

# Bevezetés a lézeres anyag- megmunkálásba

FBN332E-1

Dr. Geretovszky Zsolt

2010. november 10.

## Kinetikai hatás 1.

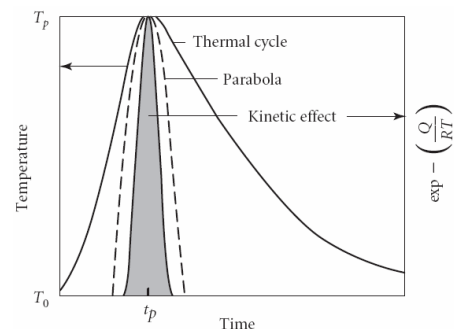
Általános esetben:

$$I = \int_0^{\infty} e^{-\frac{Q}{RT(t)}} dt$$

ahol  $Q$ : a folyamat aktivációs energiája  
 $R$ : az egyetemes gázállandó

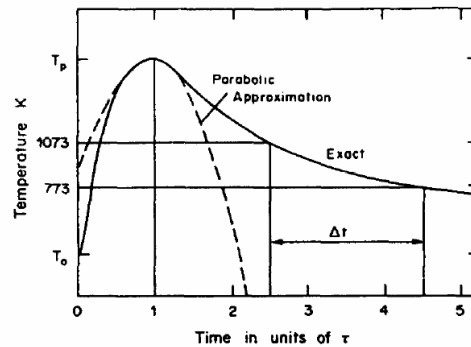
mivel a diffúzió a csúcshőmérséklet közelében a legjelentősebb így  
praktikus a kinetikai hatást ennek függvényében kifejezni:

$$I = \alpha t_p e^{-\frac{Q}{RT_p}}$$



## Kinetikai hatás 2.

A csúcshőmérséklet közelében a  $T(t)$  függvény jól közelíthető parabolával.



Ezzel a közelítéssel az  $\alpha$  és  $t_p$  zárt analitikus formában kifejezhető:

pontszerű felszíni forrás  $\alpha = \sqrt{\frac{2\pi RT_p}{Q}}$   $t_p = \frac{Aq}{v} \frac{1}{2\pi\lambda e} \frac{1}{T_p - T_0}$  e: a term. logaritmus alapszáma

vonalszerű mélységi forrás  $\alpha = 2\sqrt{\frac{\pi RT_p}{Q}}$   $t_p = \left(\frac{Aq}{vd}\right)^2 \frac{1}{4\pi\lambda\rho c e} \frac{1}{(T_p - T_0)^2}$  d: a lemez vastagság

## Kinetikai hatás 3.

Leggyakrabban azt szeretnénk, ha a változás leggyorsabban, vagy legnagyobb mértékben lejátszódna, ami ekvivalens azzal, hogy

$$T_p \approx T_m$$

Avagy

pontszerű felszíni forrás  $I = \sqrt{\frac{2\pi RT_m}{Q}} \frac{Aq}{v} \frac{1}{2\pi\lambda e} \frac{1}{T_m - T_0} e^{-\frac{Q}{RT_m}}$

vonalszerű mélységi forrás  $I = 2\sqrt{\frac{\pi RT_m}{Q}} \left(\frac{Aq}{vd}\right)^2 \frac{1}{4\pi\lambda\rho c e} \frac{1}{(T_m - T_0)^2} e^{-\frac{Q}{RT_m}}$

pl. diffúzióra  $Q/RT_m$  az egyes anyagcsaládokra kb. állandó,  
fémek: 15-20, kerámiák 22-27, gyémánt 31-36

# Kalibráció 1.

Tegyük fel, hogy bizonyos kísérleti körülmények között ( $\oplus$ ) ismerjük a kinetikai hatást.

$$I^{\oplus} = \alpha^{\oplus} t_p^{\oplus} e^{-\frac{Q}{RT_p^{\oplus}}}$$

Ha egy másik kísérlet során vagyunk kíváncsiak a kinetikai hatásra:

$$I = \alpha t_p e^{-\frac{Q}{RT_p}}$$

$$\frac{I}{I^{\oplus}} = \frac{\alpha t_p}{\alpha^{\oplus} t_p^{\oplus}} e^{-\frac{Q}{R} \left( \frac{1}{T_p} - \frac{1}{T_p^{\oplus}} \right)}$$

Ez egy általános esetben érvényes összefüggés, mellyel  $I$  számítható.

# Kalibráció 2.

Ha most még azt is feltételezzük, hogy mind a kalibráló, mind pedig az ismeretlen pontban közel vagyunk a megmunkált anyag olvadáspontjához:

$$T_p = T_p^{\oplus} \approx T_m$$

akkor

$$\frac{I}{I^{\oplus}} = \frac{\alpha t_p}{\alpha^{\oplus} t_p^{\oplus}}$$

Az  $\alpha$  és  $t_p$  értékeit beírva pedig

pontforrásra 
$$\frac{I}{I^{\oplus}} = \frac{qv^{\oplus}}{q^{\oplus}v}$$

vonalforrásra 
$$\frac{I}{I^{\oplus}} = \left( \frac{qv^{\oplus}d^{\oplus}}{q^{\oplus}vd} \right)^2$$

# Termikusan indukált folyamatok

- Diffúzió
- Szemcseméret növekedés (grain growth)
- Szinterelés (sintering)
- *Feldurvulás (particle coarsening)*

## Diffúzió 1.

A cél: az anyag felszínébe szeretnénk diffundáltatni egy másik komponenst  
pl. szenezés (carburization), félvezetők adalékolása (doping)

$$l \approx \sqrt{Dt}$$
$$D = ke^{\frac{Q}{RT}} \rightarrow l^2 = kte^{\frac{Q}{RT}}$$

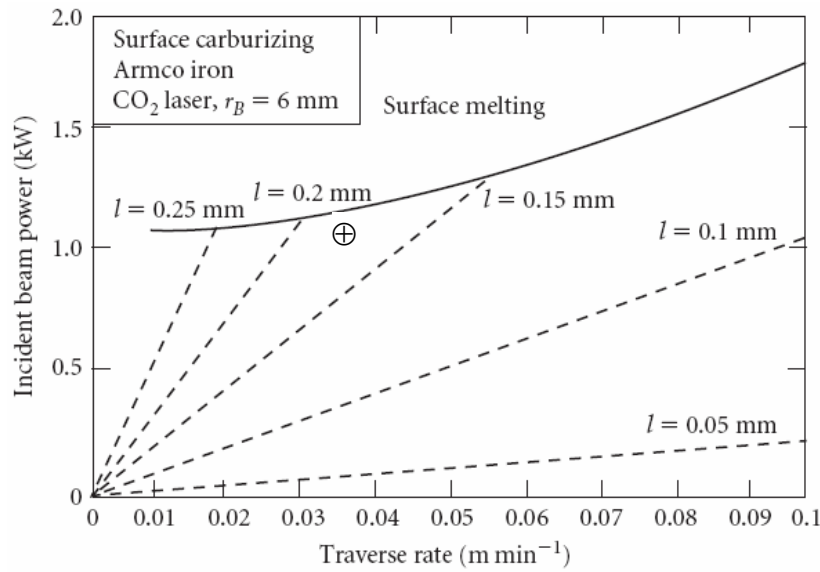
parabolikus közelítésben

$$l^2 = k\alpha t_p e^{\frac{Q}{RT_p}}$$

Kalibrációs pont ( $\oplus$ ) használatával pontforrásra:

$$\frac{l^2}{(l^\oplus)^2} = \frac{qv^\oplus}{q^\oplus v}$$

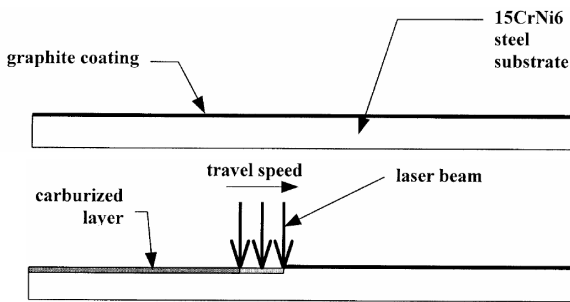
# Diffúzió 2.



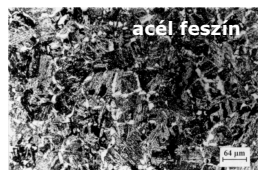
grafit diffúziója Armco acélba  
 CO<sub>2</sub> lézer, 1,098kW, 0,036m·min<sup>-1</sup>,  $l^{\oplus}=0,17\text{mm}$ ,  $r_B=6\text{mm}$

P. Canova and E. Ramous, Journal of Materials Science **21** (1986) 2143-2146

## Szenítés (carburisation)

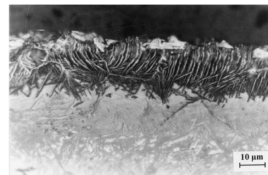


amikor szén diffundáltatunk az anyagba



15CrNi6 acél CO<sub>2</sub> lézer ( $\lambda=10.6\text{mm}$ )

750W,  $r_B=3.5\text{mm}$



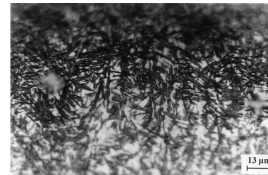
0.4 m/min  
5x

750W,  $r_B=3.5\text{mm}$



0.2 m/min  
2x

2800W,  $r_B=3\text{mm}$



1.5 m/min  
1x

szilárd fázisú diffúzió

olvasztás

# Szemcseméret növekedés 1.

$$\frac{dg}{dt} = \frac{k}{g} e^{-\frac{Q}{RT}} \quad g: \text{szemcseméret}$$

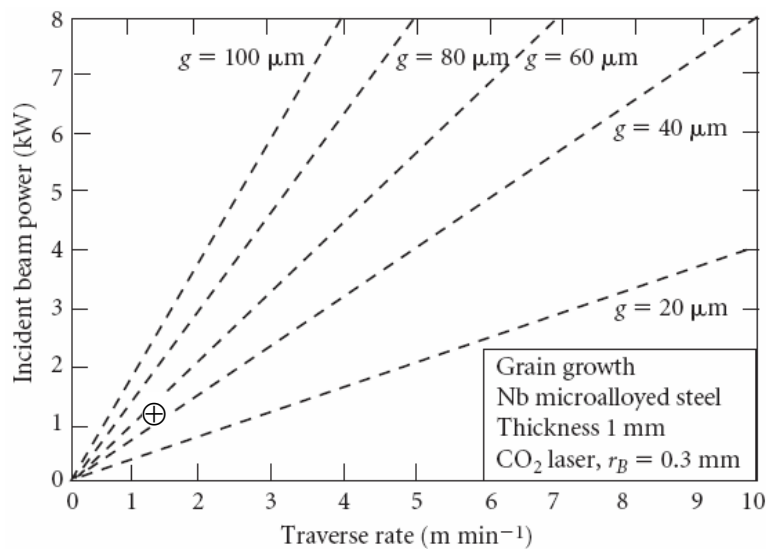
$$g dg = k e^{-\frac{Q}{RT}} dt$$

$$g^2 - g_0^2 = k'te^{-\frac{Q}{RT}} \quad g_0: \text{kezdeti szemcseméret}$$

vonalforrásra

$$\frac{g^2 - g_0^2}{(g^\oplus)^2 - (g_0^\oplus)^2} = \left( \frac{qv^\oplus d^\oplus}{q^\oplus vd} \right)^2$$

# Szemcseméret növekedés 2.



ausztenit szemcsék növekedése Nb-mal ötvözött acélban,  
CO<sub>2</sub> lézer, 1kW, 1,2m·min<sup>-1</sup>, d=1mm, r<sub>B</sub>=0,3mm, g<sup>⊕</sup>=41μm

# Szinterelés 1.

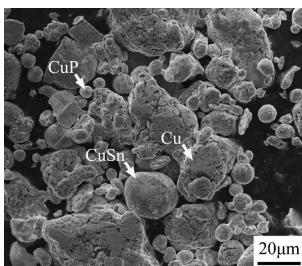
A szinterelés (sintering) hajtóereje a finom porszemcsék nagy felületi energiája. Amikor egy port a szemcséket alkotó anyag olvadáspontjának kb. 2/3-ra melegítik, akkor a megnövekedett diffúziósebesség révén a szemcsék „összeolvadnak” (necking), melynek során a rendszer összfelülete csökken, s egyszersmind tömörödik is az anyag.

$$\frac{d\rho}{dt} = \frac{k}{p^n} e^{-\frac{Q}{RT}}$$

$\rho$ : a sűrűség  
 $p$ : szemcseméret  
 $n$ : konstans (ált. 3 körüli érték)  
 $Q$ : a szinterelés ( $\sim$  szemcsehatár diffúzió) aktivációs energiája

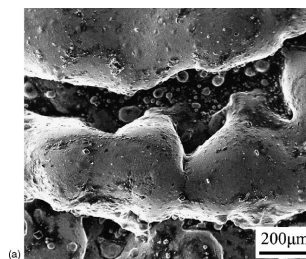
# Szinterelés 2.

előtte

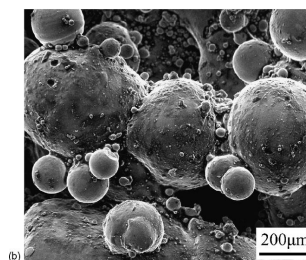


több komponensű  
Cu-ötvözet por lézeres  
szinterelése

utána

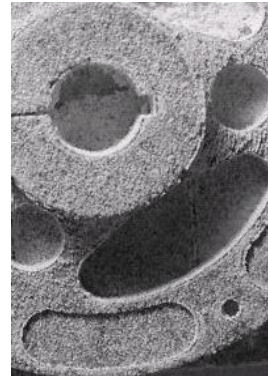
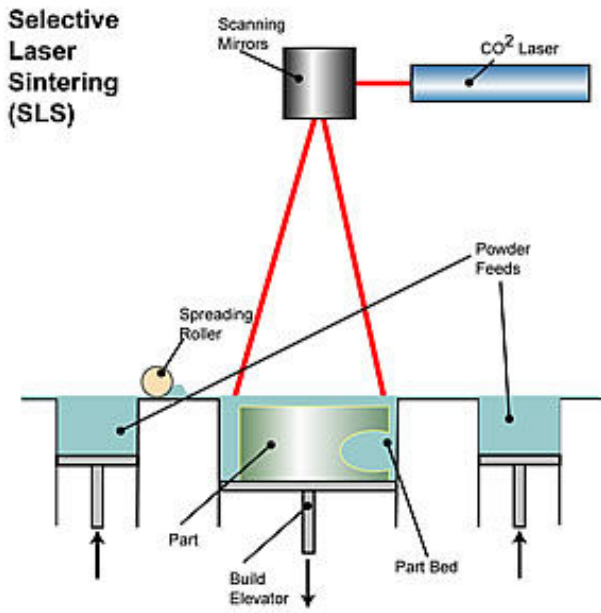


40mm/s

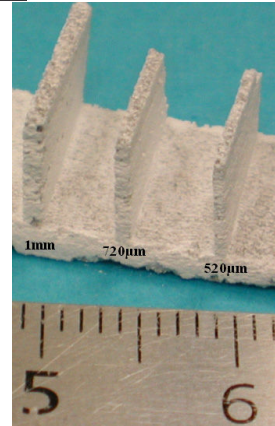


60mm/s

# Szelektív lézeres szinterelés (SLS)

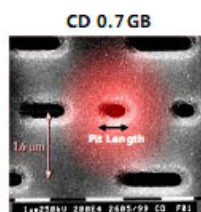


zirconia,  $ZrO_2$



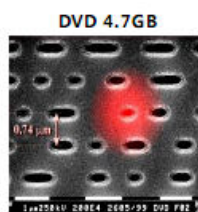
[http://en.wikipedia.org/wiki/Selective\\_laser\\_sintering](http://en.wikipedia.org/wiki/Selective_laser_sintering)  
<http://www.3dsystems.com/products/sls/index.asp>

# Optikai adattárolás



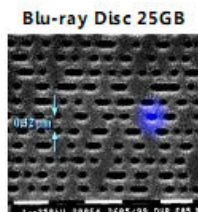
Track Pitch: 1,6 µm  
 Minimum Pit Length: 0,8 µm  
 Storage Density: 0,41Gb/in<sup>2</sup>

780nm



Track Pitch: 0,74 µm  
 Minimum Pit Length: 0,4 µm  
 Storage Density: 2,77Gb/in<sup>2</sup>

650nm

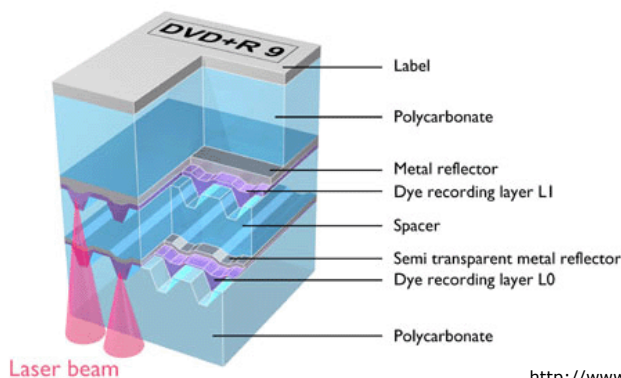


Track Pitch: 0,32 µm  
 Minimum Pit Length: 0,15 µm  
 Storage Density: 14,73Gb/in<sup>2</sup>

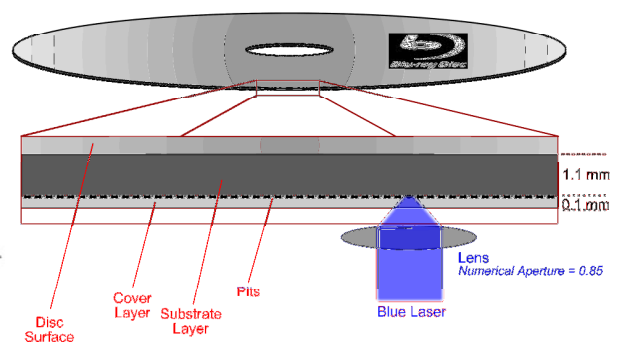
450nm

## DVD-Recordable Disc Structure

- PRINTABLE SURFACE
- DUMMY SUBSTRATE
- ADHESIVE LAYER
- PROTECTIVE LAYER
- SILVER REFLECTIVE LAYER
- METAL AZO RECORDING LAYER
- POLYCARBONATE SUBSTRATE



Laser beam



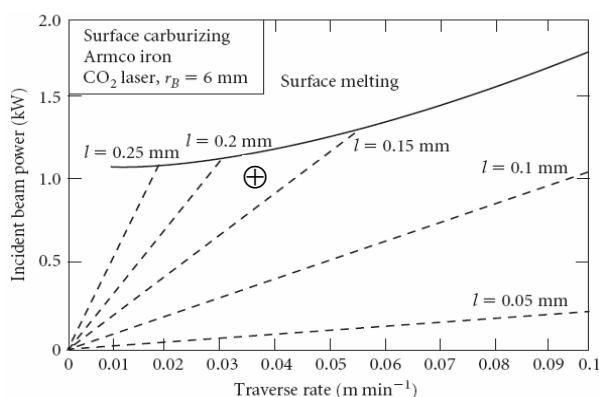
<http://www.people.cornell.edu/pages/h1336/blu-ray.htm>  
<http://www.computeroutlook.com/forums/index.php?showtopic=358&mode=threaded>



# Feladatok

- 1) Mérésekkel azt találták, hogy egy ARMCO® vas felszínébe a szén 0,17mm mélységben diffundáltatható be, ha a mintán lévő grafit bevonatot egy CO<sub>2</sub> lézer 6mm sugarú, 1098 W-os nyalábjával világítjuk meg, miközben a mintát 0,036m·min<sup>-1</sup> sebességgel mozgatjuk a nyugvó lézernyalábhoz viszonyítva. Számolja ki, hogy milyen karakterisztikus mélységig diffundál a szén a vasba, ha a nyalábteljesítményt 528 W-re csökkentjük, a mozgatás sebességét pedig 0,050m·min<sup>-1</sup>-ra növeljük!

## 1. feladat



P. Canova and E. Ramous, Journal of Materials Science **21** (1986) 2143-2146

Kalibrációs pont (⊕) használatával:

$$\frac{l^2}{(l^\oplus)^2} = \frac{qv^\oplus}{q^\oplus v}$$

$$l = \sqrt{\frac{qv^\oplus}{q^\oplus v} (l^\oplus)^2} = \sqrt{\frac{528W \cdot 0.036m \cdot \text{min}^{-1}}{1098W \cdot 0.050m \cdot \text{min}^{-1}} (0.17mm)^2} = \underline{\underline{0.100mm}}$$

$$\begin{aligned} \lambda &= 32.5Wm^{-1} \\ a &= 7.5 \times 10^{-6} m^2 s^{-1} \\ T_m &= 1810K \\ T_0 &= 298K \end{aligned}$$

A feladat szövege szerint:

$$\begin{aligned} l^\oplus &= 0.17mm & l &= ? \\ q^\oplus &= 1098W & q &= 528W \\ v^\oplus &= 0.036m \cdot \text{min}^{-1} & v &= 0.050m \cdot \text{min}^{-1} \end{aligned}$$