

## 2. Féléves doktori beszámoló

### Szilárdtest felületen kialakított mikro- és nanostruktúrák vizsgálata

Windisch Márk (mark.windisch@ttk.elte.hu)  
Anyagtudomány és Szilárdtestfizika PhD program  
Témavezetők: Dr. Dankházi Zoltán és Dr. Vida Ádám

#### *Bevezetés*

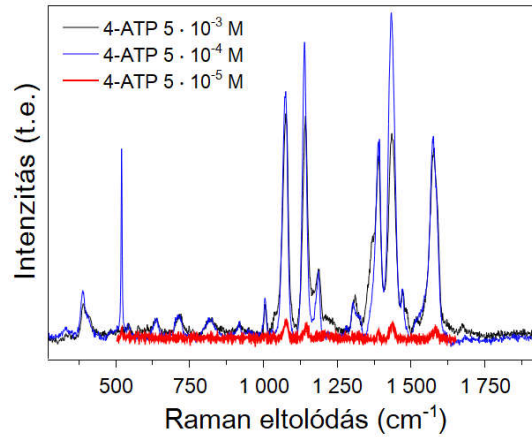
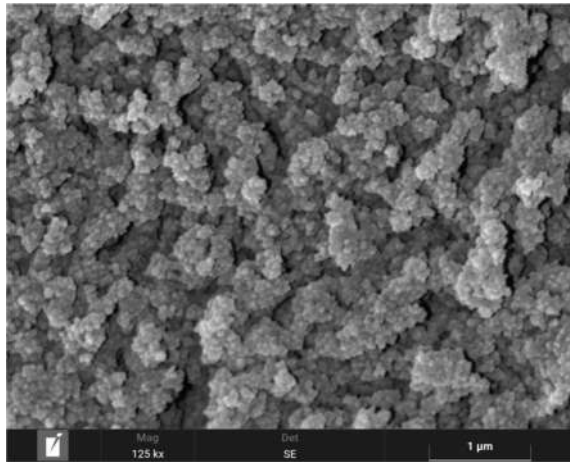
A kutatás lézeres és ionos besugárzás által szilárdfelületen kialakított mikro/nano méretű periodikus struktúrák vizsgálatát, illetve azok fizikai magyarázatát foglalja magában.

A kutató munka folytatását Si egykristály felületén femtoszekundumos impulzushosszú lézerekkel kialakított LIPSS-ek (Laser Induced Periodic Surface Structures) anyagszerkezeti vizsgálatával, illetve azok felületerősített Raman spektroszkópiában használatos SERS (Surface Enhanced Raman Spectroscopy) hordozók készítésével és tanulmányozásával folytattam. A készített hordozók Raman erősítésének vizsgálatát különböző típusú és koncentrációjú molekulák oldatai segítségével végeztem. A szilícium egykristály ionos felületkezelését kisenergiás fókuszált ionnyalábbal folytattam, melynek során a bejövő ionnyaláb szögfüggésének morfológiára vonatkozó hatását vizsgáltam.

#### *Az aktuális félévben elvégzett kutatások ismertetése*

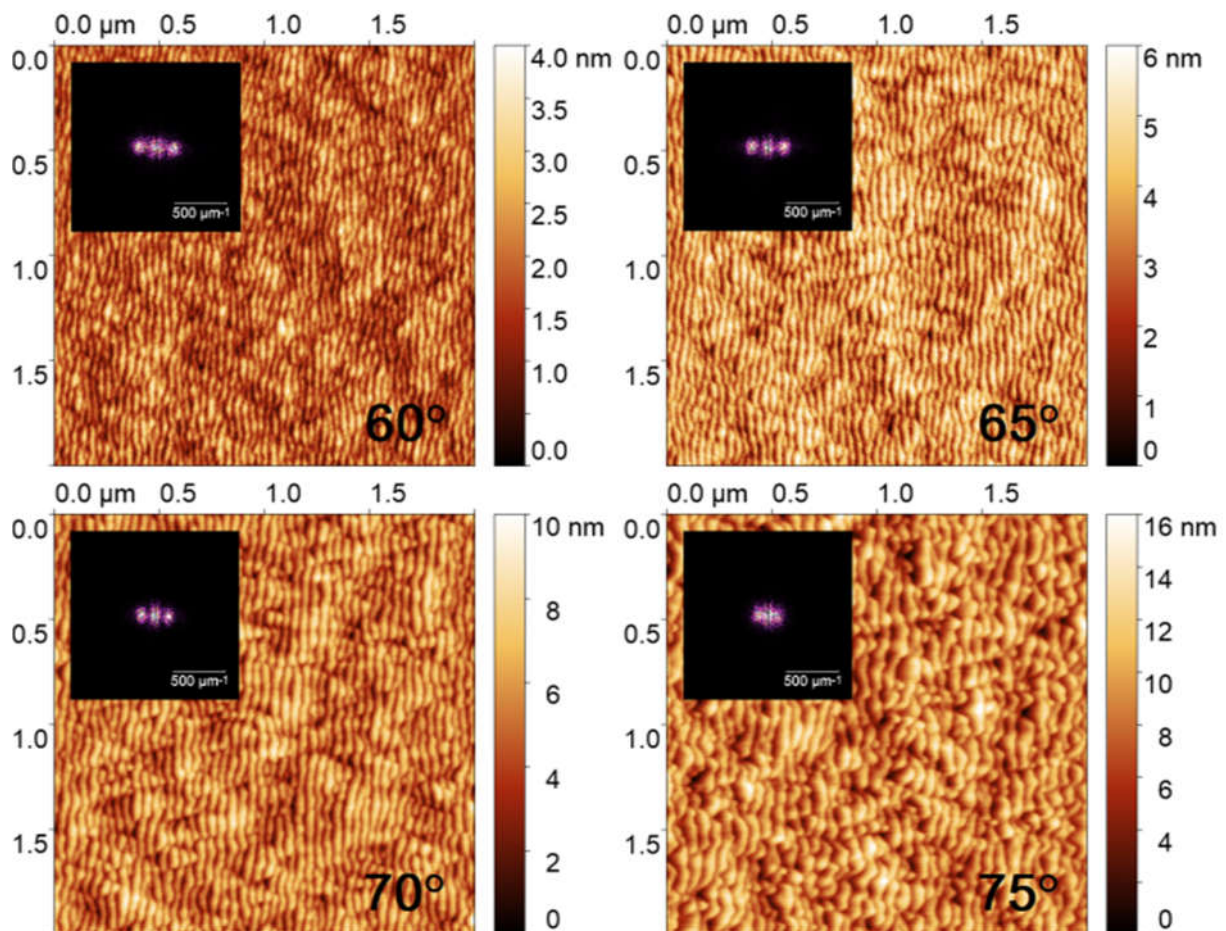
Az előző félévben kialakított LIPSS-ek anyagszerkezeti meghatározását további pásztázó elektronmikroszkópos, STEM mérésekkel folytattam. A periodikus morfológia belsejében lévő szerkezetváltozásainak tanulmányozásához TEM lamellát készítettem, majd a lamella LIPSS felső részét tartalmazó 100 – 200 nm-es mélységű területet vizsgáltam. A lamellán STEM módban készített első felvételeket alapján, a korábban spektroszkópiailag ellipszometriával meghatározott átlagos 90 nm-es amorf réteg, illetve az alatta lévő, korábban visszaszórt elektron diffrakcióval (EBSD) meghatározott lézer által érintetlen egykristály éles határátmenettel rendelkezik. A STEM mérés eredményeinek további alátámasztásához transzmissziós elektronmikroszkópos (TEM), illetve transzmissziós Kikuchi diffrakciós (TKD) vizsgálatok vannak folyamatban. A kialakított LIPSS-ek anyagszerkezetének meghatározásával célunk azok kialakulási folyamatait leíró elméletek kísérleti ellenőrzése.

A szilícium egykristályon kialakított LIPSS-ek, egyik lehetséges felhasználási területe a felületerősített Raman spektroszkópiában alkalmazott SERS hordozók alkalmazása. A kísérleti munka során SERS hordozót készítettünk (1. ábra), majd azok Raman erősítését vizsgáltuk különböző molekulák segítségével. A Si egykristály lézeres felületkezelését követően aranyréteggel vontuk be, biztosítva a hordozók felületi plazmonikus tulajdonságát. A hordozók vizsgálatát Rodamin 6G molekula segítségével kezdtünk. A Raman mérések során a kialakított SERS hordozó érzékenységének felső határát  $1 \cdot 10^{-6}$  M koncentrációjú Rodamin 6G oldatnál állapítottuk meg. A hordozó Raman erősítésének további vizsgálatát  $5 \cdot 10^{-3}$  M –  $5 \cdot 10^{-5}$  M koncentrációjú 4 - aminotiofenol (4-ATP) oldatokkal vizsgáltuk (1. ábra). A 4-ATP oldatok Raman mérései alapján a készített SERS hordozó érzékenysége  $10^{-5}$  M koncentrációjú nagyságrendbe esik. A készített SERS hordozók Raman erősítésének további vizsgálatát kereskedelmi forgalomban kapható termékek érzékenységével hasonlítjuk össze.



1. ábra. Szilícium egykristályon kialakított aranyréteggel bevont SERS hordozó felülete és a horodó különböző koncentrációjú 4-ATP oldatokkal mért Raman erősítése.

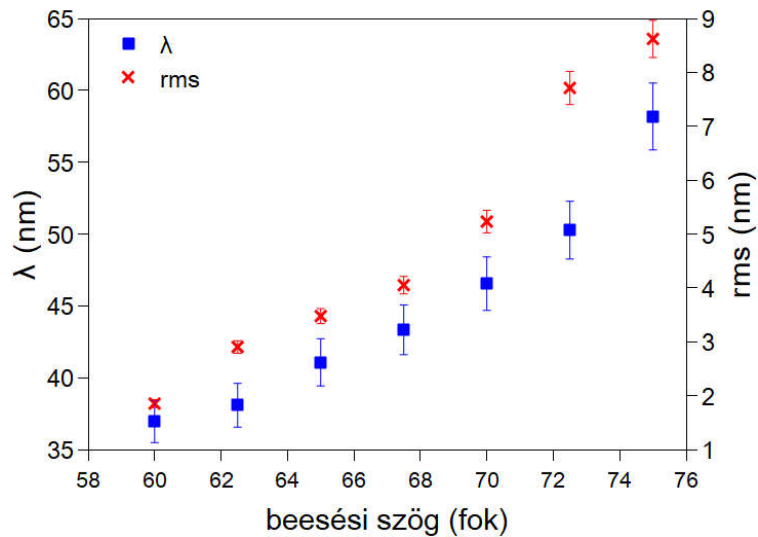
Az ionsugaras felületkezelést 2 kV-os fókuszált gallium ionokkal folytattam. Az ionos munka során 15  $\mu\text{m}$  x 15  $\mu\text{m}$ -es területeket sugároztunk be 2 kV-os 0,43 nA-es Ga ionnyalábbal. A felületkezelések során az ionnyaláb minta normálisával közbezárt szögét változtattuk 60° - 85° tartományban 2,5°-os lépésekben. A besugárzások során az iondózis ...-ban fixáltuk.



2. ábra. Szilícium egykristályon 2 kV-os Ga ionnyalábbal létrehozott strukturált felületek AFM-es képei a hozzá tartozó 2D FFT felvételekkel különböző beesési szögek mellett.

Az ionnyaláb beesési szögének morfológiára gyakorolt hatásának meghatározásához a besugárzott területeket atomerő-mikroszkóppal (AFM) vizsgáltuk. Az AFM-es felvételek kiértékeléséhez azok két dimenziós gyors Fourier transzformáltját (2D FFT), illetve az abból származó egy dimenziós teljesítménysűrűség függvényt (1D PSD) használtuk fel.

A kapott mérési eredmények alapján a  $60^\circ - 77,5^\circ$ -os szögtartományban tapasztaltunk periodikus mintázatot,  $80^\circ$ - $85^\circ$ -os intervallumban nem történt morfológiaváltozás. A strukturált felszínnek hullámhosszát és felületi durvaságának (rms) eredményeit a 3. ábrán láthatjuk.



3. ábra. Kisenergiás fókuszált ionnyalábbal kialakított morfológiák hullámhosszának ( $\lambda$ ) és felületi durvaságának (rms) beesési szögtől való függése.

A kialakult periodikus felületi struktúra hullámhossza, illetve annak felületi durvasága a beesési szöggel növekszik. A szabályos periodikus mintázat  $75^\circ$  körül kisebb néhány 100 nm széles egységekből felépülő morfológia keletkezik. A további vizsgálatok során a kisenergiás gallium ionnyalábbal közel merőleges beesés esetén lévő morfológiaváltozásokat vizsgáljuk, kiegészítve az iondózis és ionenergia függés vizsgálatával.

Célunk a kialakított felületek szabályozásának kísérleti meghatározása, azok elméleti modellekkel való összevetése, illetve az így kialakított periodikus felületi struktúrák, azok mechanikai, optikai tulajdonságainak megismerése által ipari felhasználás megkeresése.

### *Tanulmányi tevékenység*

A félév során elvégzett kurzusok:

- Rácshibák II. EA (FIZ/1/025E)
- Kísérleti módszerek a szilárdtest fizikában II. (FIZ/3/052E)
- Vákuumtechnika (KÉM/292)

### *Benyújtott publikációk*

- Acta Materialia Transylvanica folyóirat  
Lézer által létrehozott felületi periodikus struktúrák (LIPSS) alkalmazás orientált felhasználása  
Windisch Márk, Maloveczky Anna, Aradi László, Veres Miklós, Fürjes Péter, Vida Ádám
- Materials Research Letters folyóirat  
Phase transformations in 3D printing residuals of NiCoFeCrMn High Entropy Alloy  
Bence Kocsis, Mark Windisch, Lajos Varga, Nguyen Q. Chinh, Ádám Vida

### *Konferencián való részvétel*

XXVII. Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka online konferencia

- LIPSS alkalmazásorientált felhasználása című előadással

### *Oktatási tevékenység*

A félév során oktatott tárgy:

- Korszerű vizsgálati módszerek Laboratórium atomi-erőmikroszkópos mérései