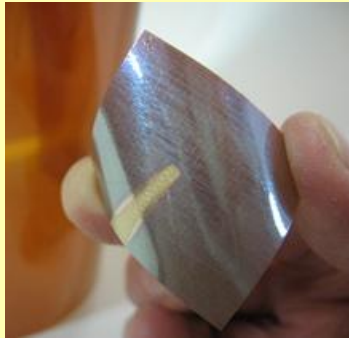


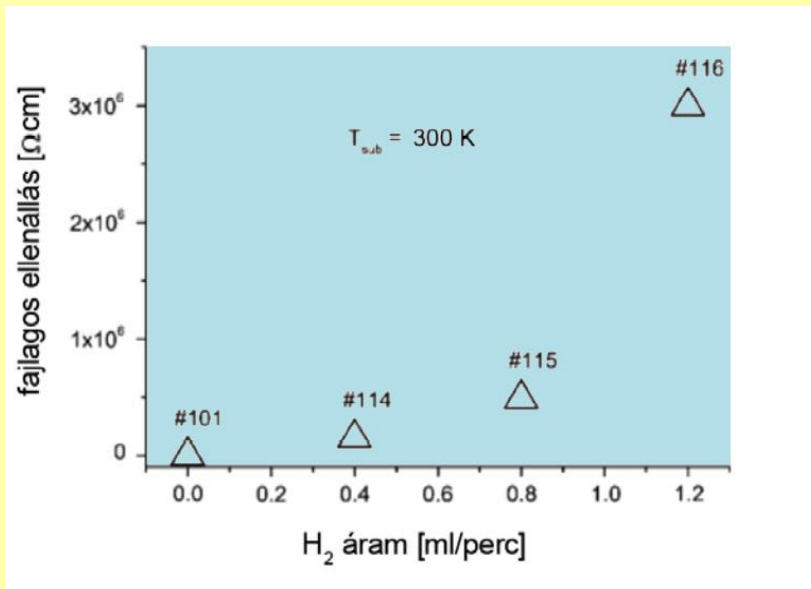
# Előzmények

a:SiGe:H vékonyréteg



100 rétegből álló a:Si/Ge rétegrendszer  
(MultiLayer)

- H szerepe: „dangling bond” passzíválása



A fajlagos ellenállás a gázkeverék hidrogénáramának függvényében

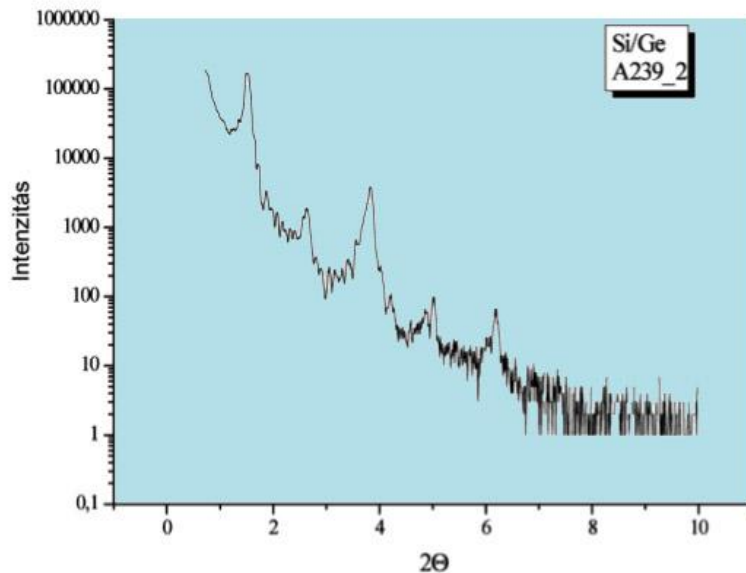
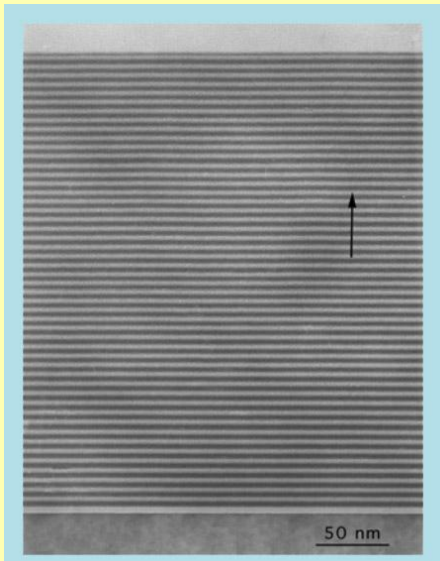
- 5 nm vastag rétegekből álló Si/Ge multiréteg
- diffúziós keveredés során a határfelületek elmosódásuk helyett, élesen eltolódnak
- az eltolódás oka, hogy a Si atomok diffúziója nagyságrendekkel gyorsabb a Ge mátrixban, mint a Ge atomoké a Si-ban
- az aszimmetrikus diffúziót feltételező modell helyességét *Auger* mélységi profilanalízis segítségével kísérletileg is igazolták

0.4	0.8	1.5	3.0	6.0	ml/perc
0.38	0.78	1.46	2.97	6.12	%

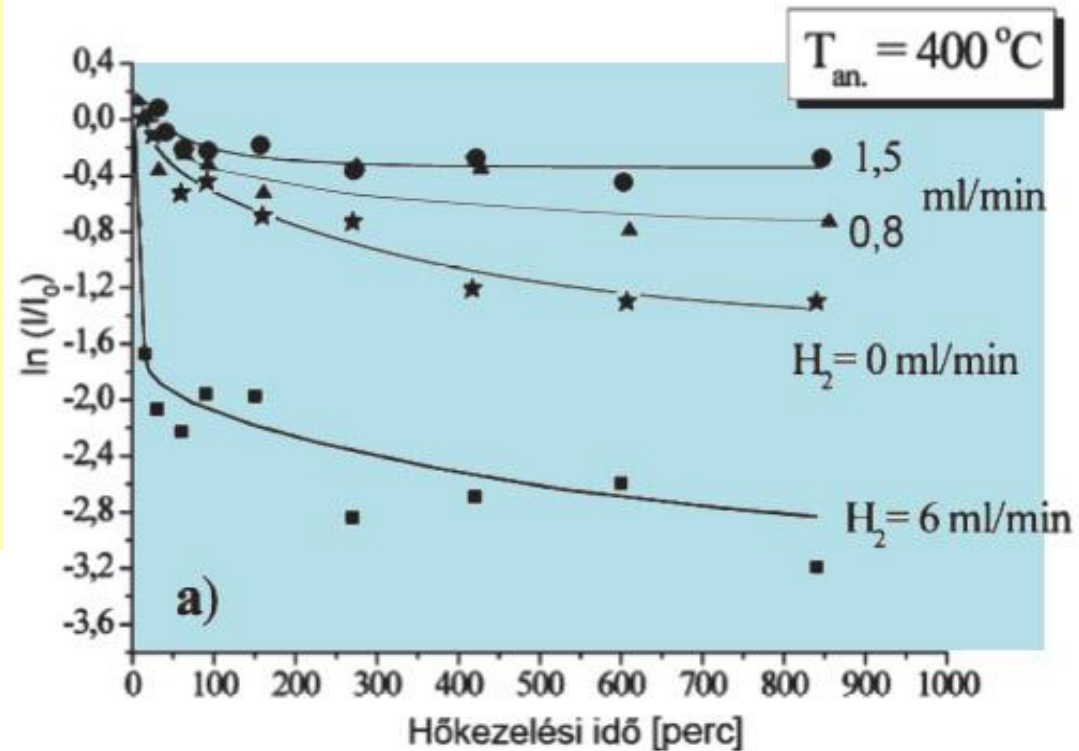
A hidrogén beáramlás sebessége az argon porlasztó gázba és a megfelelő parciális nyomás

- Ishada és társai (*H. Ishada et al., Jpn. J. Appl. Phys.* **22**: p.L73, (1983)) publikációjából kitűnik, hogy **tiszta hidrogén** atmoszférában, az általunk alkalmazott (300W) teljesítmény kétszeresével, mikrokristályos szerkezetű réteg porlasztható. Az eltérés szembetűnő, különösen azért, mert állításuk szerint kismennyiségű Ar hozzáadása a porlasztó gázhoz, üreges szerkezetű réteg növekedését eredményezi.
- Pinarbasi és társai (*M. Pinarbasi et al., J. Vac. Sci. Tech.* **A 8**: p. 1369. (1990)) a 13-28 at.% H tartalom eléréséhez  $P_{H_2} / P_{Ar} = 0.2-1.2$  összetételű gázt használtak (esetünkben ez <0.06).
- (*Langford et al., Phys. Review B*, p.13367 (1992)) az általunk publikált körülményekhez **hasonló körülmények** között leválasztott rétegek optikai tulajdonságait vizsgálta. A szubsztrát hőmérsékletét 200-230 °C-on tartotta, publikációban a porlasztás teljesítményt nem adta meg.

# 100 rétegből álló a:Si/Ge:H réterendszer (MultiLayer) vizsgálata



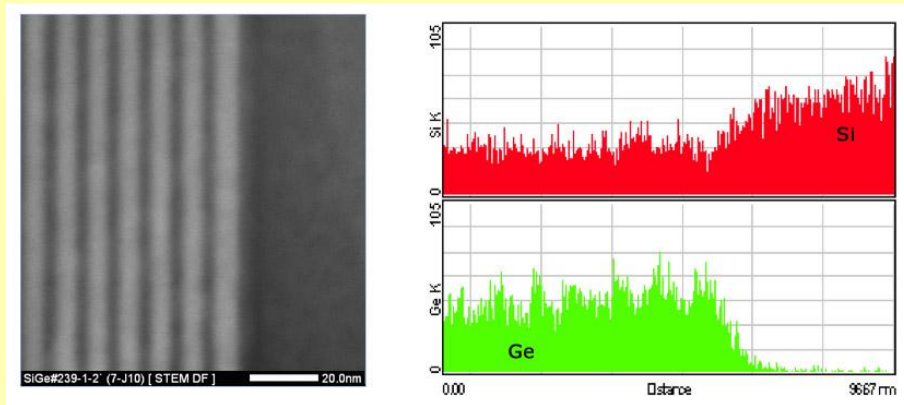
A hőkezeletlen a-Si/Ge multiréteg SAXRD spektruma.



$$\frac{d}{dt} \ln\left(\frac{I}{I_0}\right) = -\frac{8\pi^2}{\lambda} D$$

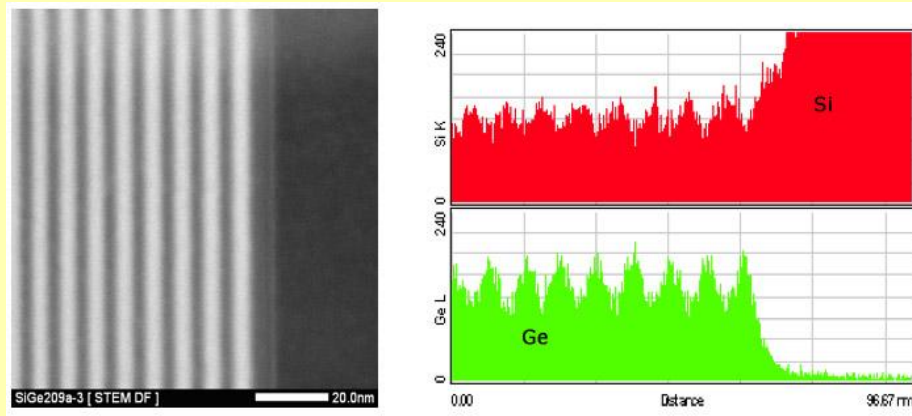
400 °C-on hőkezelt a-Si/Ge:H multirétegekben az elsőrendű röntgen diffrakciós csúcs időbeni változása.

# 100 rétegből álló a:Si/Ge:H rétegrendszer (MultiLayer) vizsgálata (TEM)



350 °C-on hőkezelt a-Si/Ge:H multiréteg ( $H_2=0$  ml/perc), HAADF kép. A Si szubsztrát a kép jobb oldalán látható.

EDX vonalmenti analízis: fent a Si, alul a Ge.

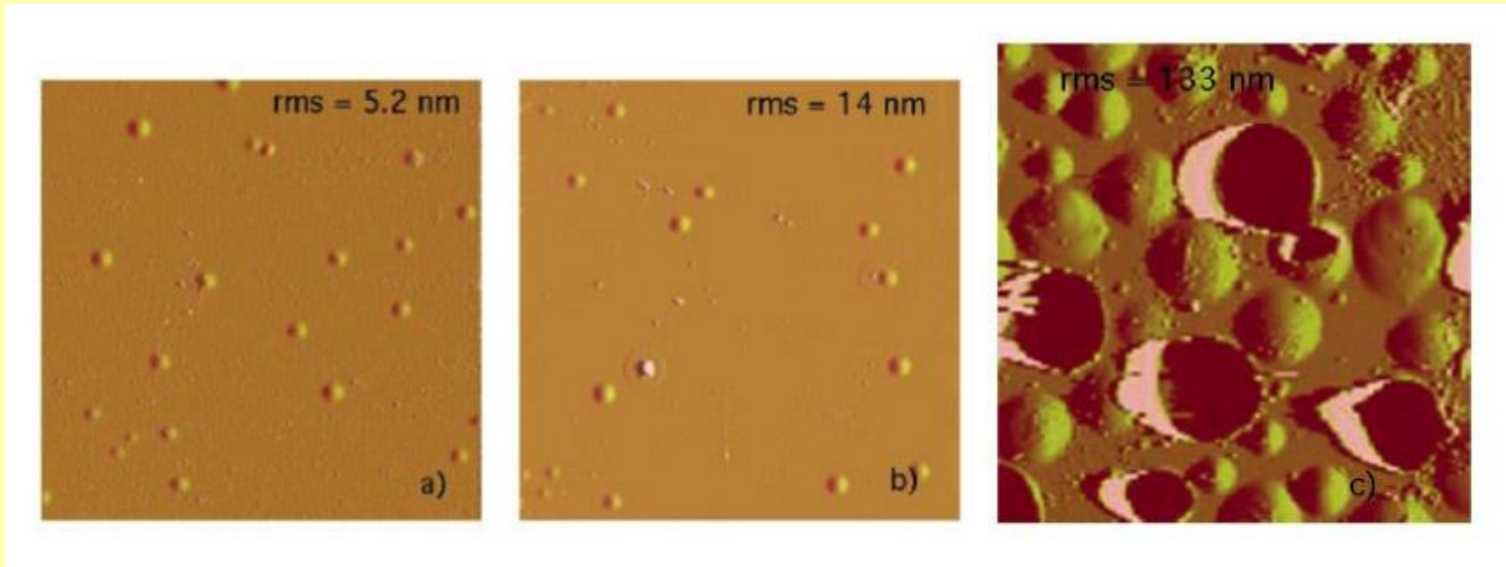


350 °C-on hőkezelt a-Si/Ge:H multiréteg ( $H_2=6$  ml/perc), HAADF kép. A Si szubsztrát a kép jobb oldalán látható.

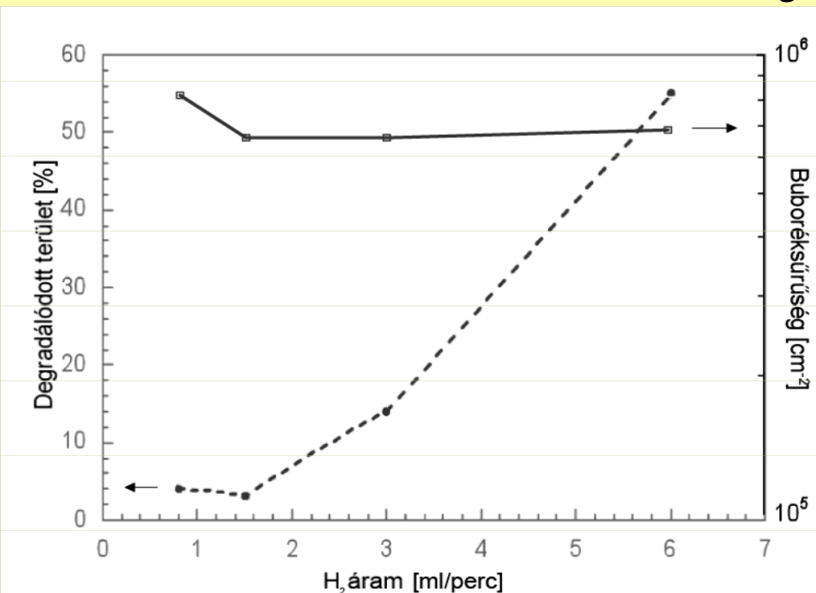
EDX vonalmenti analízis a bemutatott részleten, fent a Si, alul a Ge.

A hidrogén jelenléte az a-Si/Ge:H multirétegben, a felszakadt kötések számának csökkentése révén, lassítja a két anyag diffúziós keveredését.

# 100 rétegből álló a:Si/Ge:H rétegrendszer (MultiLayer) vizsgálata (AFM)



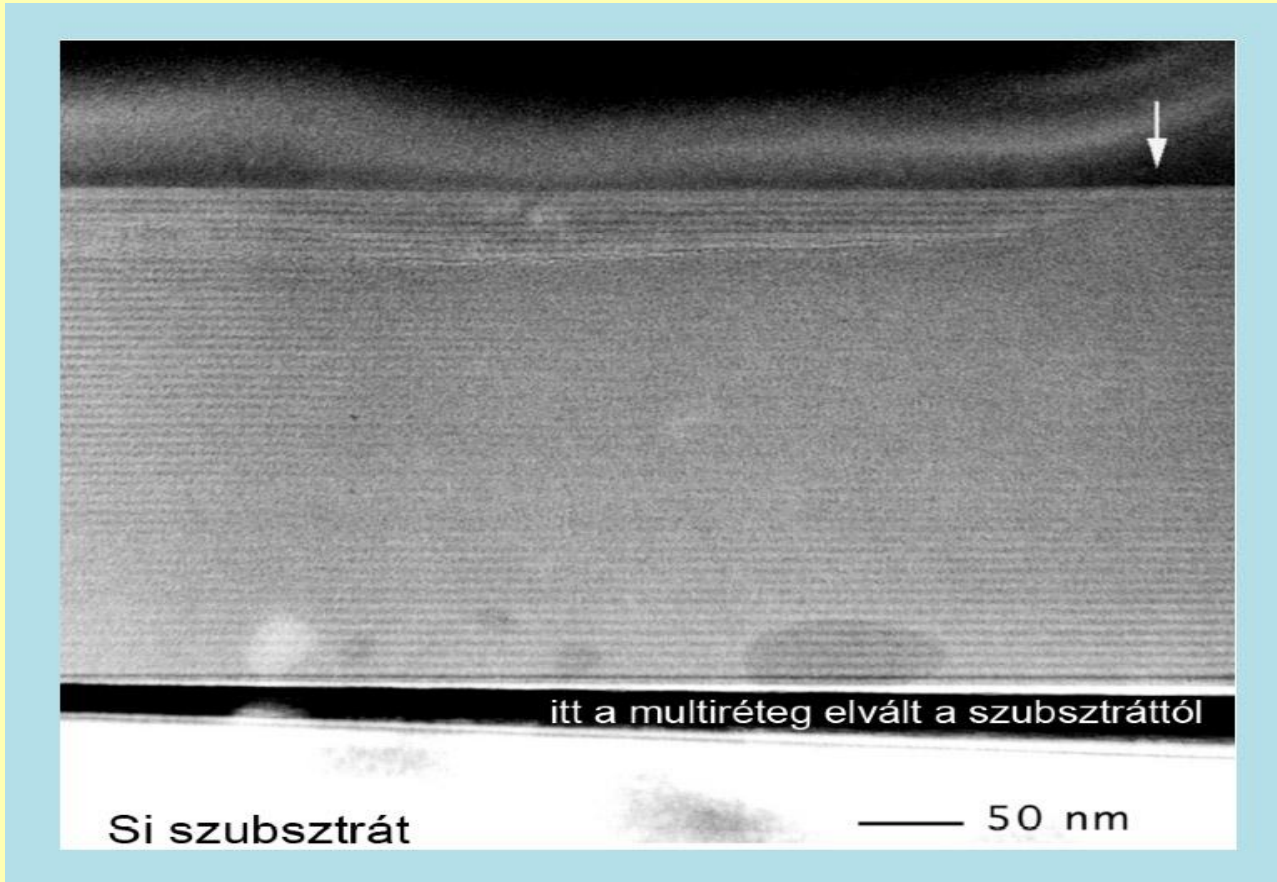
A hőkezelt a-Si/Ge:H multirétegekről készült AFM felvétel: a) 350 °C, 16 óra, ( $H_2=0,8$  ml/perc); b) 430 °C, 16 óra, ( $H_2=1,5$  ml/perc); c) 450 °C, 5 óra, ( $H_2=6$  ml/perc). A vizsgált terület  $50 \times 50 \mu\text{m}^2$ .



A degradálódott felület nagysága és a buboréksűrűség a növesztésnél használt hidrogén áramlás függvényében.

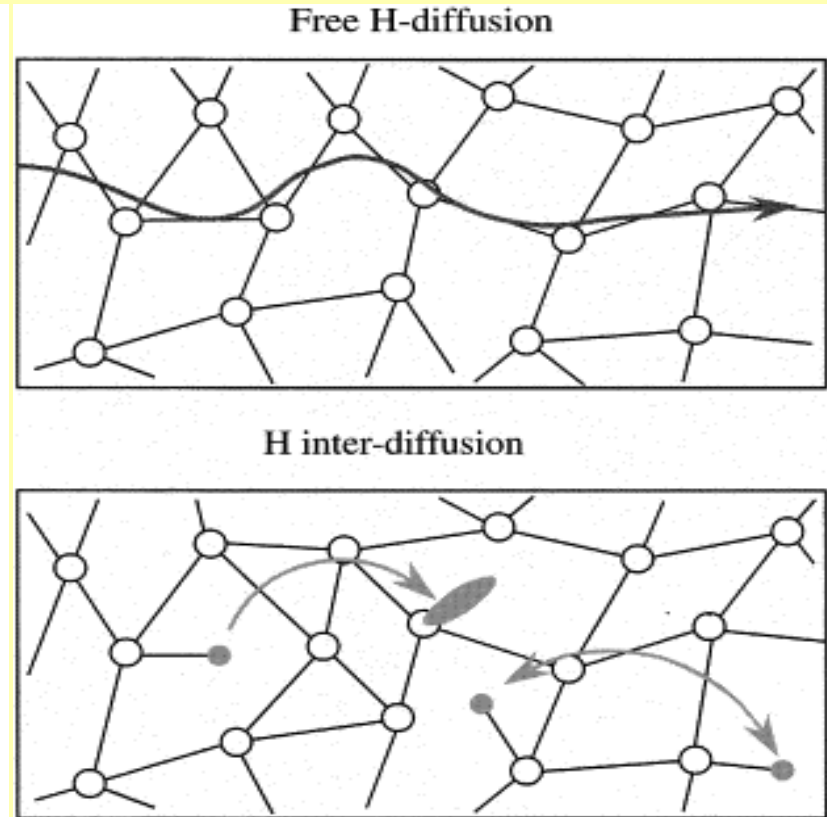
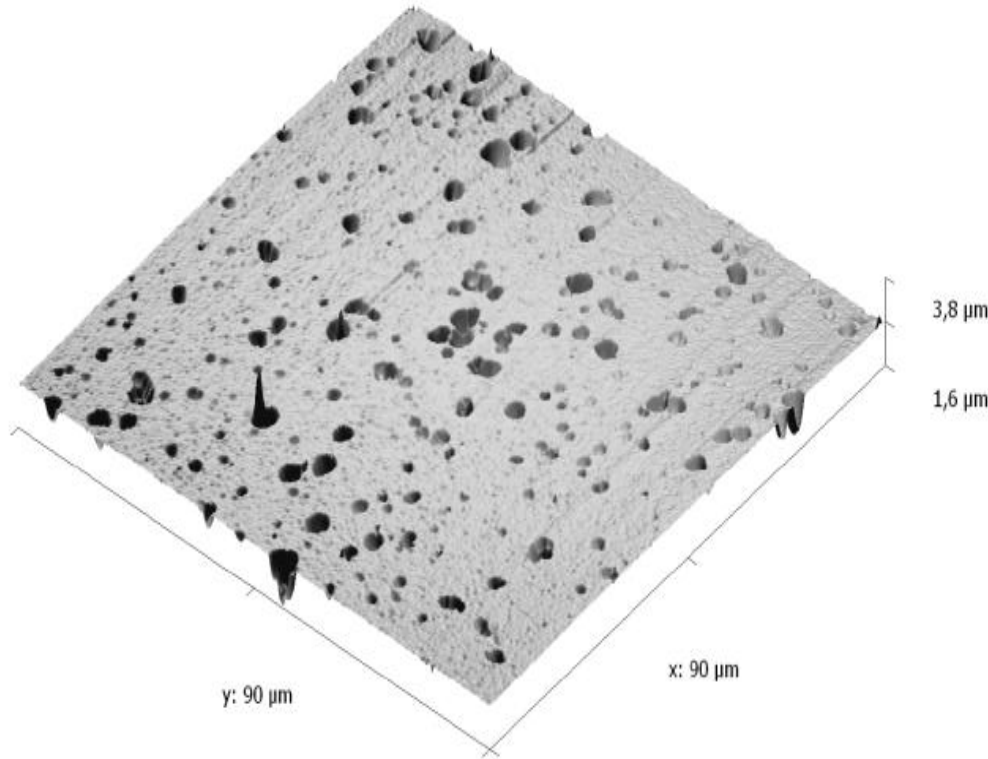


## 100 rétegből álló a:Si/Ge:H rétegrendszer (MultiLayer) vizsgálata (TEM)



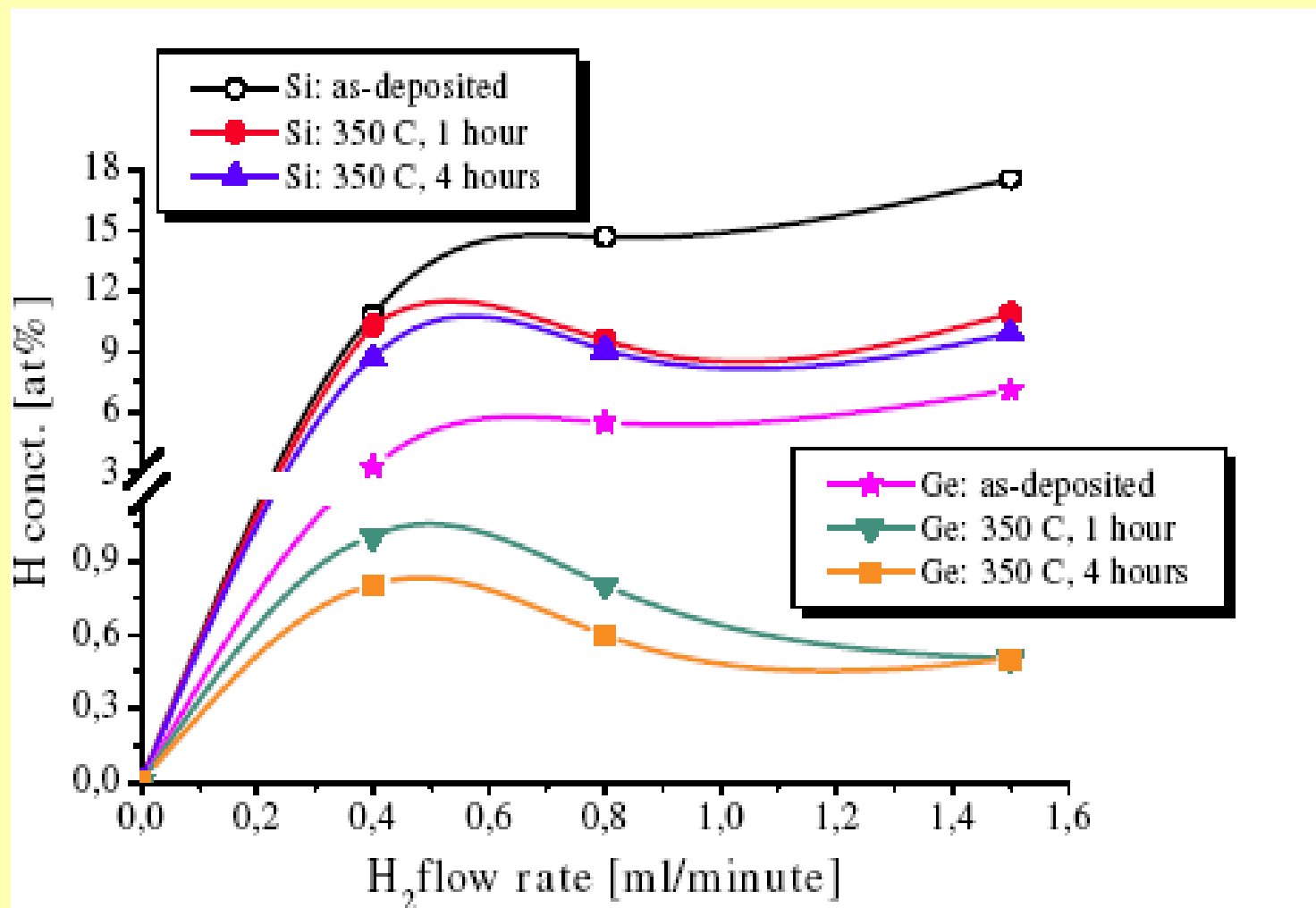
350 °C-on, 1 órán át hőkezelt a-Si/Ge:H multiréteg ( $H_2=6$  ml/perc). A réteg tetején, alján és a felvétel bal oldalán a Si és Ge rétegek elkülönülnek egymástól, míg a középső tartományban összemosódnak. Ez a tartomány, a fehér nyíllal jelzett helyen, eléri a multiréteg felszínét. A multiréteg elvált a szubsztráttól.

# A buborékképződés mechanizmusa



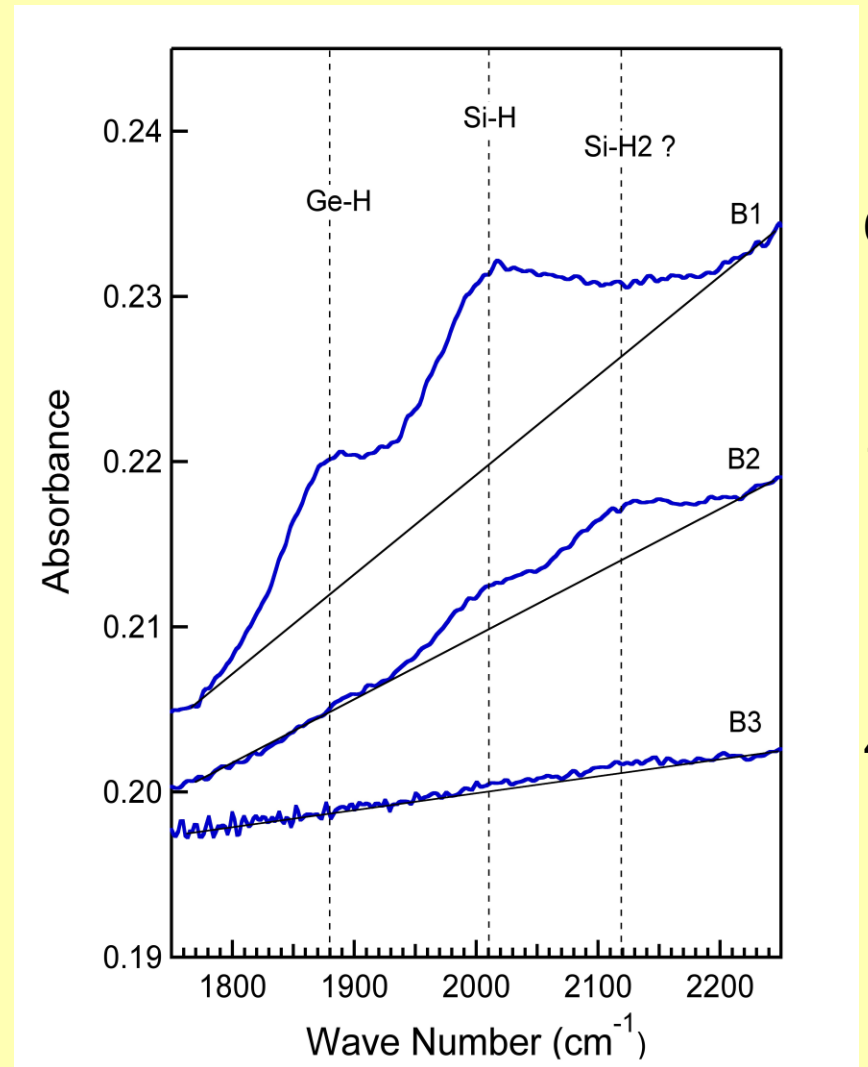
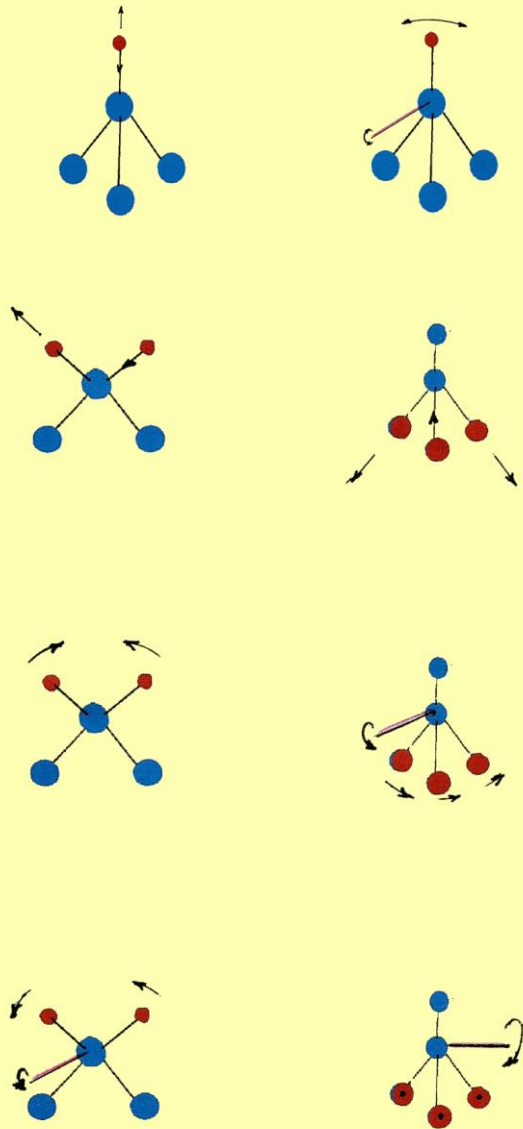
A hőkezelés termikus energiájának hatására először a Ge-H kötések szakadnak fel, mivel kötési energiájuk kisebb, mint a Si-H kötésé (2,99 eV szemben a 3,29 eV-tal). További energijárulékot adhat a termikusan gerjesztett töltéshordozó párok rekombinációja, ami a rétegszerkezet **inhomogén tilossáv-eloszlásának** minimumhelyein valószínű. Ha feltételezzük, hogy a H eloszlás a rétegszerkezetben a hőkezelés elején inhomogénná válik, akkor több H kötés felszabadulására számíthatunk a gázképződés környezetében, tekintve, hogy a kisebb H tartalmú tartományokban a tilossáv is kisebb.

Si és Ge réteg hidrogéntartalma a porlasztáshoz használt H<sub>2</sub> gázáram függvényében.  
(ERDA)





# Si/Ge MultiLayer infravörös abszorpciója



0

1

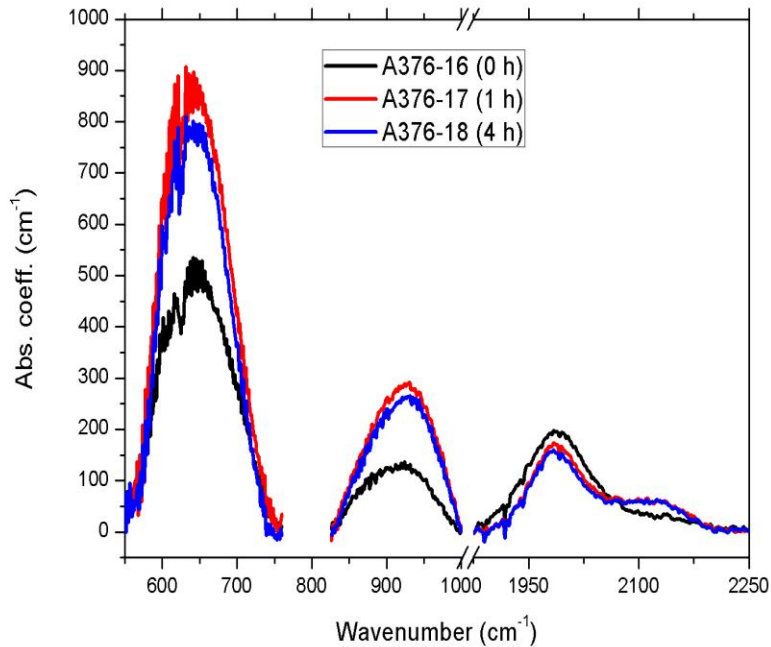
4

## Si/Ge infravörös abszorpciója

<b><i>Stretching</i></b>	2005 [1/cm] 2090* 2140* *	<b>Si-H</b> <b>Si-H<sub>2</sub></b> <b>Si-H<sub>3</sub></b>	1855(80) 1980 2050	<b>Ge-H</b> <b>Ge-H<sub>2</sub></b> <b>Ge-H<sub>3</sub></b>
<b><i>Bending</i></b>	650 845-890 * 862-907 * *	<b>Si-H</b> <b>Si-H<sub>2</sub></b> <b>Si-H<sub>3</sub></b>	755-782 vagy 770-830	<b>Ge-H<sub>2</sub> .... Ge-H<sub>3</sub></b>  <b>Ge-H<sub>2</sub> .... Ge-H<sub>3</sub></b>
<b><i>Wagging</i></b>	640	all hydrides	565	all hydrides

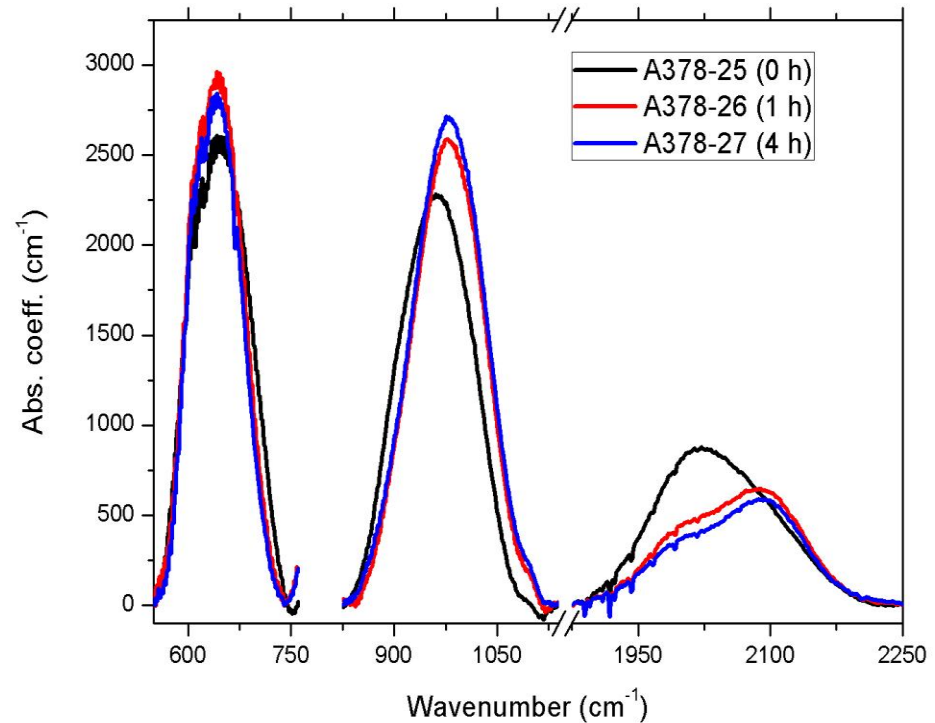
## Si réteg infravörös abszorpciója

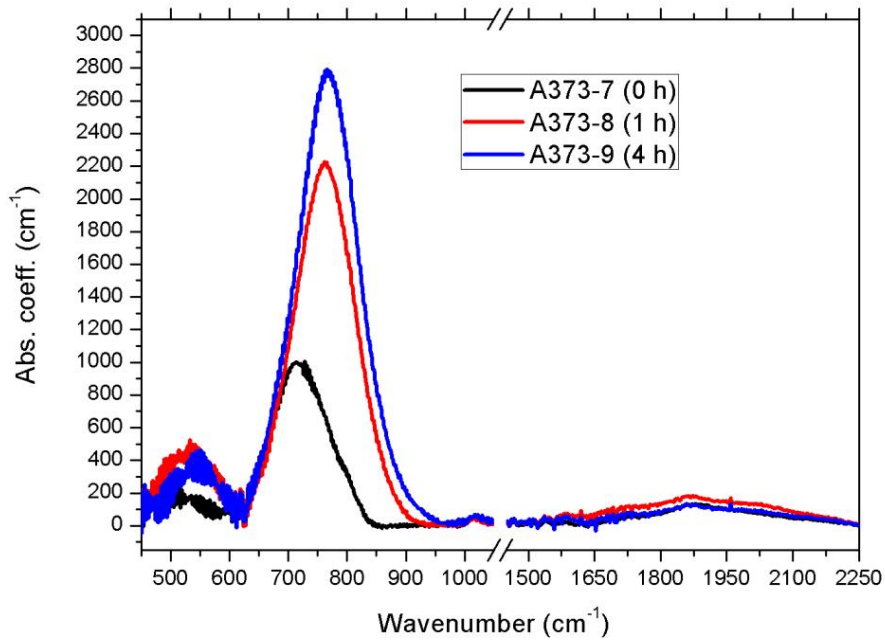
### Si A376 (H tartalom 11%)



### Si A378 (H tartalom 18%)

Annealing time (h)	$I_{2005}/(I_{2005} + I_{2090})$ (%)	$I_{2090}/(I_{2005} + I_{2090})$ (%)
0	63	37
1	38	62
4	37	63

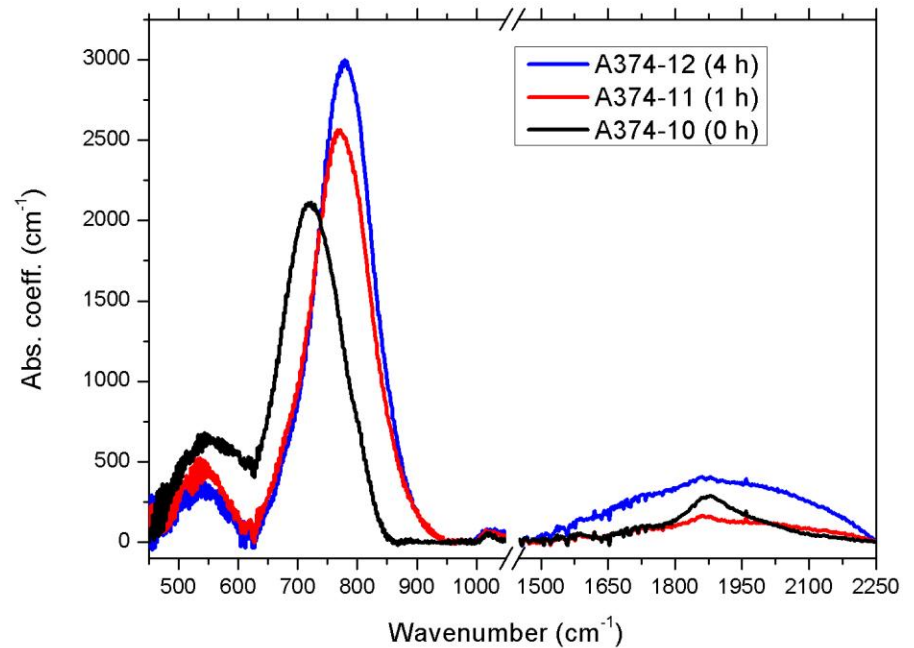




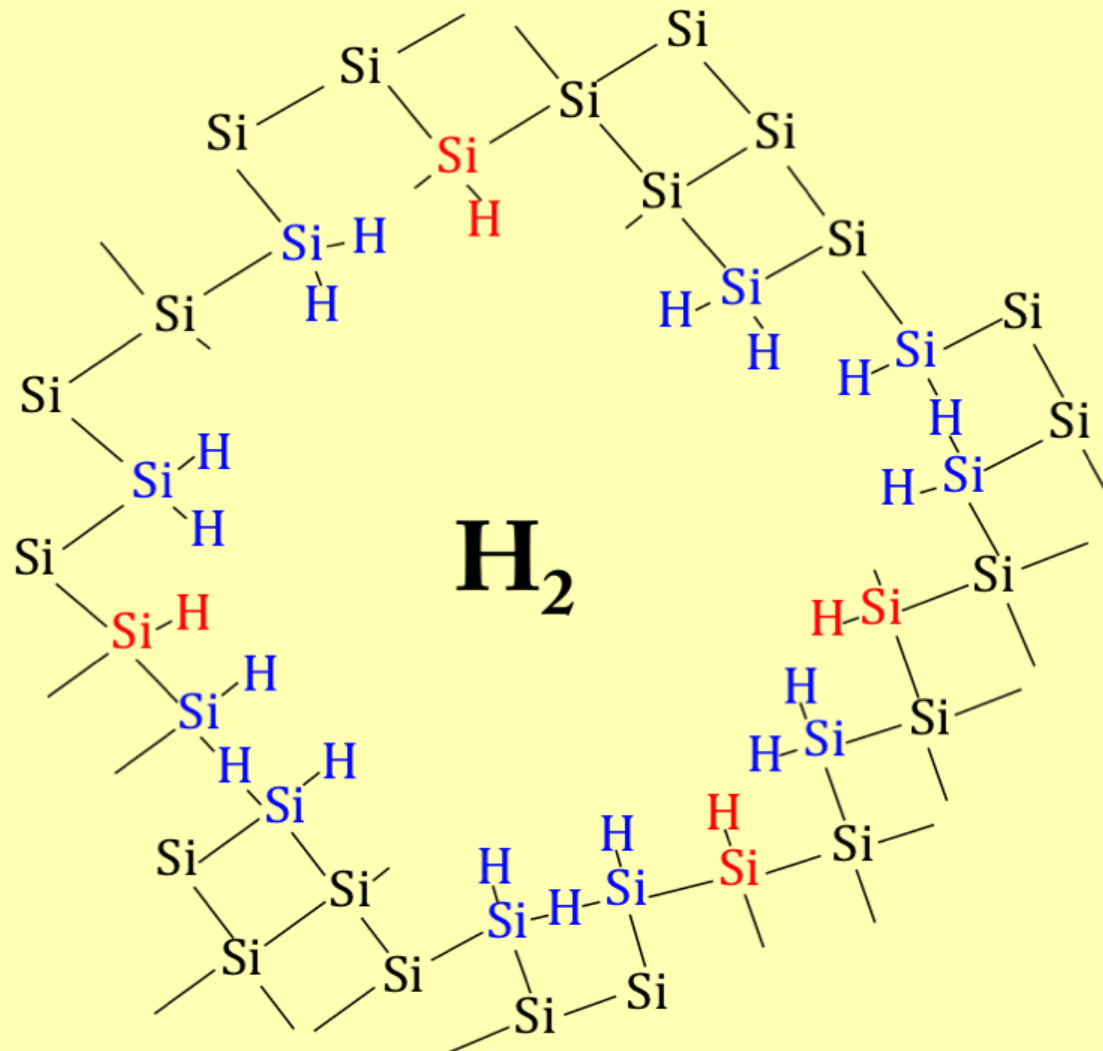
## Ge réteg infravörös abszorpciója

*Ge A373 (H tartalom 3.5%)*

*Ge A374 (H tartalom 6%)*



## H<sub>2</sub> buborékképződés lehetséges mechanizmusa



- M.Serenyi, J.Betko, A.Nemesics, N.Q.Khanh, D.K.Basa, M.Morvic: Microelectronics Reliability **45**:(7-8) pp. 1252-1256. (2005)
- C.Frigeri, M.Serényi, A.Csik, Z.Erdélyi, D.L.Beke, L.Nasi: Journal of Materials Science-Materials in Electronics **19**: pp. S289-S293. (2008)
- A.Csik, M.Serenyi, Z.Erdelyi, A.Nemcsics, C.Cserhati, G.A.Langer, D.L.Beke, C.Frigeri: A.Simon Vacuum **84**: (1) pp. 137-140. (2009)
- C.Frigeri, L.Nasi, M.Serényi, A.Csik, Z.Erdélyi, D.L.Beke: Superlattices and Microstructures **45**: (4-5) pp. 475-481. (2009)
- C.Frigeri, L.Nasi, M.Serényi, A.Csik, Z.Erdélyi, D.L.Beke: Solid State Phenom. **156-158**: pp 325-330. (2010)
- N Q Khánh, M Serényi, A Csik, C Frigeri: Vacuum **86**:(6) pp. 711-713. (2012)2011
- C.Frigeri, M.Serényi, N.Q.Khánh, A.Csik, F.Riesz, Z.Erdélyi, L.Nasi, D.L.Beke, H-G.Boyen: Boyen H –G Crystal research and technology **46**:(8) pp. 877-880. (2011)
- C Frigeri, M Serényi, N Q Khánh, A Csík, F Riesz, Z Erdélyi, L Nasi, D L Beke, H-G Boyen: Nanoscale research letters **NRL 6**: Paper 189. (2011)
- C. Frigeri, M. Serényi, A. Csik, Zs. Szekrényes, K. Kamarás, L. Nasi, N.Q. Khánh:ASS (2012)  
[doi.org/10.1016/j.apsusc.2012.10.039](https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2012.10.039)

**C..Frigeri**  
**A. Csik**  
**N. Q. Khánh**  
**A. Nemcsics**  
**Zs. Szekrényes**