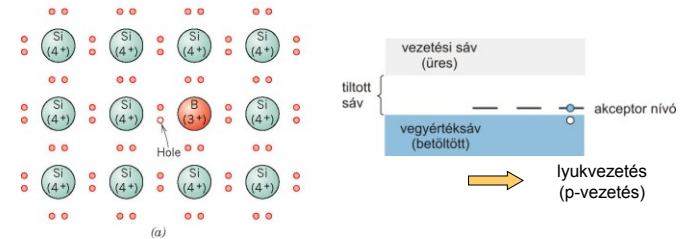


27

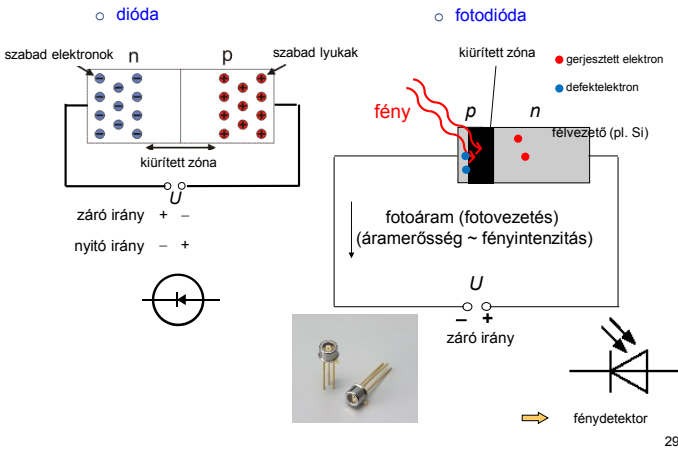
Szennyezett félvezető

p-félvezető
 adalék pl. B
 $_{5}\text{B}: 1s^2 2s^2 2p^1$

alapkristály pl. Si
 $_{14}\text{Si}: 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$

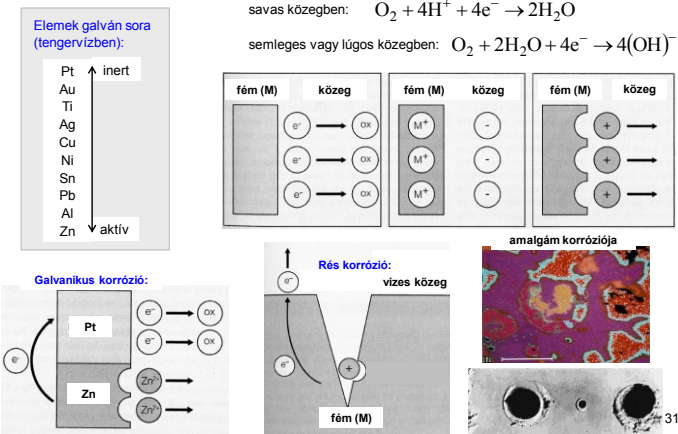
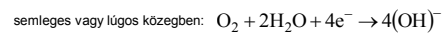
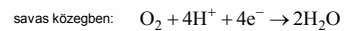


28

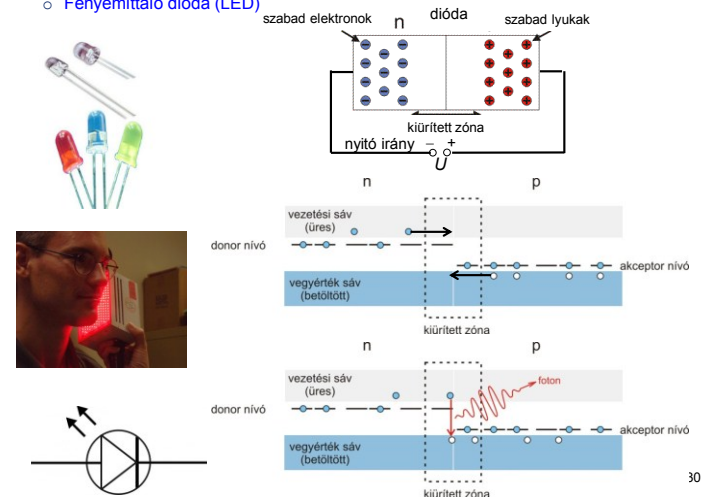


- kémiai

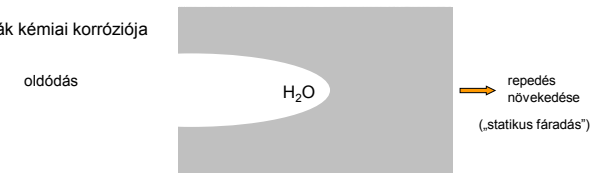
- Fémek oxidációja, korróziója $M \rightarrow M^{n+} + n \cdot e^{-}$



- Fényemittáló dióda (LED)



- Kerámiák kémiai korróziója



- Polimerek degradációja

