



Periodikus struktúrák előállítása nanolitográfiával és vizsgálatuk három dimenzióban

Zolnai Zsolt

*MTA Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézet,
H-1525 Budapest, P.O.B. 49, Hungary*

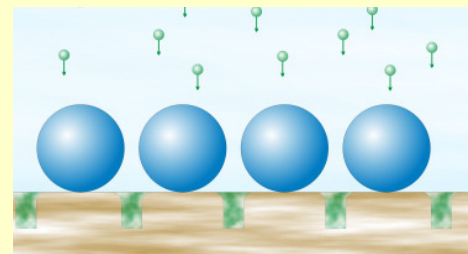
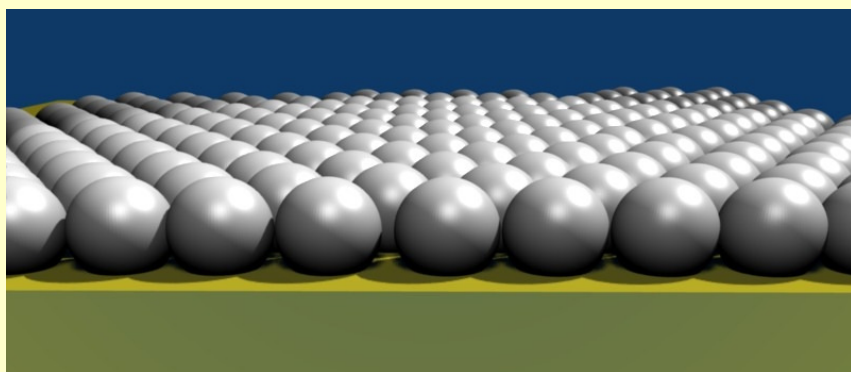
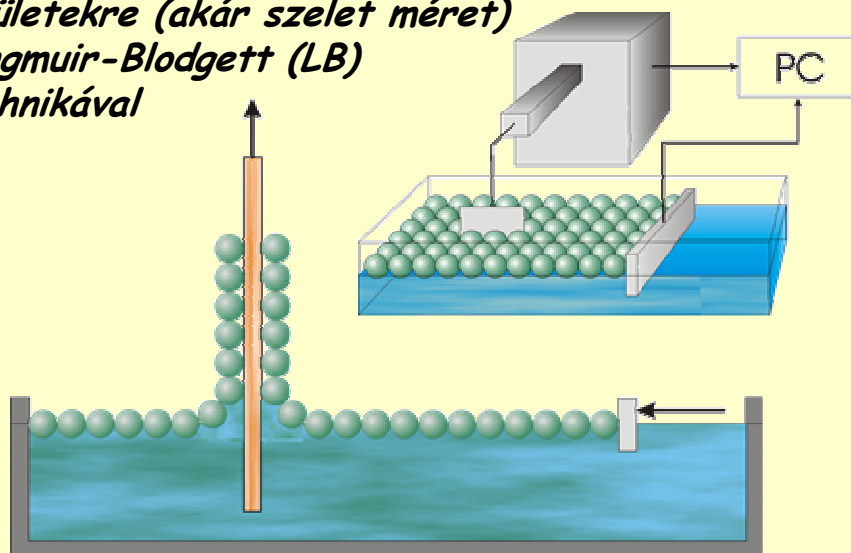


Tartalom:

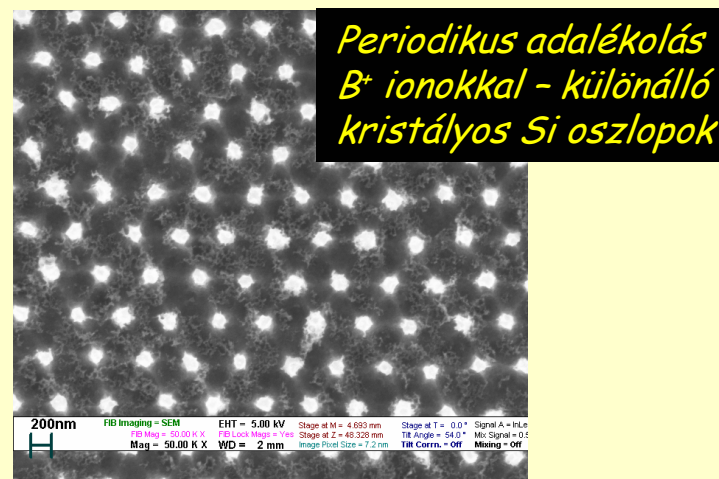
- Kolloid nanorészecskés filmek – nanogömb litográfia (NSL)
 - NSL technikával mintázott felületek
 - ZnO nanoszálak
 - Mágneses mintázatok
 - Összegzés, kitekintés – MEIS, SHIM
- Előállítás: NSL
- Vizsgálat (3D): **RBS mérés**
RBS on MAcroSTructures
(RBS-MAST) szimuláció
-

Kolloid Nanorészecskés Filmek - Nanogömb litográfia

*Nanorészecskés filmek
leválasztása nagy szubsztrát
felületekre (akár szelet méret)
Langmuir-Blodgett (LB)
technikával*



Ion besugárzás



- ← Szilika gömbök
(mérettartomány Ø 20 nm-1000 nm)
- ← Szubsztrát (Si, C, Au, SiC, MgO, stb.)



NSL technika (nanorészecskés filmek) + ion besugárzás

Lehetőségek:

- Elektromos tulajdonságok (pl. Si:B adalékolás)
- Mágneses tulajdonságok (pl. FePd/MgO)
- Optikai tulajdonságok (pl. Au plazmon rezonancia, kalkogenidek)
- Szerkezeti tulajdonságok (pl. vertikális a/c interface)
- Alak (pl. nanorészecskék deformációja, sík felületek mintázása)
- Lokális anyagi összetétel, stb.

megváltoztatása nanoskálán a felületen, vagy a tömbben

Cél: kontrollálhatóság, reprodukálhatóság, hangolhatóság



Szubmikronos skálán az alak, méret, és atomi összetétel **egyidejű** feltérképezése **komplex** feladat.

- Cél: megfelelő mérési eljárásokat találni kvantitatív jellemzésre 3 dimenzióban (AFM, SEM, TEM, SANS).
- **Az ionnyalábos analízis (RBS)** alkalmas módszer kvantitatív **mélységskála** (ion fékeződés) kvantitatív **atomi összetétel** (visszaszórt ionok energiája és hozama)

Az analizáló $^4\text{He}^+$ nyaláb:

-Nyaláb méret: $\approx 0.5 \text{ mm} \times 0.5 \text{ mm}$, részecske méret: $\approx 0.5 \mu\text{m}$

$\Rightarrow \approx 10^6$ objektum/mérési folt

A MeV $^4\text{He}^+$ ion trajektóriák lokális információt hordoznak, kis oldalirányú szórás

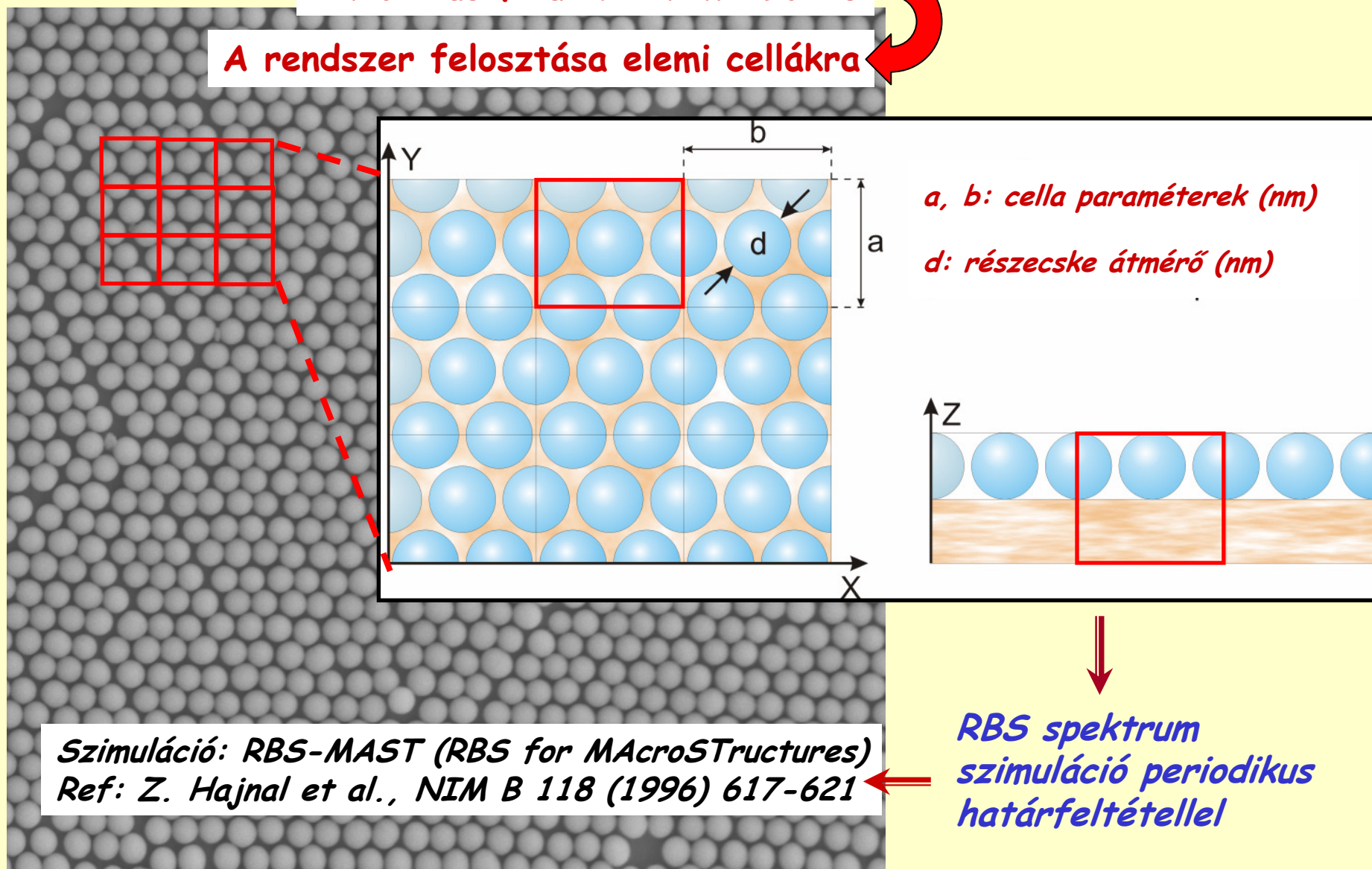
A minta laterális inhomogenitása visszafejthető az RBS spektrum strukturális energiaelmosódásából (a 3D geometria leképezhető).



- Nanorészecskés filmek vizsgálata

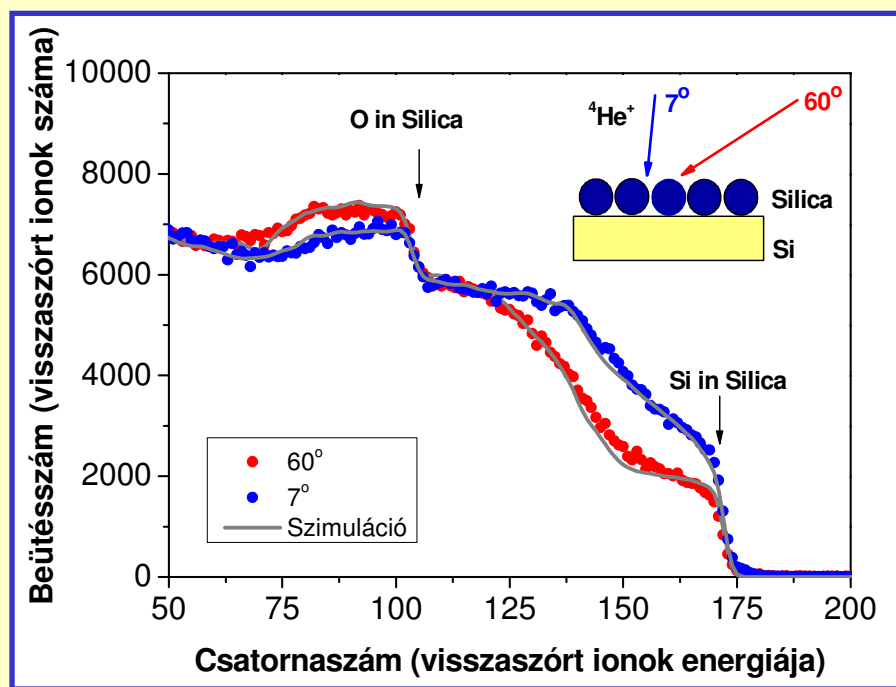
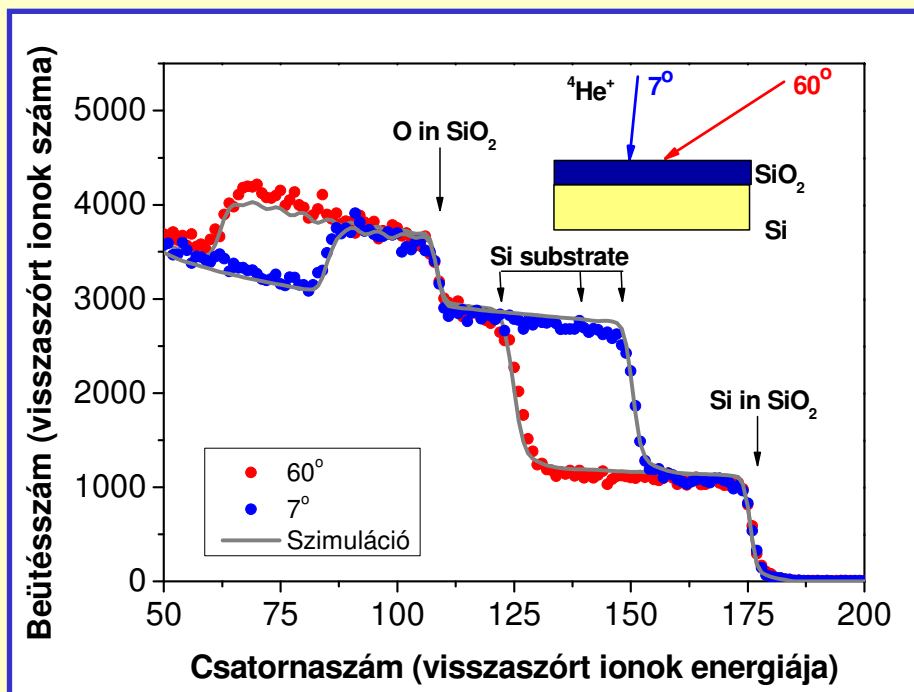
Periodikus felületi elrendeződés

A rendszer felosztása elemi cellákra



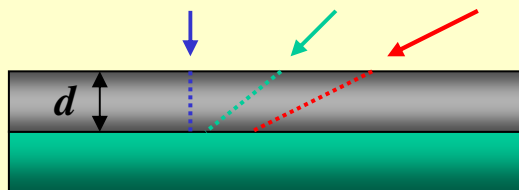
Szimuláció: RBS-MAST (RBS for MACROSTRUCTURES)
 Ref: Z. Hajnal et al., NIM B 118 (1996) 617-621

RBS analízis különböző mérési elrendezésekkel: geometriai információ (3D)



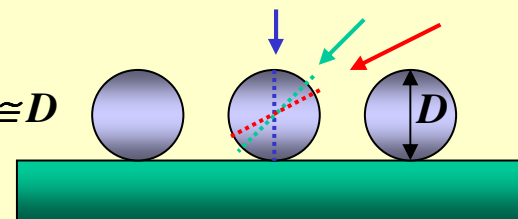
Folytonos vékonyréteg

$$W(\alpha) \cong d/\cos(\alpha)$$

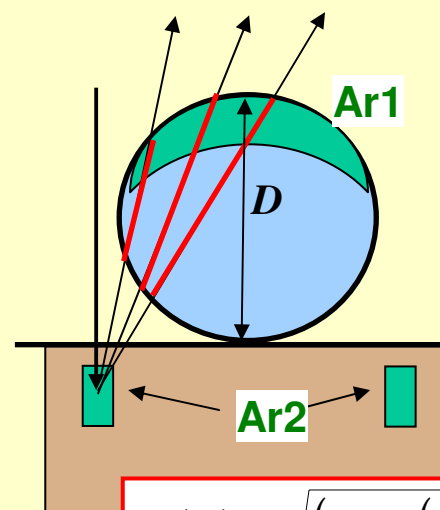
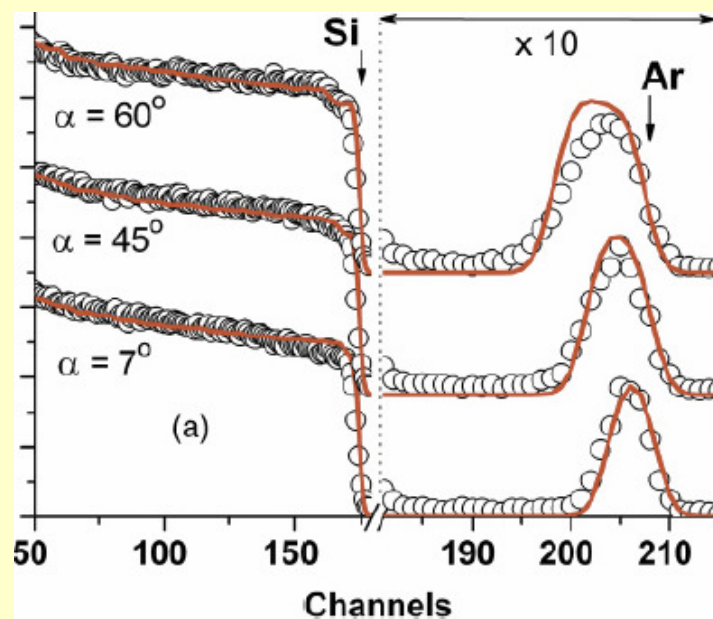
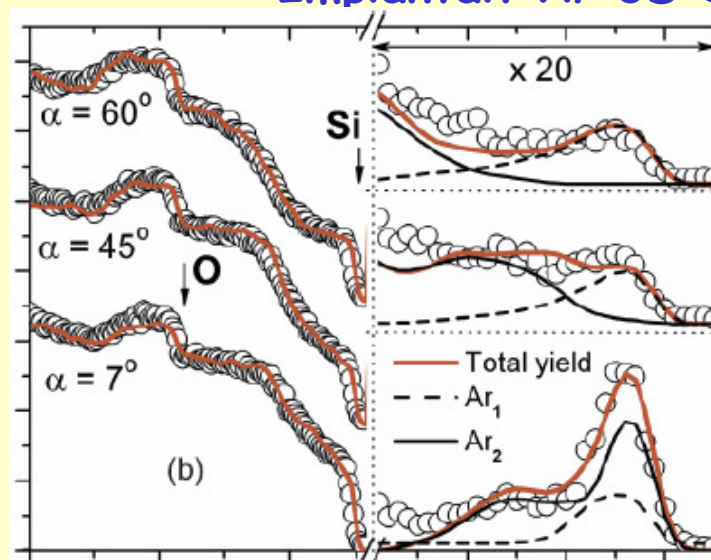


Nanorészecskés film

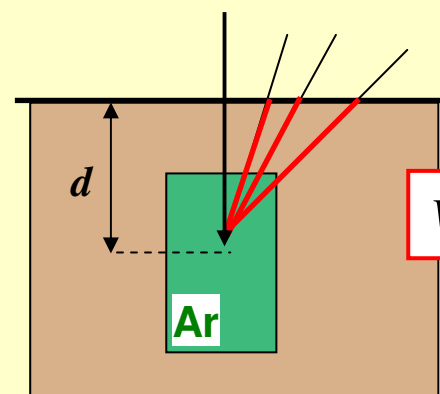
$$W(\alpha) \cong D$$



Implantált Ar 3D eloszlása szilika/Si rendszerben



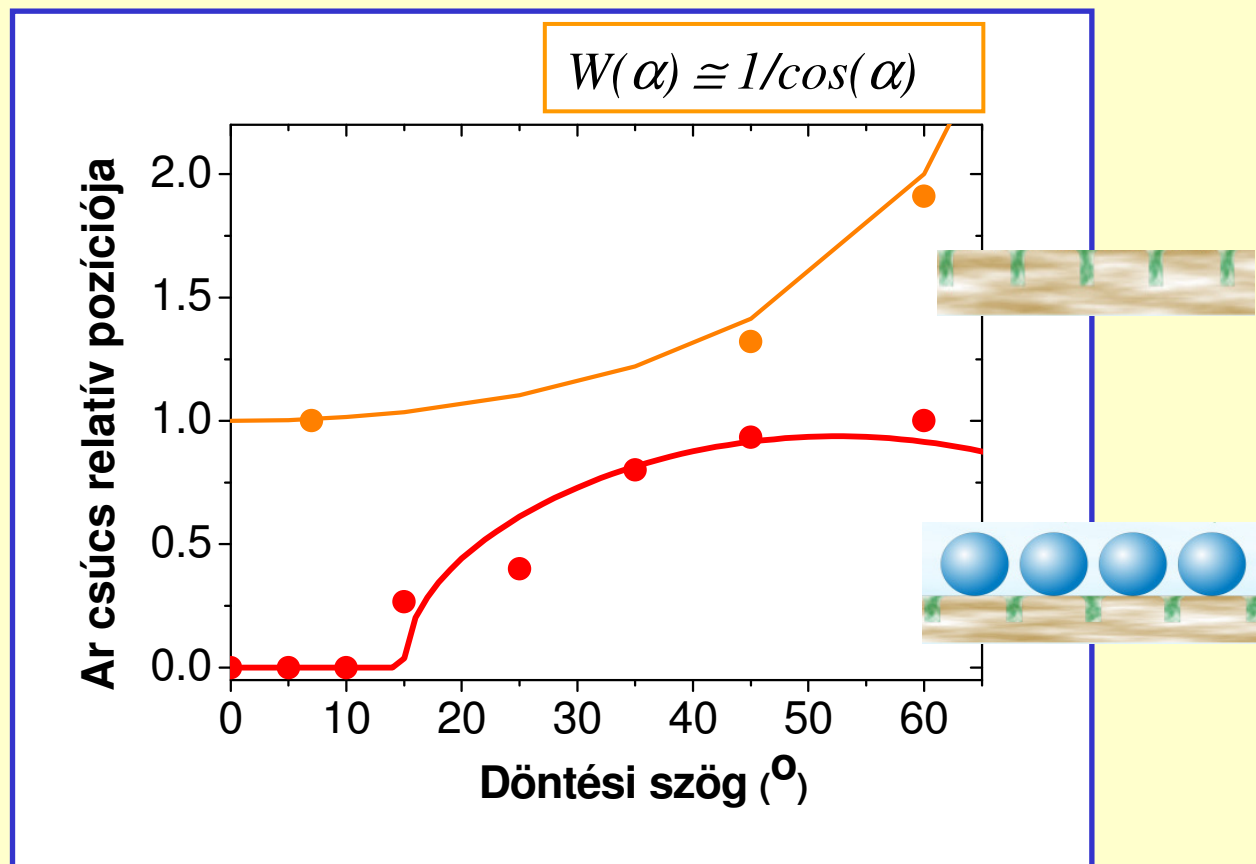
$$W(\alpha) = \sqrt{(\sin \alpha (a/\sqrt{3}D))^2 - \sin 2\alpha (a/\sqrt{3}D)}$$



$$W(\alpha) \cong d/\cos(\alpha)$$

Z. Zolnai et al., *Phys. Rev. B* 83, 233302 (2011)

Implantált Ar 3D eloszlása szilika/Si rendszerben



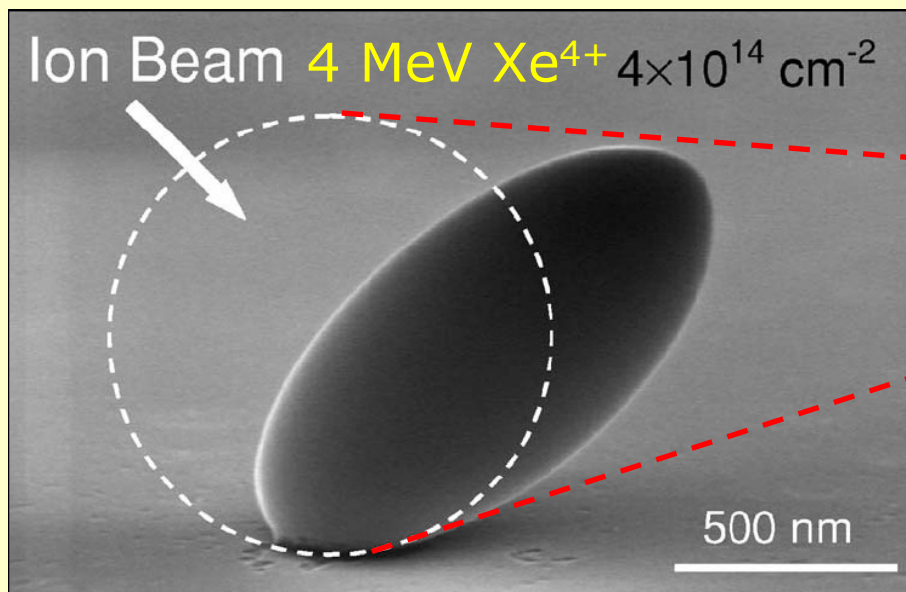
$$W(\alpha) = \sqrt{(\sin \alpha (a/\sqrt{3}D))^2 - \sin 2\alpha (a/\sqrt{3}D)}$$



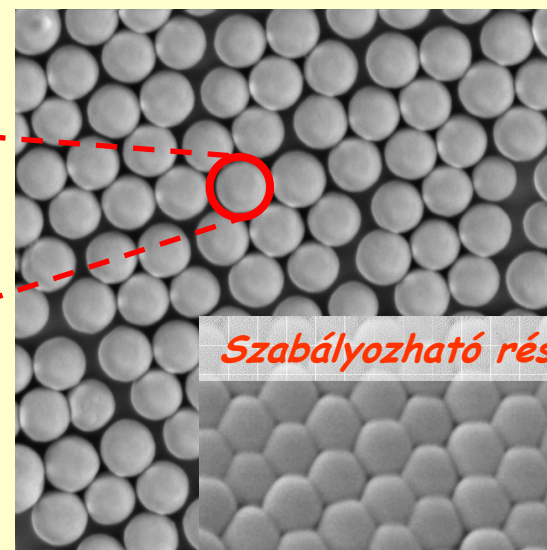
Nanorészecskés filmek torzulása ion besugárzás hatására

Alak transzformáció: gömb → forgási ellipszoid, térfogatváltozás nélkül

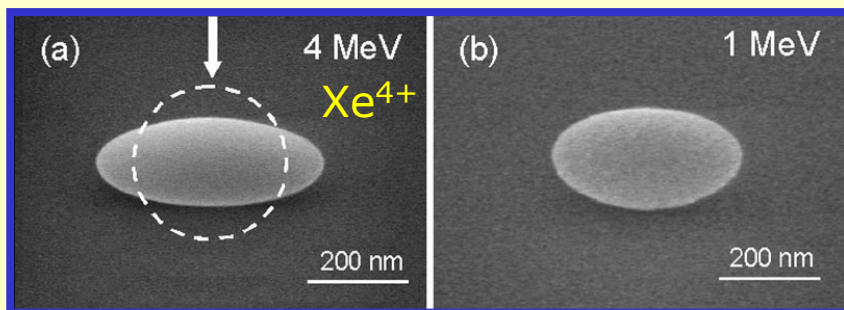
„Ion hammering”



T. van Dillen et al., Phys. Rev. B 74 132103 (2006)



Szabályozható részméret



T. van Dillen et al., Appl. Phys. Lett. 83 4315 (2003)

Részecske átmérő:

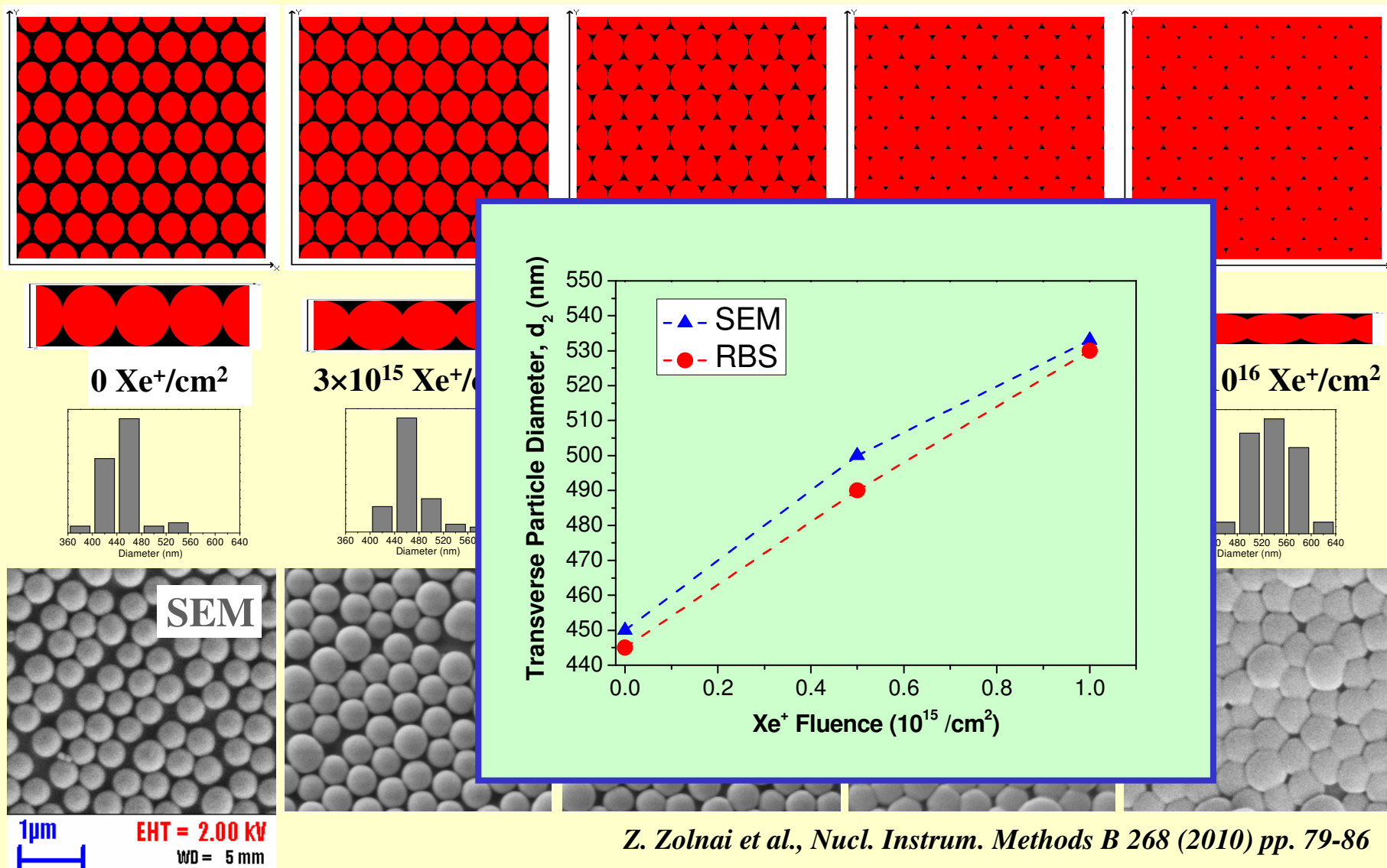
- nő merőlegesen
 - csökken párhuzamosan
- a besugárzás irányához képest.

A deformáció mértéke a besugárzott dózissal nő.



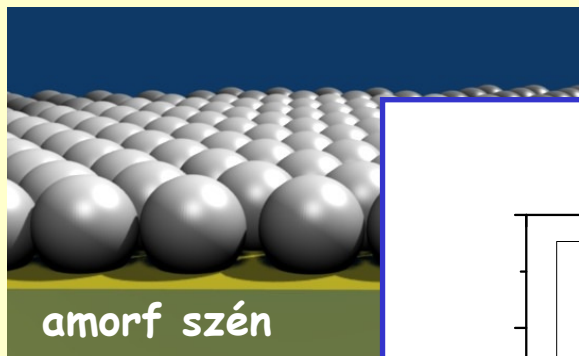
Szilika nanorészecskék anizotróp deformációja

RBS szimuláció modell cella



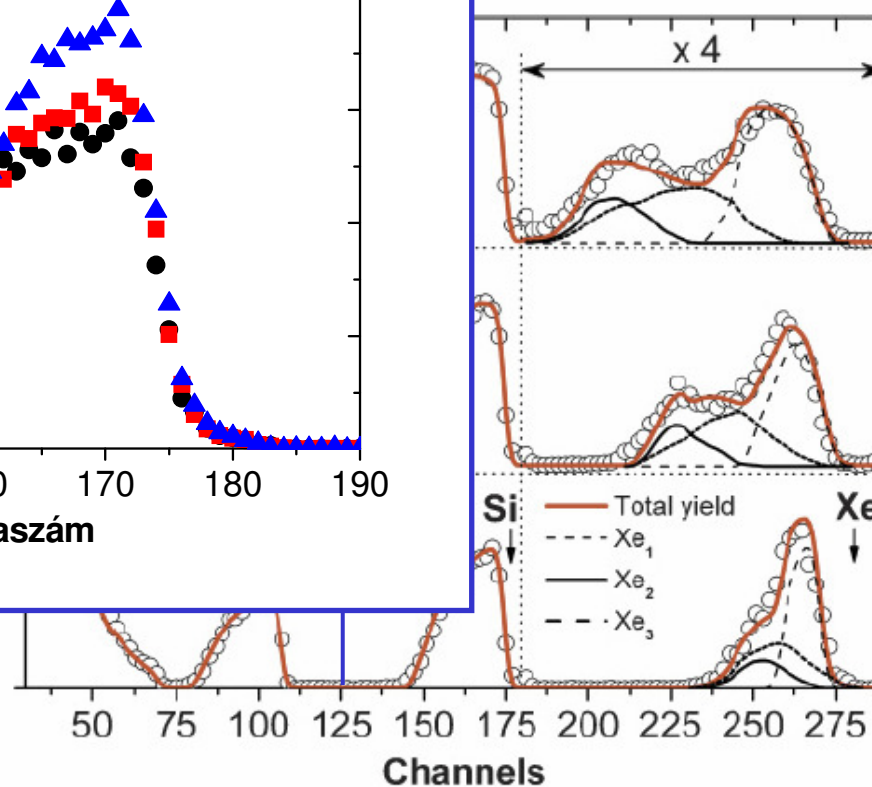
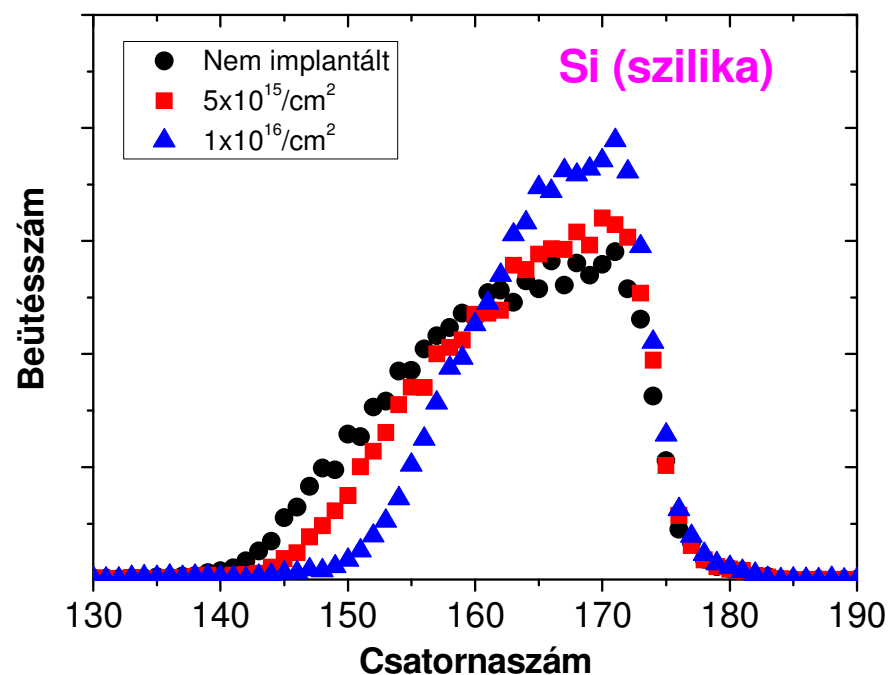
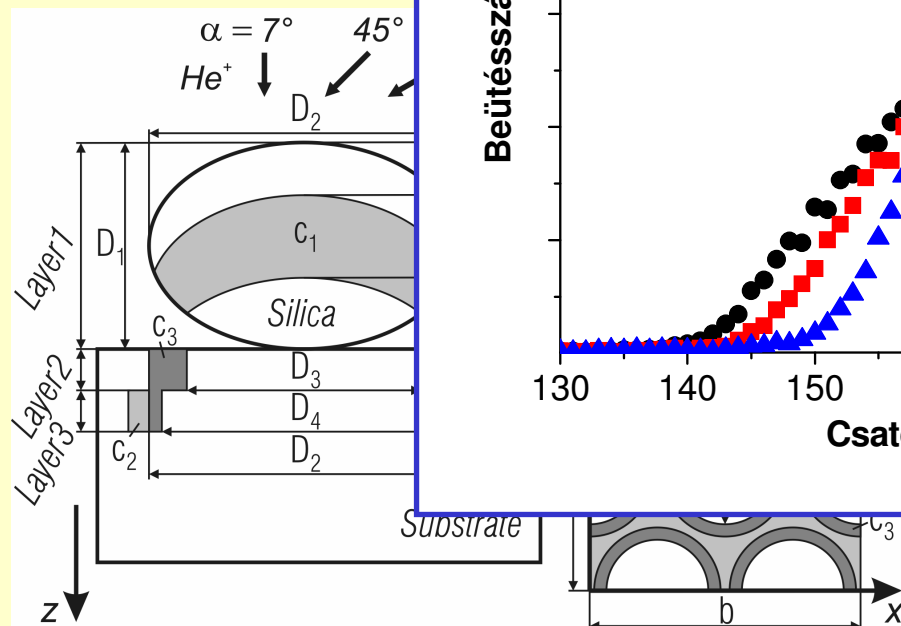


Three-dimensional view of the shape, size, and atomic composition of ordered nanostructures by Rutherford backscattering spectrometry



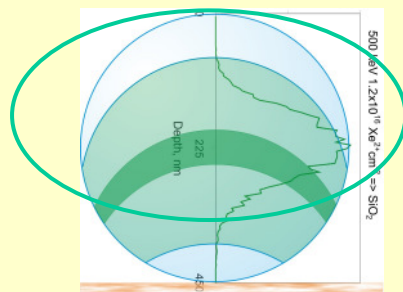
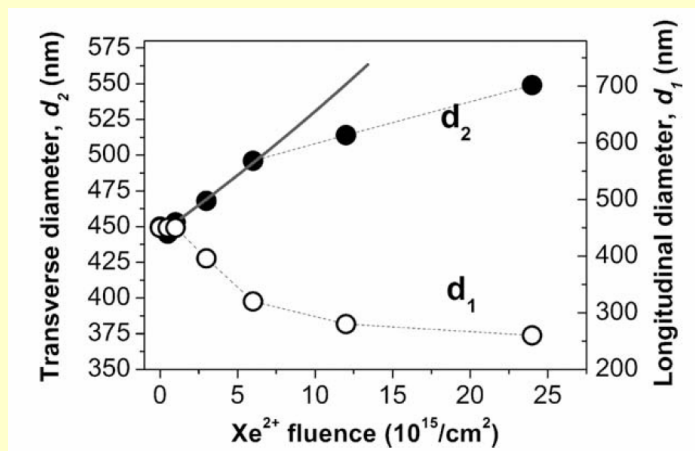
tistig
49, H-1525 Budapest, Hungary

1525 Budapest, Hungary
011)



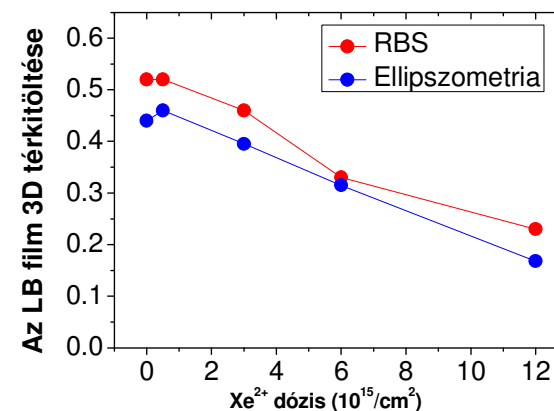
Implantált Xe: szilika nanorészecske/Si szubsztrát rendszer 3D jellemzése

Részecskeátmérő

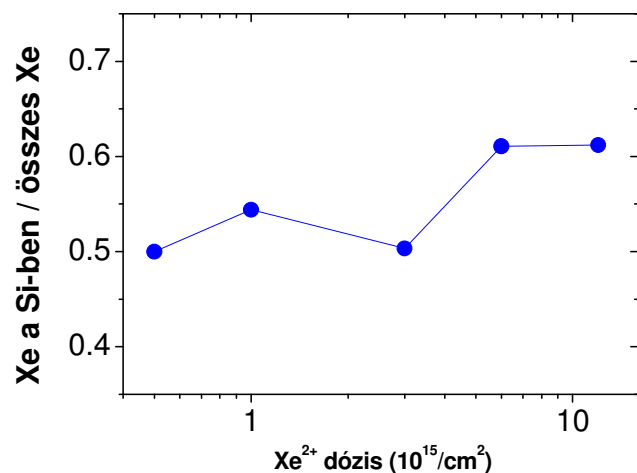


„Ion hammering”

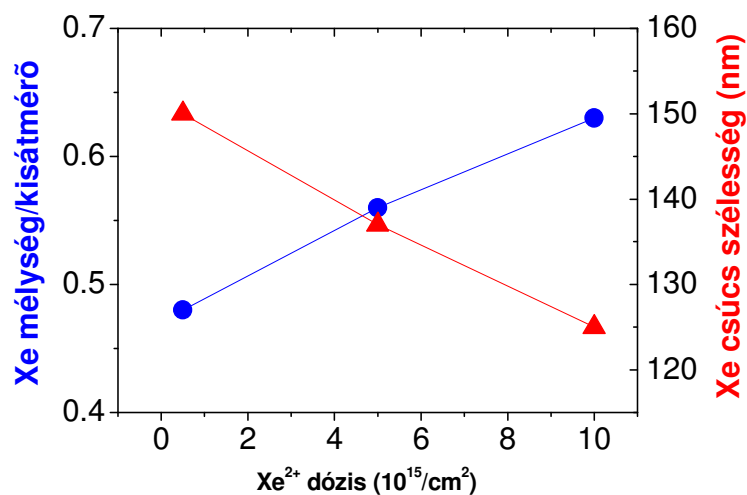
Film „porozitás”



Maszkolási hatások



Lokális anyagtranszport



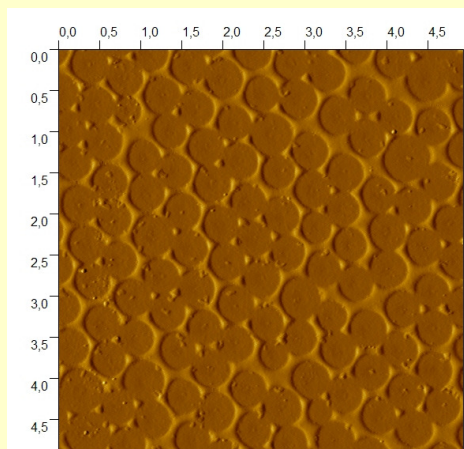


- **NSL technikával mintázott felületek vizsgálata**

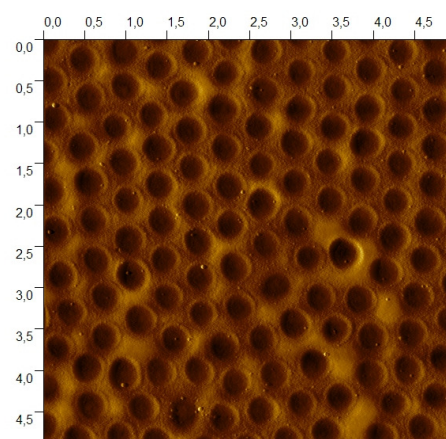


Felületi mintázatképzés nanogömb ($\varnothing$ 450 nm) litográfiával

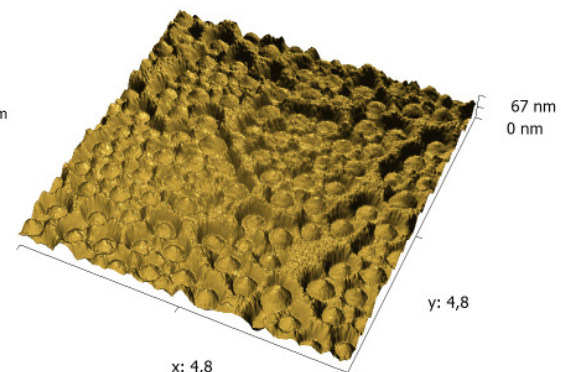
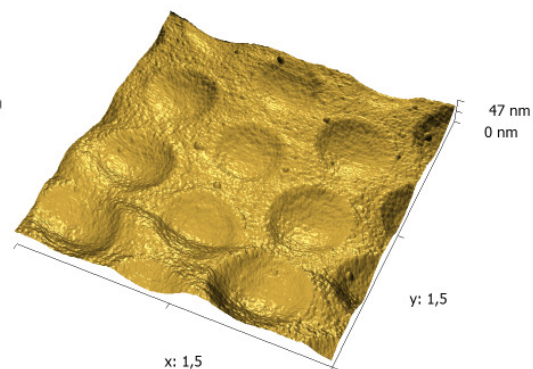
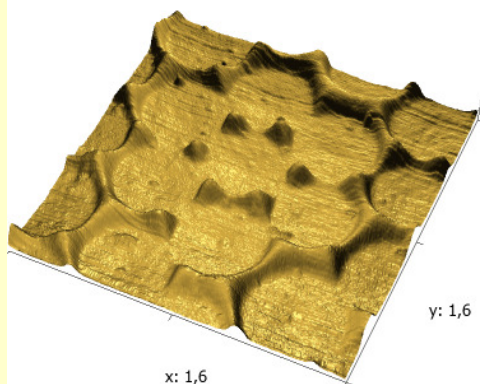
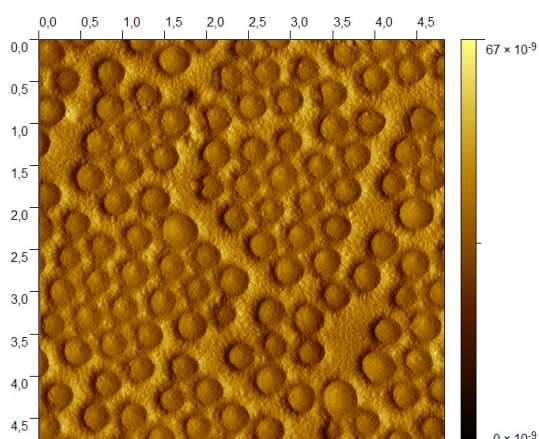
40 keV Ar⁺: Si



500 keV Xe⁺: Si



500 keV Xe⁺: a-C

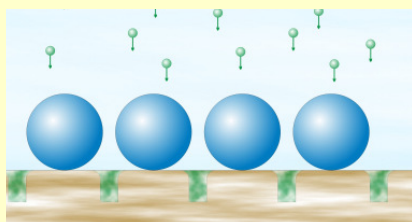


Ion beam-induced local swelling

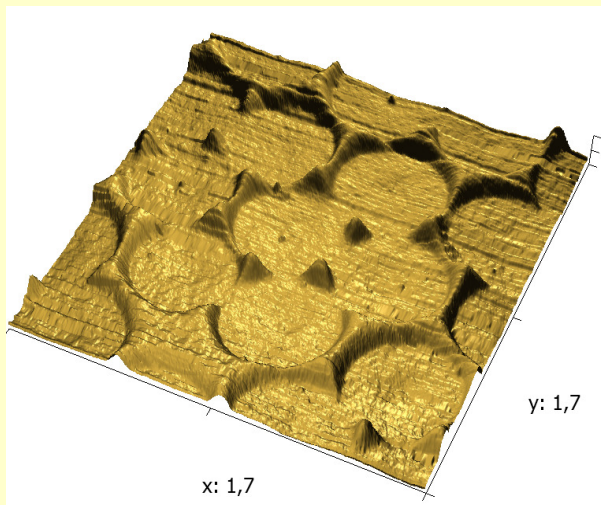


Felületi mintázatképzés nanogömb ($\varnothing$ 450 nm) litográfiával

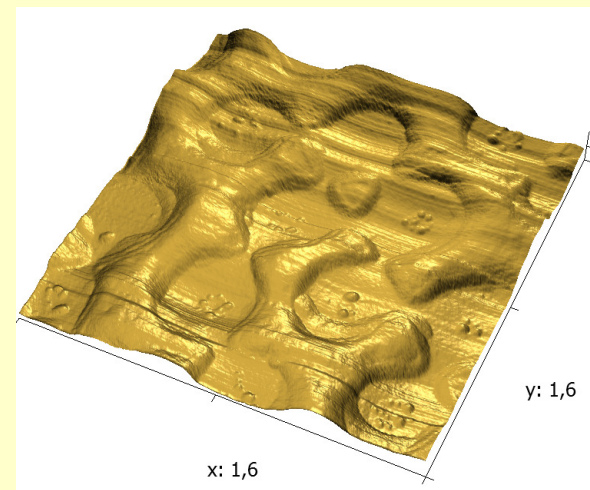
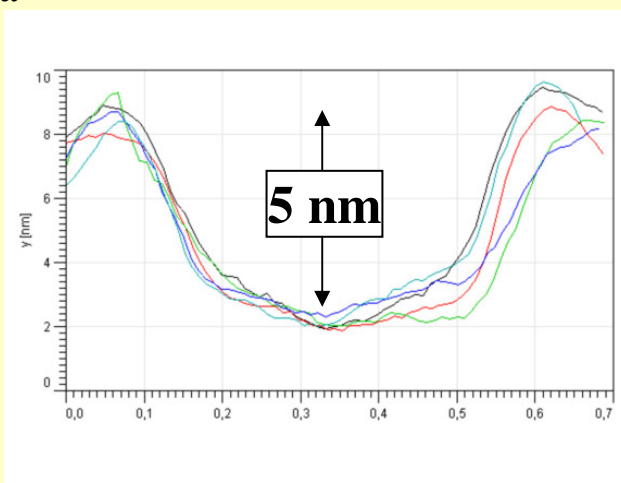
AFM analízis: 40 keV Ar⁺ implant (100) Si



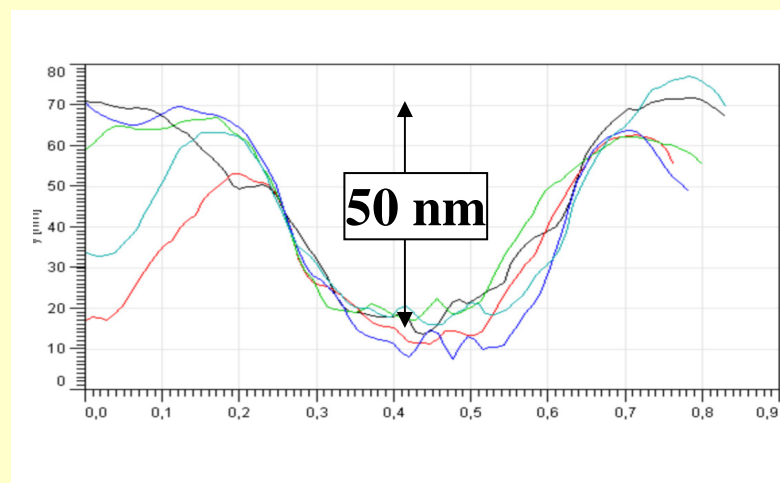
- LB film eltávolítása
- AFM mérés



10^{16} Ar⁺/cm²



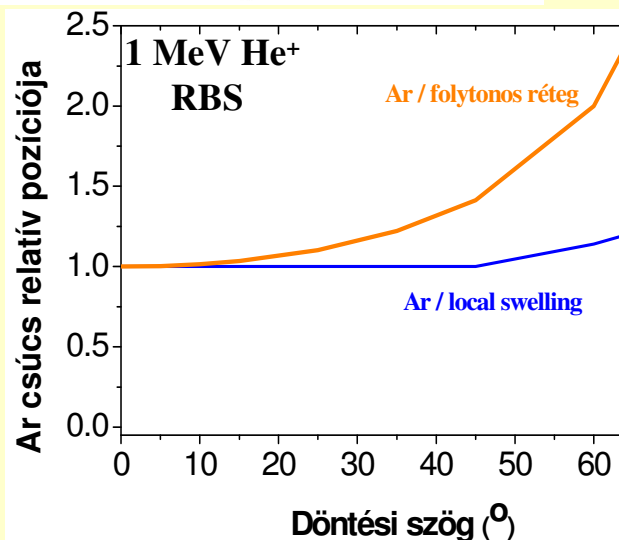
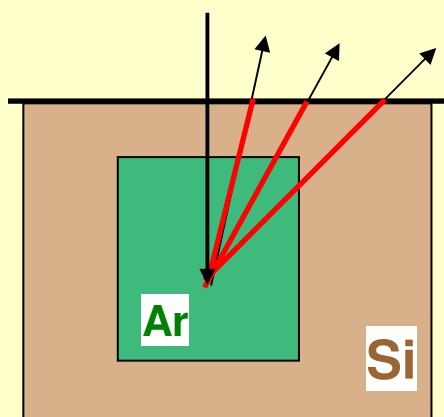
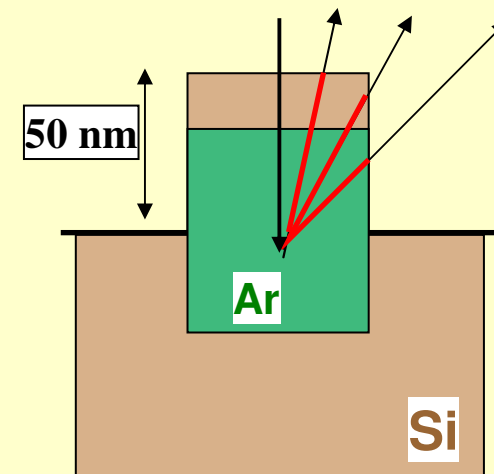
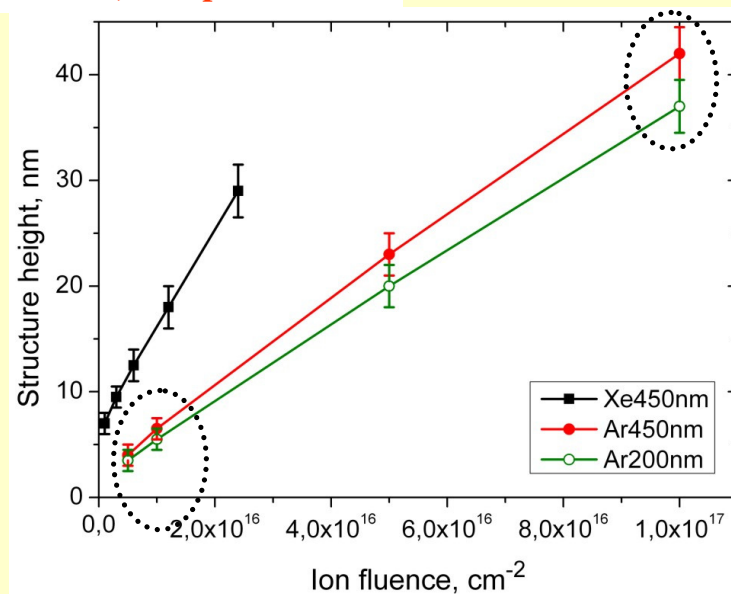
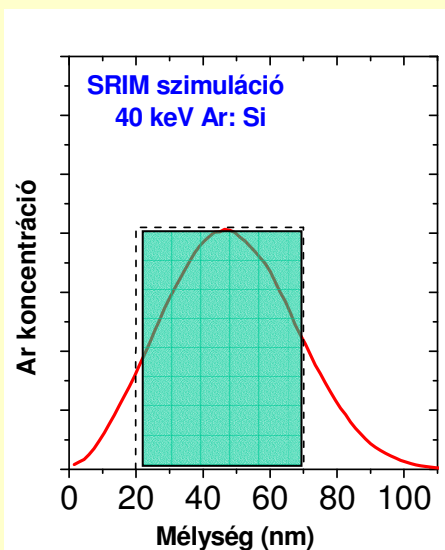
10^{17} Ar⁺/cm²





Felületi mintázatképzés nanogömb litográfiával

N. Nagy et al., J. Nanosci. Nanotechnol., accepted



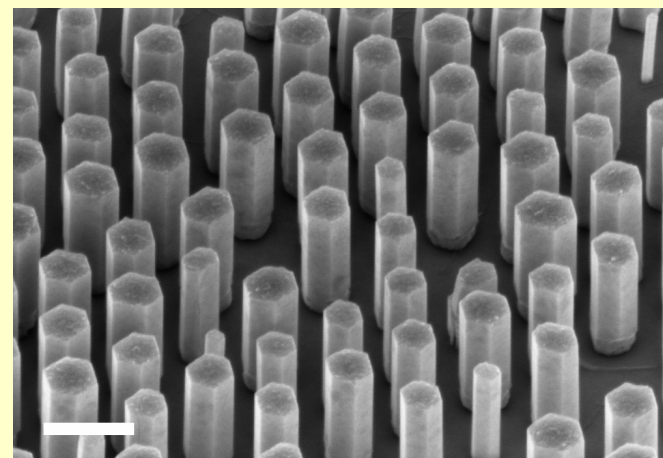
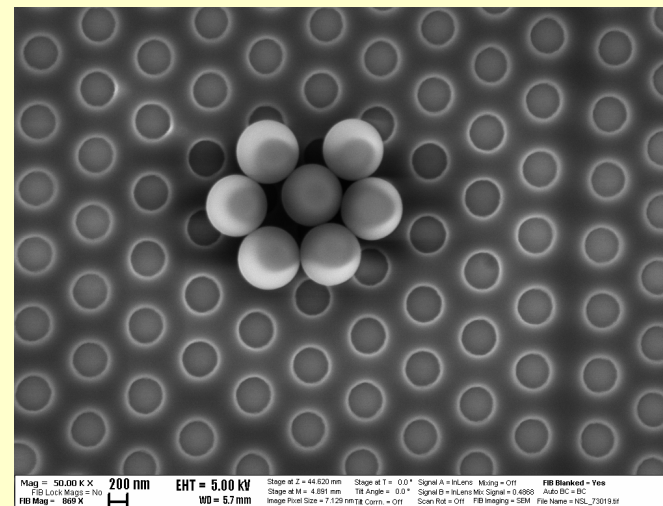
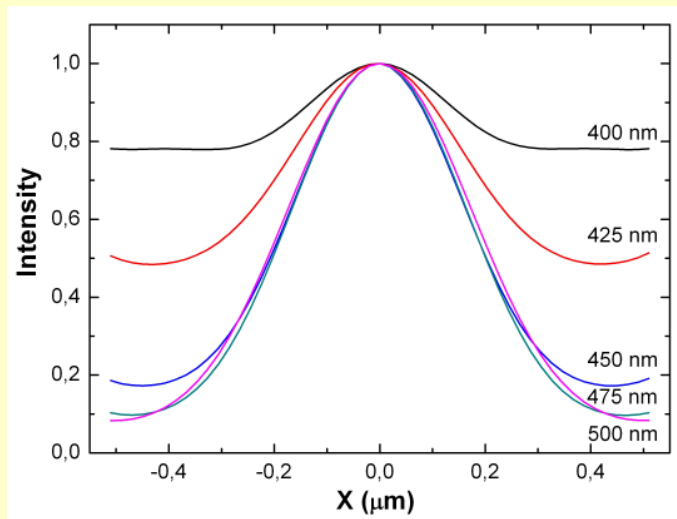
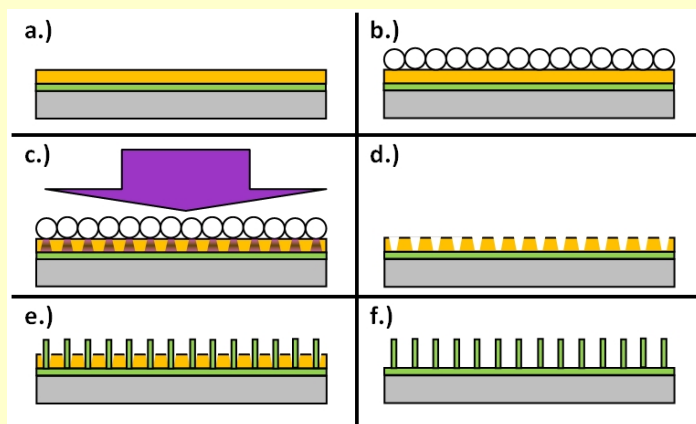
*Ar marker:
swelling
nagyságára,
kiterjedtségére
következtethetünk*



- Hengeres ZnO nanoszálak vizsgálata



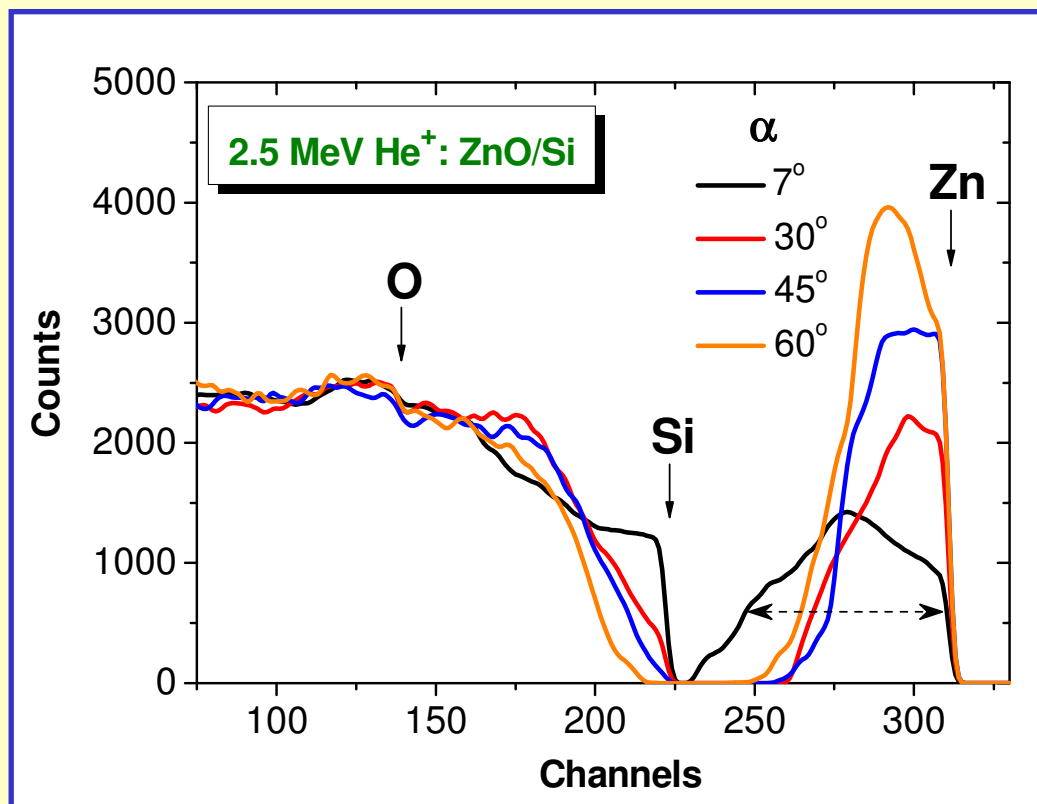
Nanogömb fotolitográfia: ZnO nanoszálak



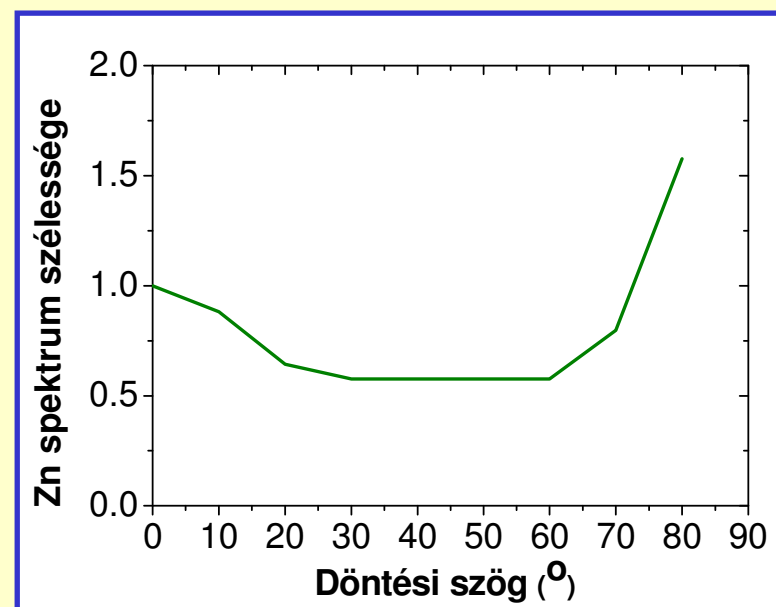
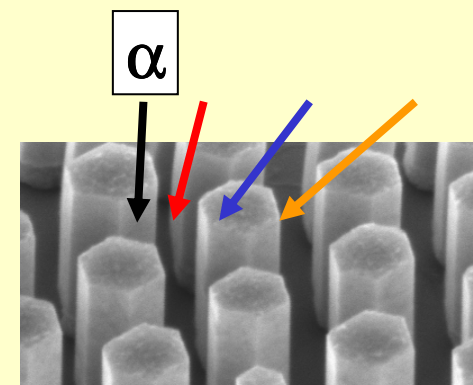
R. Erdélyi et al., *Crystal Growth Design* 11 (2011) pp. 2515-2519



Nanögömb fotolitográfia: ZnO nanoszálak



Meghatározható: Nanoszál hossz
Átmérő
Távolság





- **Mágneses mintázatok létrehozása NSL technikával**

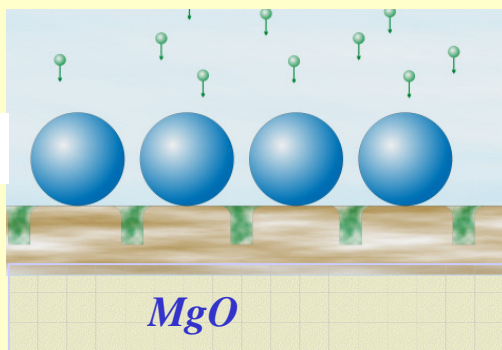


Nanogömb litográfia: mágneses mintázatképzés FePd rétegekben

100 keV Fe⁺, 35 keV Ne⁺

Ø200 nm szilika

MBE FePd

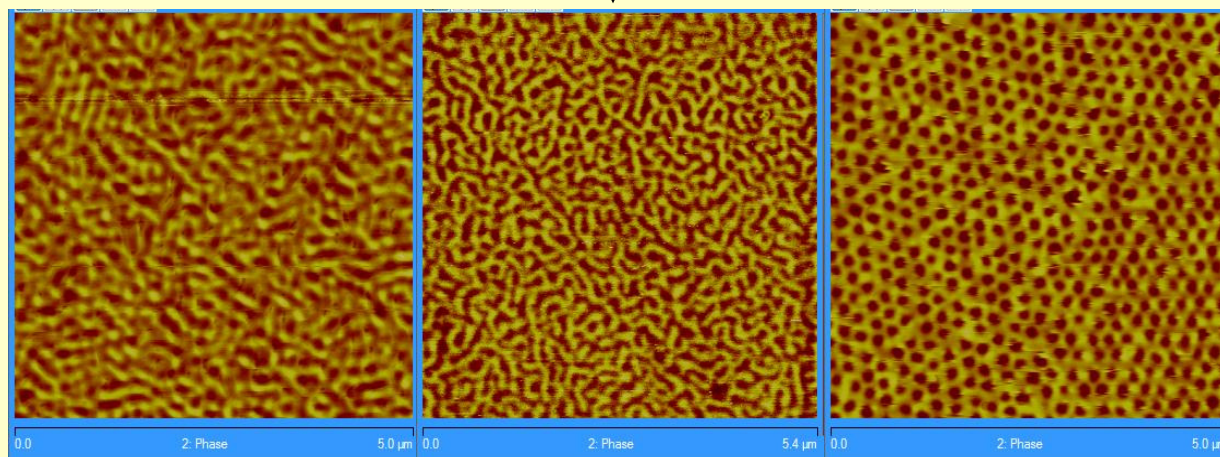


MgO

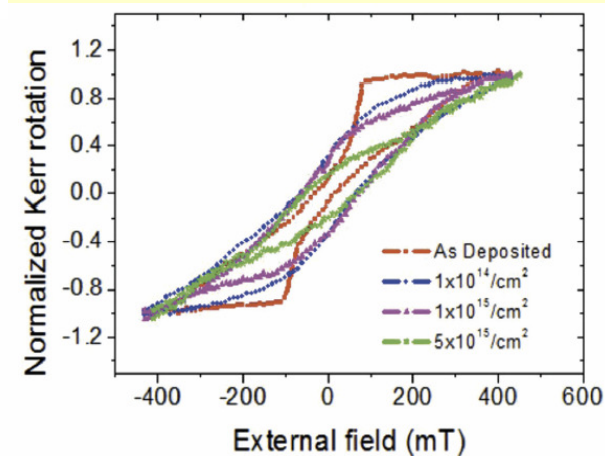
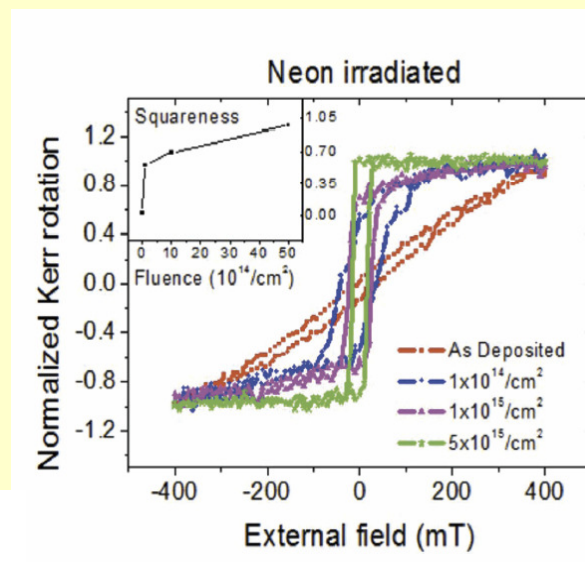
MOKE
Mössbauer

AFM/MFM

D. G. Merkel et al.,
J. Appl. Phys. 109 124302 (2011)

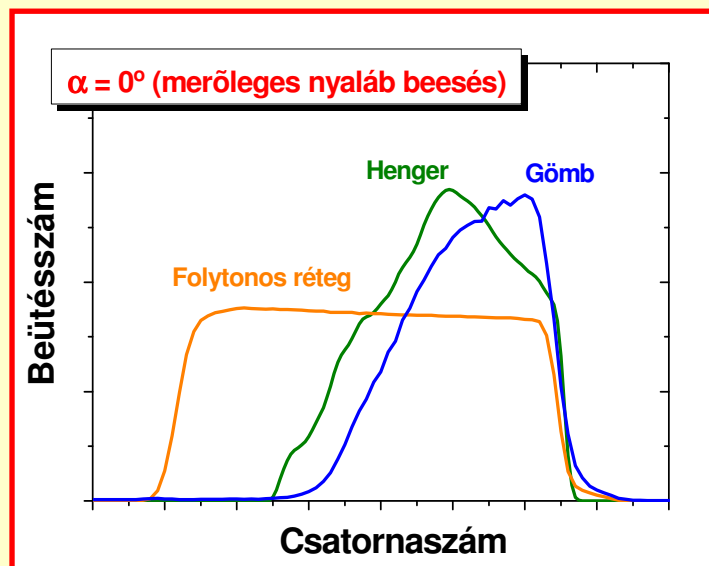


Dózis →

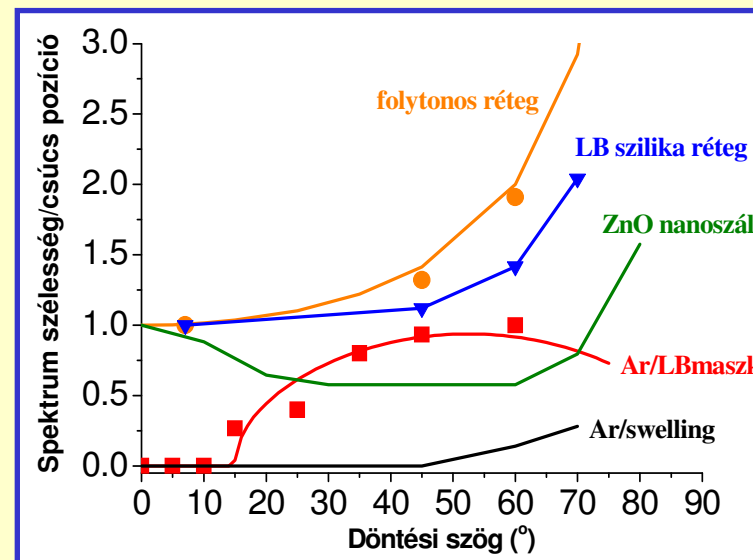


Összegzés – különböző geometriák

Spektrum alakok



Effektív rétegvastagság szögfüggése



$\cong 1$ objektum $\leftarrow$ Információs térfogat $\rightarrow$ Lokális környezet
1., 2., ..., n. szomszédok száma, távolsága

Egyidejű információ: összetétel, alak, méret

Kitekintés – közepes energiás ionszórás (MEIS) szonda: 100 – 200 keV He⁺, nagy mélységfelbontás

114320-4 Sortica *et al.*

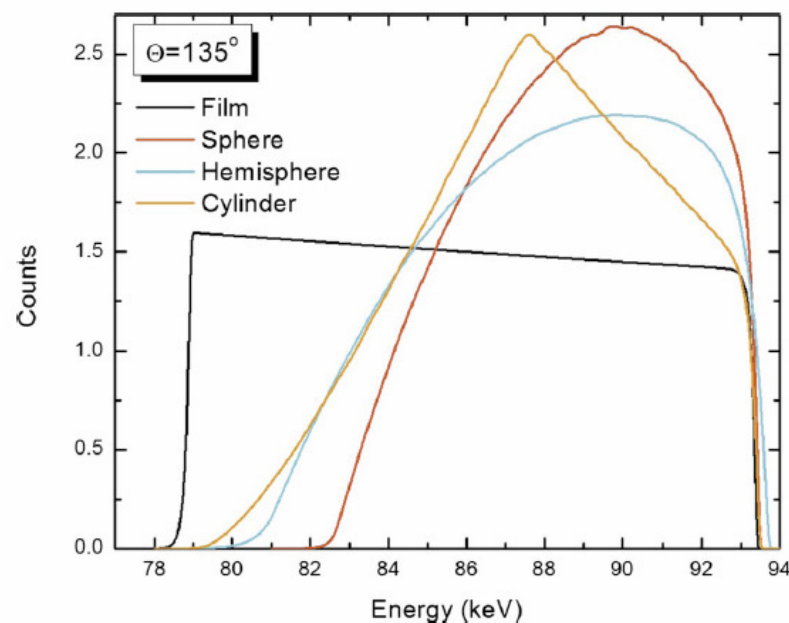


FIG. 1. (Color online) Simulated MEIS spectra for a reduced straggling value and improved energy resolution (see Table I), for different geometries of gold nanoparticles using incident 100 keV He⁺ ions.

J. Appl. Phys. 106, 114320 (2009)

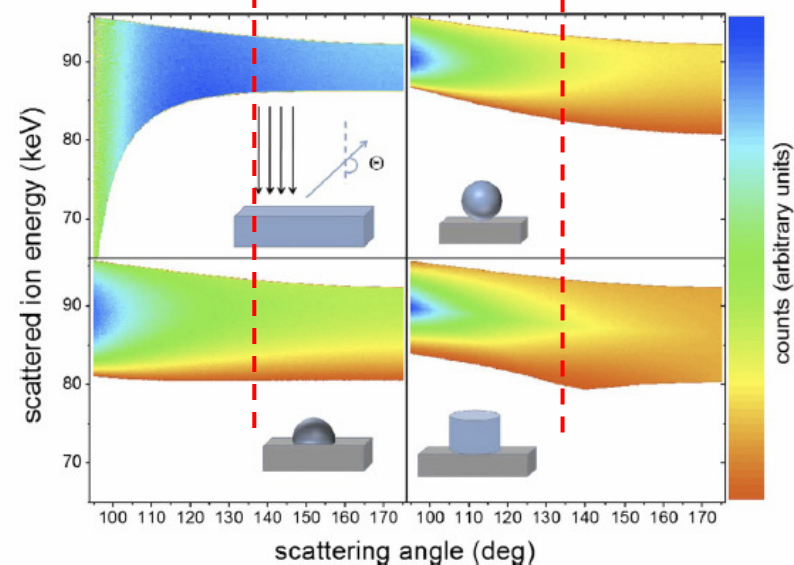
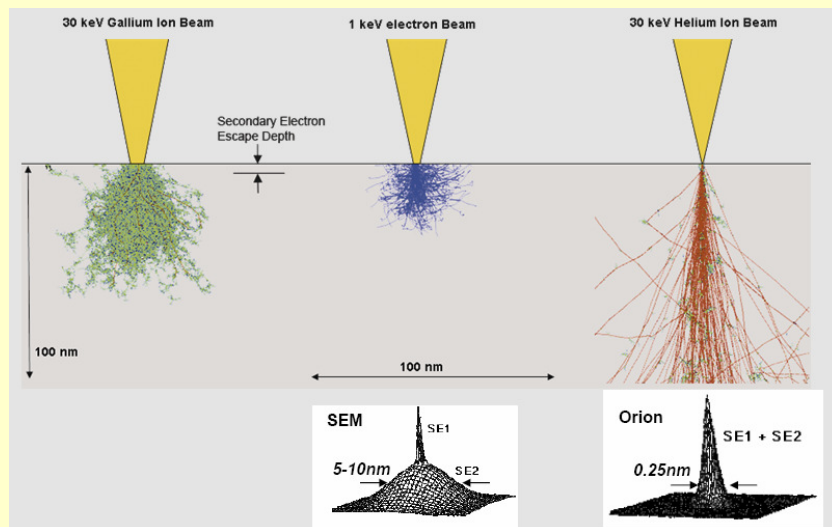


FIG. 2. (Color online) 2D map of scattered ion intensities as a function of scattering angle and scattered ion energy for incidence of 100 keV He⁺ ions.

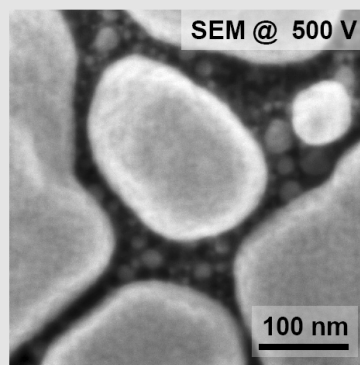
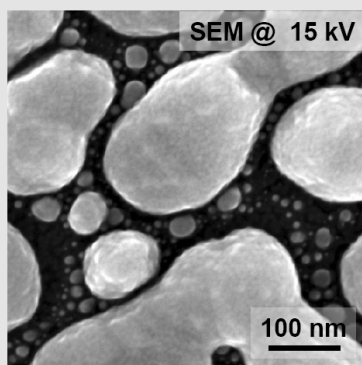
Au nanorészecskék, méret ~10 nm



Kitekintés - pásztázó He ion mikroszkópia (SHIM) szonda: 20 – 50 keV He⁺



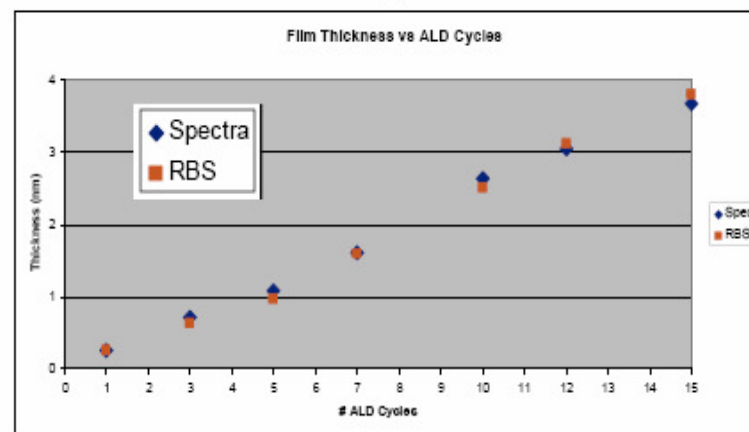
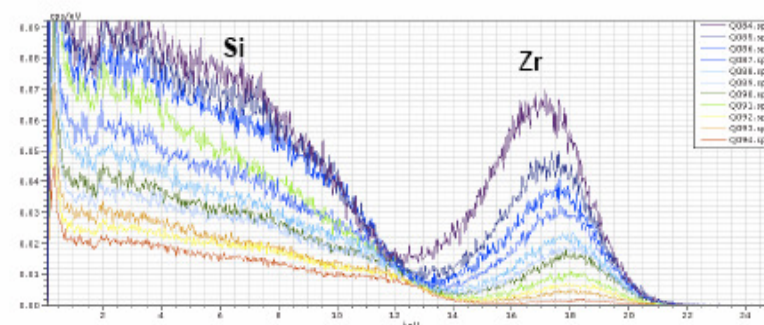
Coated AuC (big Au islands)



sample courtesy of Al Lysse, Carl Zeiss SMT Inc., US

Measuring Monolayer Thick Films

ZrO₂ on SiO₂





Köszönetnyilvánítás



Battistig Gábor

Deák András

Fülöp Eszter

Fodor Bálint

Hajnal Zoltán

Nagy Norbert

Szabó Zoltán

Tóth Attila Lajos

Volk János

Bottyán László

Kótai Endre

Merkel Dániel

Szilágyi Edit

Tanczikó Ferenc

Bolyai János kutatói ösztöndíj



Köszönöm a figyelmet!