

**Szilícium felületkezelése femtoszekundomos lézerrel**

Windisch Márk<sup>1,\*</sup>, Dr. Buza Gábor<sup>1</sup>, Maloveczky Anna<sup>1</sup>, Vida Ádám<sup>1</sup>, Selmeczi Dániel<sup>2</sup>, Dankházi Zoltán<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft

<sup>2</sup> Semilab Félvezető Fizikai Laboratórium Zrt.

<sup>3</sup> Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar

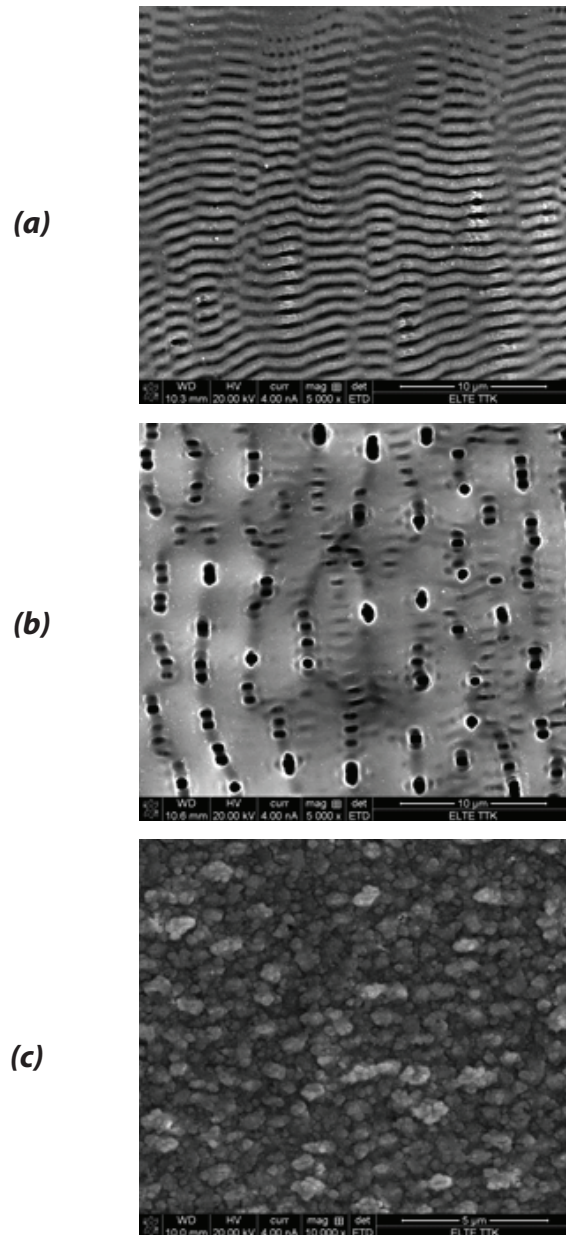
\*mark.windisch@bayzoltan.hu

A femtoszekundomos lézer kiválóan alkalmas szilárd anyagok felületi kezelésére. A lézerrel történő besugárzás hatására a felületen különböző típusú felszíni struktúrák hozhatók létre. Jelen kutatás során szilícium egykristályon létrehozott különböző nano- és mikrométeres nagyságrendbe eső morfológiájú felületeket mutatunk be, lehetséges alkalmazásainak ismertetésével. Kiválasztva néhány adott struktúrát, visszazórt elektrondiffrakcióval és spektroszkópiai ellipszométerrel határoztuk meg szerkezetét, majd az eredményeket összefoglalva további vizsgálati módszerként mikrokeménység mérést és pásztázó alagút mikroszkópos mérést tűztünk ki célul.

Femtoszekundomos lézer segítségével szilárd anyagon; vezetőn, félvezetőn, bizonyos esetben szigetelőn különböző morfológiájú felületek hozhatók létre [1]. A felületi morfológiák az ultra rövid impulzusú lézeres technika következtében sokféleképpen alakíthatók, kontrollálhatók [1]. Az alkalmazott módszer további előnye, sok más módszerrel szemben, hogy rendkívül idő- és költséghatékony, ami az ipari felhasználhatóságnak egyik alapfeltétele. Egyik kutatási irányunk a szilícium egykristályon létrehozható felületi morfológiák különböző lézerparaméterekkel történő szabályozása, kialakult anyagszerkezet vizsgálata. Jelen cikkben bemutatunk néhány femtoszekundomos lézerrel Si egykristályon létrehozott felületi struktúrát, annak lehetséges alkalmazását. Két vizsgálati módszert kiválasztva ismertetünk egy konkrét példát a létrehozott morfológia szerkezetének megfigyelésére. Végül a kapott eredményeket összefoglalva, további vizsgálati technikák alkalmazásának lehetőségét mutatjuk be.

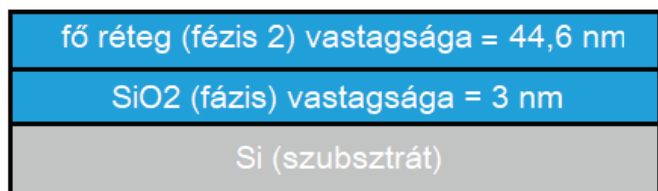
Az 1. ábrán a megfelelő lézerparaméterek esetén, Si egykristályon létrehozott eltérő morfológiájú felületi struktúrákat láthatunk. Az 1. a) ábrán a látható fény nagyságrendjébe eső periodicitású hullámos felület pásztázó elektronmikroszkópos képét láthatjuk, melynek mélysége tized mikron. A struktúra periodicitásának értékét a lézernyaláb hullámhosz-

za határozza meg. A létrehozott felszín lehetséges felhasználásában szerepel az optikai rácsként való alkalmazás, az antibakteriális felület kialakítása. A



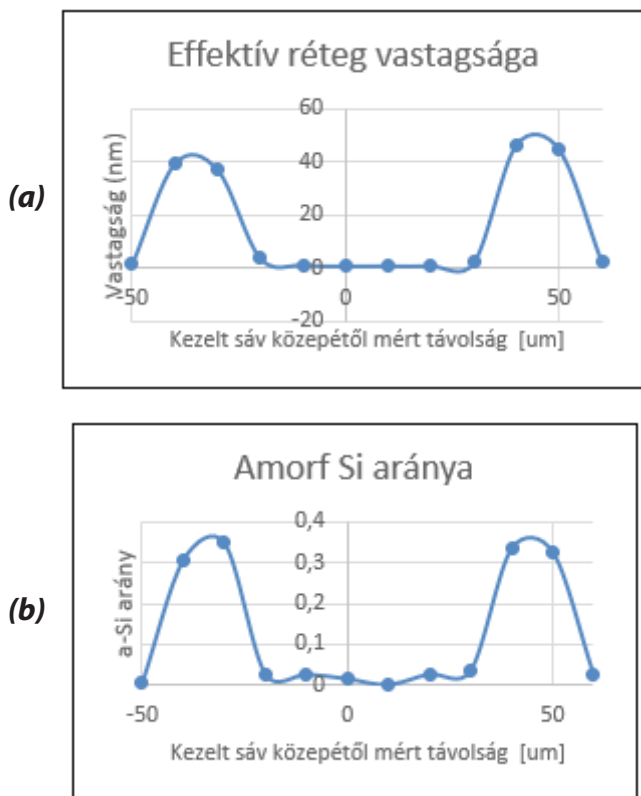
**1. ábra. Szilícium egykristályon femtoszekundomos lézerrel kialakított a) hullámos felületi struktúra b) „lyukacsos” felszín c) „karfiolszerű” morfológia.**

leti vagy tapasztalati úton felállított függvények segítségével, illetve előre definiált adatokkal. Ebben a kiértékelésben a 4. ábrán látott modellt használtuk.



**4. ábra. A kiértékeléshez használt optikai modell.**

A modellben tehát a Si hordozó diszperzója a jól ismert, irodalmi Si kristályéval egyezik meg, a fölötte levő natív oxid vastagsága és diszperziója is fix. A lézer által módosított réteg vastagsága és diszperziója pedig a kiértékelés során a szabad, illesztendő paraméterek. A diszperzió három különböző anyag törésmutatójának keveréséből kapható meg, melynek során Bruggemann féle effektív-médium közelítéssel számolunk [5]. A három különböző anyag a Si, a levegő ( $n=1$  és  $k=0$  törésmutatóval), illetve egy a-Si jellegű anyag. A kiértékelés eredménye tehát nemcsak az effektív (kezelt) réteg vastagsága, hanem az optikai úton észlelhető amorf Si arány is. (Itt mindenképpen megjegyzendő, hogy az észlelt amorf Si törésmutatója lényegesen kisebb az irodalmi amorf Si törésmutatójánál, tehát az arány nem tekinthető abszolút koncentrációnak, viszont az anyagszerkezet változásának leírására alkalmas szám lehet.) Az



**5. ábra. A modell segítségével meghatározott a) effektív réteg vastagsága b) amorf Si aránya.**

illesztés során kapott eredményeket a 5. ábrán láthatjuk.

A 5. ábra a) és b) része szerint a sáv közepén a Si egykristály felett néhány nm natív oxidon kívül más nincs, míg a sáv szélén megjelenő hullámos felszín felső része 40 nm amorf Si, Si és levegő keverékét tartalmazza. A sáv közepén mért eredmények megerősítik, illetve kiegészítik az EBSD-vel mért eredményeket, miszerint csupán néhány nm-es natív oxid található a felszínen. A sáv szélén lévő hullámosságra pedig új információt kaptunk, mely szerint a struktúra néhány 10 nm-es rész eltér el a kristályos fázistól.

Femtosekundomos lézerrel Si felületen különböző periodikus struktúrák hozhatók létre, melyek alkalmazásának lehetőségére bemutattunk néhány konkrét példát. A létrehozott struktúrák egyikét kiválasztva vizsgáltuk a lézerrel kezelt terület anyagszerkezetét. Ezek alapján az SE és az EBSD által nyert eredmények alátámasztják és kiegészítik egymást. Mint azt bemutattuk, a lézerrel kezelt sáv szélén keletkezett hullámos struktúra szerkezete néhány 10 nm-ig amorf jellegű, alatta egykristály. A sáv közepén egykristály felett vékony, néhány nm-es, natív oxidon kívül más nincsen. Továbbá kérdés maradt, hogy a lézerrel kezelt sáv közepén lévő kristályos tartomány az alapanyag része és egy anyageltávolítás történt vagy pedig egy epitaxiális újra kristályosodás zajlott le. A probléma megoldására a jövőben a struktúra mikrokeménység mérésének vizsgálatát tűztük ki célul. A mikrokeménység adta értékekből, illetve a lenyomatok tulajdonságainak vizsgálatából szeretnénk következtetéseket levonni a natív oxid alatti rétegről. Ezen felül, kiegészítésként STM-mel történő elektron állapotssűrűség mérése adhat további információt a vizsgált rétegre vonatkozóan.

- [1] H. M. van Driel, J. E. Sipe, and J. F. Young, "Laser-induced periodic surface structure on solids: A universal phenomenon," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 49, pp. 1955–1958, (1982)
- [2] J. Bonse, S. Höhm, S. V. Kirner, A. Rosenfeld and J. Krüger, "Laser-Induced Periodic Surface Structures— A Scientific Evergreen," in *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, vol. 23, no. 3, (2017)
- [3] R. Pilot, E. Signorini, C. Durante, L. Orian, M. Bhamidipati, L. Fabris, A Review on Surface-Enhanced Raman Scattering. *Biosensors*, 9(2), 57. (2019)
- [4] E. D. Diebold, N. H. Mack, S. K. Doorn, E. Mazur, Femtosecond laser-nanostructured substrates for surface-enhanced Raman scattering. *Langmuir*, 25(3), 1790-1794. (2009)
- [5] H. Fujiwara, *Spectroscopic ellipsometry: principles and applications*. (2017)