

Mikrooszlopok előfaragása szilícium egykristály mintán femtoszekundumos lézer segítségével

Maloveczky Anna^{1,*}, Windisch Márk¹, Szabó Dávid¹, Dr. Buza Gábor¹

Ugi Dávid²

¹Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft, kutató

*anna.maloveczky@bayzoltan.hu

²Eötvös Loránd Tudományegyetem, kutató, ugdaat@caesar.elte.hu

Összefoglaló:

Femtoszekundumos lézer segítségével elő-mikropillarokat készítettünk szilícium egykristályon. A kis fókuszolt-átmérő, az ultrarövid impulzushossz, és a nagy energiasűrűség új utakat nyit meg az anyagmegmunkálásban; a kezelt anyagon kisebb lesz a hőhatásövezet (HAZ), valamint precízebb, jobb minőségű anyagmegmunkálás válik lehetővé.

Kulcsszavak:

femtoszekundumos lézer, felület struktúrálás, mikromegmunkálás, mikrooszlop, hőhatásövezet

1. Irodalmi összefoglaló

Az elmúlt néhány évtizedben gyors fejlődésen mentek keresztül az ultrarövid impulzusú lézerek (azaz a piko- és femtoszekundumos lézerek). [1-3]

Ezeknek a lézereknek számos előnyük van a hagyományos (pl. nanoszekundumos) impulzuslézerekhez képest. A rendkívül rövid impulzusok eredményeként a hőhatásövezet (HAZ) mérete sokkal kisebb a kezelt anyagokban, ezzel kiváló minőségű megmunkálást tesz lehetővé mind a lágyabb, illetve a kemény, rideg anyagok esetében. Ennek magyarázata az, hogy az elektronoknak a kezelt anyagok elektron-fonon kölcsönhatási erősségétől függően 1-100 ps-ra van szükségük ahhoz, hogy a termikus energiát át tudják adni a rácsban lévő atomtörzseknek. Ez a femtoszekundumos lézereknél ahhoz vezet, hogy a besugárzott energiának csak egy nagyon kis része képes hővé alakulni.

Az ultrarövid impulzusú lézerek másik előnye, hogy rendkívül magas impulzus csúcsteljesítményt tudnak generálni, ami lehetővé teszi a multifoton abszorpció létrejöttét, így szigetelő anyagok is megmunkálhatóak vele (pl. üveg). [4,5]

Az egyfoton abszorpció nem képes a szigetelőanyagok elektronjait a vezetési sávba gerjeszteni. Azonban a multifoton abszorpció során a nagy fotonsűrűség miatt akkor is lehetővé válik az elektronok vezetési sávba gerjesztése, ha a tiltott sáv energiája

nagyobb, mint az alkalmazott fotoné. [1]

A fent leírtak miatt a femtoszekundumos lézerek képesek kiváló minőségben hiperszublimálni avagy ablálni. (Hiperszublimáció: nagy teljesítményű impulzuslézeres kezelés során plazmaállapotú anyagfelhő lép ki az anyagból és jól definiált gödröt, mélyedést hagy maga után. A szilárd anyag közvetlenül plazma fázisba alakul.) [1, 6, 7]

Így kimunkálhatóak mikrooszlopok, mikrocsatornák, mikrofuratok valamint akár stentek is.

A cikk tárgyát képező mikrooszlopokat egy kutatási együttműködés keretein belül, a budapesti Eötvös Loránd Tudományegyetemmel közösen készítjük és vizsgáljuk. A tudományos életben (és a pásztázó elektronmikroszkópok ionsugaras megmunkáló képességének fejlődésével) napjainkban a mikrooszlop faragások már nem számítanak áttörő jelentőségűnek, ugyanakkor nem is hétköznapi feladatról beszélünk. A mikronos és szubmikronos megmunkálás ugyanis nagy precizitást, komoly műszerezettséget és rengeteg időt (pénzt) igényel.

A bevett technikák időigényessége főleg abból adódik, hogy a kimunkálandó vizsgálati térfogat környezetéből sokszáz köbmikrométernyi anyagot kell eltávolítani, amely egy konvencionális Ga ionos technikával fél-1 munkanapot is igénybe vehet egy átlagos mikrooszlop esetében. A lézeres előásás alkalmazásával a munka durva része elvégezhető és mivel a HAZ mértéke nem számottevő, a finom, ionos megmunkálások során (miáltal a vizsgált oszlop valódi alakja testet ölt) teljesen eltűnik a lézer hatása.

A mikrooszlopokat anyagkutató célokra használják. A képlékeny alakváltozás máshogy működik mikroszinten, mint makroszinten. A folyamatok megismerése egyrészt a mikroméretű alkatrészek elterjedése miatt, másfelől a diszlokációelmélet fejlesztése szempontjából fontos. [8, 9]

1.1 Alkalmazott lézer- és vizsgáló berendezések

A lézersugárforrás Coherent Monaco típusú. A su-

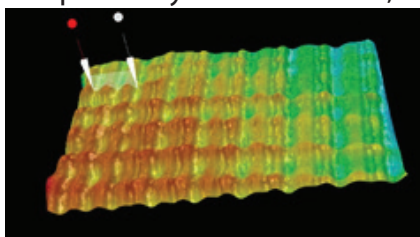
gárvezetés szál nélkül, tükrök segítségével történik a Scanlab gyártmányú z-kompensációs lencsébe, majd a galvanotükrös F-theta lencsébe. Az ismétlési frekvencia: 188 kHz – 50 MHz-között változtatható, ami lehetővé teszi a berendezés ipari alkalmazásokra történő használatát is. Az impulzushossz 300 fs-tól 10 ps-ig állítható (1 fs= 10⁻¹⁵ s). Bár az átlagteljesítmény 62 W, a maximális impulzusenergia pedig 200 μJ, a maximális impulzusteljesítmény 600 MW, ami rendkívül nagy energiasűrűséget jelent. A lézer hullám-hossza 1064 nm, a fókuszfolt átmérő pedig 80 μm.

A képképzést Keyence VHX 2000-es optikai mikroszkóppal, a SEM felvételeket FEI Quanta FEG 3D elektronmikroszkóppal végeztük.

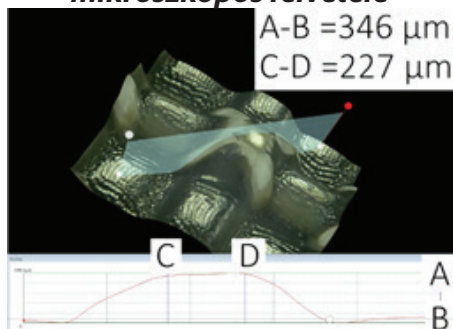
1.2 Mikrooszlopok készítése

Munkánk során elő-mikrooszlopot munkáltunk ki, amit később FIB-es utómunkával tökéletesítettünk. A lézer segítségével nagyságrendileg néhány perc alatt készíthető el több száz elő-mikrooszlop.

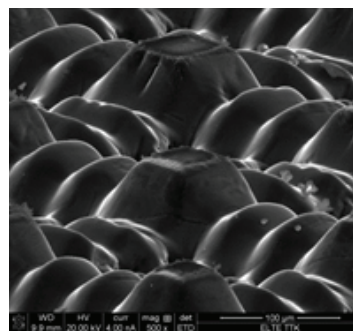
A mikrooszlopok elkészítése során négyzethálós elrendezésben árkokat munkáltunk szilícium egykristály lapkákba, az így kialakított árkok közötti részek az előgyártmányok. Egy ilyen mikropillar-erdő látható az 1. ábrán. A mikroszkóp fejét egy léptetőmotor mozgatta állítható lépésközzel letről felfelé, és az egyes állásokban készült képek éles részeit a szoftver összeillesztette. Így kaptunk 3D képet a mintáinkról. A piros szín jelenti a magasabban, míg a kék a mélyebben fekvő területeket. Egy-egy általunk készített oszlop néhány tíz mikrométer, de akár egy



1. ábra. Mikropillar-erdő 3D optikai mikroszkópos felvétele



2. ábra. 346 mikrométer magas mikrooszlop, 3D optikai mikroszkópos felvétele



3. ábra. 50 mikrométer magas mikrooszlopok SEM felvétele

milliméter magas is lehet (lásd 2, 3. ábra).

Az anyagfizikai modell megalkotásának szempontjából fontos, hogy az oszlop tökéletes egykristály maradjon, így a hőhatásövezet jelenléte nem megengedett. A kisebb, 20-60 mikrométer magasságú oszlopoknál elhanyagolható HAZ-t mértünk EBSD-vel (visszaszórt elektron diffrakció), amit a FIB-es utómunka során könnyedén és gyorsan el lehet távolítani. Míg a nagyobb oszlopoknál, már jelentős, 20-30 mikrométer vastag HAZ-al kell számolni. Továbbá, a 2. ábrán megfigyelhető fehér színű területek oxidált, visszarakódott szilíciumra utalnak. Az oxidréteg keményebb, mint a szilícium egykristály, ezért FIB-el nehezebb eltávolítani. Azonban a HAZ és a visszarakódás mértéke a nagyobb oszlopok esetében minimalizálható, a lézersugaras kezelés paramétereinek optimalizálásával. Az eredmény szempontjából sokat számít, mennyi időt hagyunk az egyes pásztázási ismétlések között, továbbá alkalmazunk-e hűtőfolyadékot.

2. Összefoglalás

A munkánk során elő-mikrooszlopokat alakítottunk ki szilícium egykristályon, femtoszekundumos lézer segítségével.

A mikrooszlop készítésnek a diszlokációs elmélet fejlesztése, a mikro-alkatrészek elterjedése miatt van jelentősége.

A mikrooszlopok FIB-el történő kimunkálása rendkívül időigényes folyamat.

A célunk olyan méretű elő-mikrooszlopok készítése volt, ami jelentősen lecsökkenti a FIB-es utómunka idejét, de csak minimális térfogatban tartalmaz hőhatásövezetet.

Sikerült megfelelő méretű oszlopokat előfaragnunk, de a hőhatásövezet túl nagy volt, továbbá a felületre visszarakódott egy vastag oxidréteg.

Terveink közt szerepel, hogy optimalizáljuk a lézersugaras kezelési paramétereiket a HAZ csökkentése érdekében: a pásztázási ismétlések között több időt várunk, továbbá hűtőfolyadékot is alkalmazunk.