

**TITÁN-KARBID/AMORF SZÉN NANOKOMPOZIT BEVONAT
ELŐÁLLÍTÁSA ÉS JELLEMZÉSE**

Ph.D. értekezés tézisei

OLÁH NIKOLETT

Témavezető: Dr. Balácsi Katalin

Környezettudományi Doktori Iskola

Vékonyréteg-fizika Laboratórium

Alkalmazott és Környezetkémiai
Tanszék

Műszaki Fizikai és Anyagtudományi
Intézet

Természettudományi és Informatikai
Kar

Energiatudományi Kutatóközpont

Szegedi Tudományegyetem

Magyar Tudományos Akadémia

Budapest 2018

1. ELŐZMÉNYEK ÉS CÉLKITŰZÉSEK

A nanoanyagok fejlődése számos tudományterületet, többek között az anyagtudomány - és azon belül a kompozit anyagok - területét is nagyban érinti. Az anyagokkal szemben támasztott egyre növekvő igények kielégítése céljából a különféle összetevők kombinációjával olyan tulajdonságok érhetőek el, melyeket külön-külön az egyes alkotókkal makroszkopikus szinten nem lehetne megvalósítani. A különböző nanorészecskéknek számos esetben az anyag tömbi formájától eltérő, sokszor valamilyen szempontból kimagasló tulajdonságai lehetnek. Ezek adagolása kompozit erősítő fázisként javíthatja az adott anyag optikai-, mechanikai-, biológiai tulajdonságait, adhéziós jellemzőit, kopás-, és korrózióállóságát.

A fémből készült orvosi implantátumok nagy részét kedvező biokompatibilitása miatt titánból vagy különböző ötvözeteiből készítik. A titánnak többek között kiváló kémiai, fizikai és mechanikai tulajdonságai vannak. A beültetést követően azonban - korrózió vagy fémleválás miatt - titánionokat (és/vagy ötvöző elemeket) lehet kimutatni a szervezetben, melyek gyulladást okozhatnak, allergiás tünetekhez vezethetnek, s legrosszabb esetben az implantátum eltávolítása válhat szükségessé. Annak érdekében, hogy elkerüljük az ionok kioldódását, növeljük a fém korrózióállóságát, valamint biokompatibilitását, többféle módszert is lehet alkalmazni, melyek közül az egyik lehetséges a felület passziválása nanokompozit anyagokkal. Disszertációmban ilyen, TiC/a:C nanokompozit vékonyréteg passziváló, korrózióállóságot és biokompatibilitást növelő bevonat alkalmazásáról számolok be a sebészeti implantátumok élettartamának növelése érdekében, ahol az egyik alkotó (a:C mátrix) folytonos és körülveszi a diszperz fázist (TiC nanokristályok).

Az elmúlt évtizedekben, az MFA Vékonyréteg-fizika Laboratóriumában többféle nanokompozitból - C-Ti, C-Ni, Cu-Ag, Al / polikristályos-TiN, Al / egykristály-TiN - sikeresen állítottak elő vékonyrétegeket különböző alkalmazásokra. Vizsgálták többek között a TiC, TiN, TiCN tulajdonságait és alkalmazási lehetőségeit is. Ezekhez kapcsolódva, doktori munkám során egy egyszerű és viszonylag olcsó módszer segítségével fogok előállítani TiC/a:C nanokompozit vékonyrétegeket a különböző implantátum hordozók szerkezeti és mechanikai stabilitásának növelésére, valamint a szöveti gyulladás valószínűségének csökkentésére. A szén alapú rétegek kombinálása különböző nanoméretű fém részecskékkel javíthatja a tömbi anyag fizikai tulajdonságait, míg az amorf mátrixba beágyazott nanokristály méretével szabályozhatóak az anyag mechanikai tulajdonságai. Az amorf C mátrixból és TiC nanoszerkezetű kristályból álló szerkezet alkalmas a keménység növelésére. A vékonyrétegek

előállítását a szóba jöhető eljárások közül a legegyszerűbbnek tekinthető DC magnetronos porlasztással fogom megvalósítani. Ezzel a módszerrel kellően nagy hozam érhető el, ugyanakkor a források teljesítményének kontrolljával a réteg tulajdonságai jól szabályozhatóak, és így potenciálisan ipari körülmények közt is alkalmazható lehet.

Doktori munkám során részletesebben az alábbi pontok megvalósítását tűztem ki célul:

1. A titán tartalom hatásának vizsgálata a rétegek növekedési mechanizmusára és a TiC kristályok képződésére.
2. A rétegek mikroszerkezete és fázisösszetétele porlasztási paramétereiktől való függésének tanulmányozása.
3. A rétegek összetételére ható határfelületi energiák megismerése.
4. A TiC/a:C vékonyrétegek szerkezetének mechanikai tulajdonságokra gyakorolt hatásának vizsgálata.
5. A fém hordozókra történő porlasztás során, a szemcseszórás mellett különböző felületkezelési eljárások alkalmazása a porlasztott rétegek optimális adhéziójának érdekében.
6. A rétegek korrózióállóságának vizsgálata potenciodynamikus és EIS mérésekkel különféle elektrolitokban.
7. A bevonatok biokompatibilitásának megállapítása MG-63 humán csontsejtek 1, 3, 7 és 14 napos tenyésztésével.

2. KÍSÉRLETI RÉSZ

A TiC/a:C nanokompozit vékonyrétegek előállítása minden esetben DC magnetronos porlasztással, szobahőmérsékleten, $2,5 \times 10^{-3}$ mbar argon (Ar) háttérgázban történt. A felhasznált hordozók SiO₂/Si, kereskedelmi tisztaságú (CP) titán (ISO5832-2), sima illetve szemcseszórt felületű TiAl6V4 ötvözet (ISO5832-3), valamint szemcseszórt felületű CoCrMo ötvözet (ISO5832-12) implantátum anyagok voltak. Az implantátum hordozókat minden esetben a Protetim Orvosi Műszergyártó Kft.-től vásároltuk. 2"-es Ti (99,995 %) és C (99,999 %) Kurt & Lesker céltárgyak egyidejű porlasztásával, a teljesítmény beállításával, az idő függvényében különböző összetételű nanokompozitokat hoztam létre. A kísérletek során a szén (C) céltárgy porlasztási teljesítménye állandó (150 W) volt, míg a titán (Ti) céltárgy teljesítményét 5 és 150 W között változtattam. A porlódási sebesség, valamint a Ti és C sűrűségének megállapítására egy C/Ti/C/Ti/C/Ti multiréteget hoztam létre.

Az előállított TiC/a:C nanokompozit vékonyrétegek tulajdonságait számos módszerrel vizsgáltam. A rétegek morfológiájának és kristályszerkezetének tanulmányozását a 200 keV-on működő, 0,27 nm pontfelbontású Philips CM-20 (TEM) és a 300 keV-on működő 0,17 nm pontfelbontású JEOL-3010 (HRTEM) elektronmikroszkópokkal végeztük. Rétegeimet minden esetben keresztmetszeti mintaként állítottam elő, így a minta szerkezete a minta felületére merőleges vékony metszet (*interface*) átvilágításával volt megjeleníthető. Munkánk során a röntgen fotoelektron spektroszkópiát (XPS) a TiC/a:C vékonyrétegek átlagos kémiai összetétel vizsgálatára alkalmaztuk. A mintáinkon végzett korróziós kísérletek esetleges hatását az alapfémek, valamint a TiC/a:C vékonyréteggel bevont implantátum hordozók felületére LEO 1540 XB típusú pásztázó elektronmikroszkóppal végeztük 2, illetve 5 keV gyorsító feszültséggel. Kísérleteim során a rétegek elemi összetételének meghatározására energiadiszperzív röntgenspektroszkópiát (EDS) használtam. A rétegek anyagi minőségét röntgendiffrakciós (XRD) módszerrel azonosítottam. A szórt sugárzás detektálására GADDS 2D detektor rendszer szolgált, míg a diffraktogramok kiértékeléséhez az ICDD PDF adatbázist használtam. A C és Ti rétegek vastagságának mérésére egy kontakt üzemmódban lévő, Nanoscope Multimode 8 típusú atomerő mikroszkópot (AFM) alkalmaztunk. A TiC/a:C vékonyrétegek amorf részének jellemzését azok kötésconfigurációján keresztül a 100 – 1700 cm⁻¹ hullámszám tartományban, egy 488 nm-en működő Ar-ion gázlézerrel, valamint egy 785 nm hullámhosszú diódalézerrel felszerelt Renishaw1000 B típusú mikro-Raman mikroszkóppal végeztük.

A TiC/a:C vékonyrétegek mechanikai tulajdonságait egy Nanoindenter Agilent G200 (USA) Bekovich típusú tetraéder alakú gyémánt benyomófejjel felszerelt berendezéssel vizsgáltuk szobahőmérsékleten. A terhelés-behatolás görbékből származtatott keménység és Young modulusz értékeket az Oliver és Pharr módszerrel értékeltem ki. A mesterséges koptatás méréséhez „ball-on-disk” elrendezésű CSM Instruments gyártmányú tribométert használtunk, amely automatizáltan képes végrehajtani nagyon hosszú koptatási feladatokat. Méréseinket szobahőmérsékleten, levegő atmoszférán 0,05 m/s csúszási sebesség mellett végeztük.

A bevont és bevonat nélküli sebészeti implantátum anyagok korróziós viselkedésének, valamint a védőréteg stabilitásának vizsgálatára potenciodynamikus és elektrokémiai impedancia spektroszkópia (EIS) vizsgálatokat hajtottunk végre. Először a TiC/a:C vékonyréteggel bevont szemcseszórt felületű TiAl6V4 ötvözet, valamint szemcseszórt felületű CoCrMo ötvözet implantátum anyagokat 3 különböző pH-jú oldatban (pH = 6; 1 és 13) vizsgáltam, majd a további korróziós vizsgálatok során szimulált testnedv folyadékokban (SBF) zajlottak a mérések. A testnedv folyadékokban esetlegesen jelenlévő fémionok mennyiségének műszeres analitikai meghatározására, a TiC/a:C réteggel fedett, illetve a réteg nélküli, alap hordozók kioldódási tulajdonságait induktív csatolású plazma optikai emissziós spektrometria (ICP-OES) módszerrel vizsgáltuk. A porlasztott rétegeket biokompatibilitás és hidrofilitás vizsgálatoknak is alávetettük.

3. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1.a. Elsőként írtam le titán és szén szobahőmérsékleten történő együttes egyenáramú magnetronos porlasztásával létrehozott TiC/a:C vékonyrétegek mikroszerkezetét a titántartalom függvényében, elektronmikroszkópos, röntgendiffrakciós és elemanalitikai vizsgálatok alapján. Igazoltam, hogy a szobahőmérsékleten növesztett TiC/a:C vékonyrétegek mikroszerkezete a fázisösszetétel függvényében hasonló volt a magasabb, 150 – 350 °C közötti leválasztási hőmérsékleten készült rétegekéhez.

1.b. Megállapítottam, hogy a titántartalom szisztematikus változtatásával, 17,5 at% titántartalom alatt amorf fázis jellemezte a rétegeket, 18 at% feletti titántartalmú rétegek esetében fcc kristályfázisú TiC képződött. A TiC kristályok szemcsemérete a titántartalom növekedésével növekvő tendenciát mutatott, kezdetben különálló szemcsék formájában, majd oszlopos szerkezetté átalakulva. A nanokristályokat körülvevő amorf

szén mennyisége fokozatosan csökkent, majd 47 at% feletti titántartalomnál teljesen eltűnt.

1.c. A határfelületi energiákat, nukleációs korlátokat és a különböző fázisokra jellemző nano-termodinamikát figyelembe véve magyarázatot adtam a különböző összetételekre jellemző szerkezetek kialakulására. A szerkezetváltozások követték a kétkomponensű rendszer zónadiagram modelljét, a makroszkopikus Ti - C fázisdiagram alapján 47 at% titántartalom felett várt fázisátalakulásokat viszont nem tapasztaltam, hcp-Ti fázis 60 at% Ti tartalomnál sem alakult ki és a szén végig amorf állapotban maradt [S4] [S6].

2. Mérési eredményekkel bizonyítottam, hogy a porlasztott TiC/a:C rétegek elemösszetétele, mikroszerkezete, lokális mechanikai és tribológiai tulajdonságai csak a céltárgyak teljesítményétől függtek, a hordozótól és a rétegvastagságtól nem [S1] [S4] [S5].

3. Igazoltam, hogy keménység és a súrlódási tulajdonságok szempontjából az optimális mikroszerkezetű és fázisösszetételű TiC/a:C vékonyréteg a 38 at% Ti tartalomnál porlasztott, $2 \div 3$ nm vastagságú amorf szénnel elválasztott, átlagosan $4 \div 10$ nm vastagságú globuláris fcc TiC nanokristályokat tartalmazó nanokompozit réteg volt. Kísérleti eredményekkel bizonyítottam, hogy ezzel az optimális TiC/a:C nanokompozit bevonat felvitelével a kemény-bevonat nélküli Ti, vagy TiAl6V4 implantátum anyagok mind keménységi -, mind súrlódási együttható értékei sokszorososan javultak [S3] [S6].

4.a. A különböző hordozókra leválasztott TiC/a:C rétegek különböző oldatokban végzett korróziós tesztelésével bizonyítottam, hogy a legmagasabb korróziós ellenállást és a legkevesebb visszamaradt korróziós terméket az optimális TiC/a:C réteggel bevont szemcseszórt felületű TiAl6V4 alapfém biztosította.

4.b. Bizonyítottam, hogy szimulált testnedv folyadékban, 7,4-es pH értéken, a szemcseszórt TiAl6V4 felületű alapfémre felvitt optimális TiC/a:C réteg meggátolta az Al és Ti ionok kijutását [S2] [S5].

4. A DOKTORI ÉRTEKEZÉS ALAPJÁT KÉPEZŐ KÖZLEMÉNYEK

[S1] **Oláh N**, Veres M, Sulyok A, Menyhárd M, Gubicza J, Balázs K: **Examination of nanocrystalline TiC/amorphous C deposited thin films**

JOURNAL OF THE EUROPEAN CERAMIC SOCIETY 34:(14) pp. 3421-3425. (2014)

(IF 2,36) [doi:10.1016/j.jeurceramsoc.2013.12.006](https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2013.12.006); Folyóiratcikk/Szakcikk/Tudományos

[S2] **Nikolett Oláh**, Zsolt Fogarassy, Mónika Furkó, Csaba Balázs, Katalin Balázs: **Sputtered nanocrystalline ceramic TiC / amorphous C thin films as potential materials for medical applications**

CERAMICS INTERNATIONAL 41:(4) pp. 5863-5871. (2015) (IF 2,086)

[doi:10.1016/j.ceramint.2015.01.017](https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2015.01.017); Folyóiratcikk/Szakcikk/Tudományos

[S3] **Oláh Nikolett**, Fogarassy Zsolt, Sulyok Attila, Szívós János, Csanádi Tamás, Balázs Katalin: **Ceramic TiC/a:C protective nanocomposite coatings: Structure and composition versus mechanical properties and tribology**

CERAMICS INTERNATIONAL 42:(10) pp. 12215-12220. (2016) (IF: 2,758)

[doi:10.1016/j.ceramint.2016.04.164](https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2016.04.164); Folyóiratcikk/Szakcikk/Tudományos

[S4] **Nikolett Oláh**, Zsolt Fogarassy, Attila Sulyok, Miklós Veres, George Kaptay, Katalin Balázs: **TiC crystallite formation and the role of interfacial energies on the composition during the deposition process of TiC/a:C thin films**

SURFACE AND COATINGS TECHNOLOGY 302: pp. 410-419. (2016) (IF 2,139)

[doi:10.1016/j.surfcoat.2016.06.047](https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2016.06.047); Folyóiratcikk/Szakcikk/Tudományos

[S5] **Nikolett Oláh**, Mónika Furkó, Zoltán May, Attila Sulyok, Katalin Balázs: **Mechanical characterization and corrosion behavior of protective TiC/amorphous C nanocomposite coating as surface thin film**

RESOLUTION AND DISCOVERY 2:(1) pp. 43. 10 p. (2017) (IF NÉLKÜLI)

<https://doi.org/10.1556/2051.2017.00043>; Folyóiratcikk/Szakcikk/Tudományos

[S6] Fogarassy Zsolt, **Oláh Nikolett**, Cora Ildikó, Horváth Zsolt Endre, Csanádi Tamás, Sulyok Attila, Balázs Katalin, **The structural and mechanical characterization of TiC and TiC/Ti thin films grown by DC magnetron sputtering**, JOURNAL OF THE EUROPEAN CERAMIC SOCIETY 38:(7) pp. 2886-2892. (2018) (IF 3,411)

<https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2018.02.033>; Folyóiratcikk/Szakcikk/Tudományos

5. A DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ KONFERENCIA MEGJELENÉSEK

1. **Oláh Nikolett**, Veres Miklós, Sulyok Attila, Menyhárd Miklós, Gubicza Jenő, Balázsi Katalin, **Examination of nanocrystallite TiC/amorphous C deposited thin films**, Országos Anyagtudományi Konferencia (OATK), Balatonkenese, 2013. Október 13 - 15, **poszter**
2. **Oláh Nikolett**, Veres Miklós, Sulyok Attila, Menyhárd Miklós, Gubicza Jenő, Balázsi Katalin, **Examination of nanocrystallite TiC/amorphous C deposited thin films**, International Conference Fractography of Advanced Ceramics (FAC), Szomolány, Szlovákia, 2013. Szeptember 29 - Október 2, **poszter**
3. **Oláh Nikolett**, Illés Levente, Sulyok Attila, Menyhárd Miklós, Balázsi Csaba, Furkó Mónika, Balázsi Katalin, **Sputtered nanocrystalline TiC/ amorphous C thin films for medical applications**, International workshop on Coatings & Surfaces for Biomedical Engineering (IWCSB) 2014, IIT Madras, Chennai, India, 2014. Február 16 - 19, **szóbeli előadás**
4. **Oláh Nikolett**, Fogarassy Zsolt, Sulyok Attila, Tapasztó Orsolya, Balázsi Csaba, Furkó Mónika, Balázsi Katalin, **Sputtered nanocrystalline TiC/ amorphous C thin films as potential materials for medical applications**, Magyar Mikroszkópos Társaság éves konferenciája, 2014. Május 29 - 31, Siófok, Balaton, **szóbeli előadás. Különdíjas előadás, a 2015 augusztusában, Egerben rendezendő Multinational Congress on Microscopy részvételi díjának térítése.**
5. **Oláh Nikolett**, Veres Miklós, Sulyok Attila, Furkó Mónika, Fogarassy Zsolt, Balázsi Csaba, Balázsi Katalin, **Biocompatible TiC / amorphous C thin films prepared by DC magnetron sputtering**, 15th Joint Vacuum Conference, 2014. Június 15 - 20, Bécs, Ausztria, **poszter**

6. **Oláh Nikolett**, Fogarassy Zsolt, Sulyok Attila, Menyhárd Miklós, Kaptay Gyögy, Balázsi Katalin, **Microscopic study of TiC / amorphous C thin films**, 18th International Microscopy Congress (IMC) 2014 Prága, Csehország, 2014. Szeptember 7 - 12, **poszter**. *Ösztöndíj, részvételi díjamat az Európai Mikroszkópos Társaság finanszírozta.*
7. **Oláh Nikolett**, Kaptay György, Fogarassy Zsolt, Sulyok Attila, Tapasztó Orsolya, Balázsi Katalin, **Comparison of experimental results with semi-empirical equation of deposited nc-TiC / C thin films**, 6th Szeged International Workshop on Advances in Nanoscience (Siwan6) Szeged, Magyarország, 2014. Október 15 - 18, **poszter**
8. **Oláh Nikolett**, Veres Miklós, Sulyok Attila, Furkó Mónika, Fogarassy Zsolt, Balázsi Csaba, Balázsi Katalin, **Biocompatible TiC / amorphous C thin films prepared by DC magnetron sputtering**, 16th International Conference on Thin Films (ICTF16) Dubrovnik, Horvátország, 2014. Október 13 - 16, **poszter**
9. **Oláh Nikolett**, Kaptay György, Fogarassy Zsolt, Sulyok Attila, Csanádi Tamás, Balázsi Katalin, **Characterization of deposited nc-TiC / C thin films as protective coatings**, 5th International Advances in Applied Physics and Materials Science Congress & Exhibition (APMAS 2015) 2015. Április 16 - 19, Sentido Lykia Resort, Oludeniz/ Törökország, **poszter**
10. **Oláh Nikolett**, **Biocompatible ceramic TiC / amorphous C thin films prepared by DC magnetron sputtering**, 14th International Conference European Ceramic Society (ECerS 14) 2015. Június 21 - 25, Toledo, Spanyolország, **szóbeli előadás**. *Kiválasztottak a 2015. Június 21-25. között Toledoban (Spanyolország) tartandó ECerS 14 konferencián megrendezendő „ECerS student speech contest” verseny résztvevőjének.*
11. **Oláh Nikolett**, **Structural characterization of TiC based thin films by TEM and HRTEM**, Multinational Congress on Microscopy, MCM 2015, 2015. Augusztus 23 - 28, Eger, Magyarország, **szóbeli előadás**

12. **Oláh Nikolett**, Fogarassy Zsolt, Sulyok Attila, Veres Miklós, Kaptay György, Csanádi Tamás, Balázsi Katalin, **Védőbevonat alkalmazásra fejlesztett nanokompozit TiC / C vékonyrétegek jellemzése**, X. Országos Anyagtudományi Konferencia, 2015. október 11 - 13. Balatonalmádi, **5 perces előadás poszterrel**

13. **Oláh N.**, Fogarassy Zs., Szívós J., Sulyok A., Furkó M., Csanádi T., Balázsi K., **Structural investigation, mechanical properties and corrosion behavior of magnetron-sputtered nanocomposite TiC/a:C thin film coatings**, Magyar Mikroszkópos Társaság éves konferenciája, 2016. Május 19 - 21, Siófok, Balaton, **szóbeli előadás**

14. **Oláh N.**, Fogarassy Zs., Szívós J., Sulyok A., Furkó M., Csanádi T., Balázsi K., **Structural investigation, mechanical properties and corrosion behavior of magnetron-sputtered nanocomposite TiC/a:C coatings**, 16th Joint Vacuum Conference 2016. Június 6 - 10, Portorož, Szlovénia, **szóbeli előadás**

15. HypOrth Meeting Bilbaoban, Spanyolország, 2016. Június 29 - Július 2, **2 poszter**

16. **Oláh N.**, Fogarassy Zs., Szívós J., Sulyok A., Balázsi C., Balázsi K., **Structural investigation, corrosion properties and adhesion behavior of magnetron sputtered nanocomposite TiC/a:C thin film coatings**, 16th European Microscopy Congress, 2016. Augusztus 28 - Szeptember 2, Lyon, Franciaország, **poszter. Ösztöndíj, részvételi díjamat az Európai Mikroszkópos Társaság finanszírozta.**

6. EGYÉB KÖZLEMÉNYEK

[E1] Carta D, Loche D, Casula MF, **Oláh N**, Olasz D, Corrias A: **Nickel-based nanocrystals dispersed on SBA-16 gels: Synthesis and structural characterization**

JOURNAL OF NON-CRYSTALLINE SOLIDS 401: pp. 134-138. (2014) (IF 1,579)

[doi:10.1016/j.jnoncrysol.2014.01.010](https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2014.01.010); Folyóiratcikk/Szaccikk/Tudományos

[E2] **Oláh Nikolett**, Daniela Carta, Kónya Zoltán, **Vízből történő nehézfém eltávolítás szén nanocsövekkel és mezopórusos szilikákkal**, ANYAGOK VILÁGA 12:(1) pp. 41-57. (2015)

(IF NÉLKÜLI) <http://real.mtak.hu/id/eprint/31040>; Folyóiratcikk/Szaccikk/Tudományos

[E3] Doina CRACIUN, Gabriel Socol, Daniel V Cristea, Maria Stoicanescu, **Nikolett Olah**, Katalin Balazsi, Nicolaie Stefan, **Mechanical properties of pulsed laser deposited nanocrystalline SiC films**, APPLIED SURFACE SCIENCE 336: pp. 391-395. (2015) (IF 2,538)

[doi:10.1016/j.apsusc.2014.12.186](https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2014.12.186); Folyóiratcikk/Szaccikk/Tudományos

[E4] **Nikolett Oláh**, Miklós Veres, Attila Sulyok, Zsolt Fogarassy, George Kaptay, Katalin Balázsi, **STRUCTURAL CHARACTERIZATION OF TiC-BASED THIN FILMS BY TEM AND HREM**, In: Ágnes Kittel, Béla Pécz (ed.) 12th Multinational Congress on Microscopy: MCM 2015. 599 p.

Conference: Eger, Hungary, 23/08/2015 – 28/08/2015 Budapest: Academic Press, 2015. pp.

148-150. (ISBN:[978-963-05-9653-4](https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2014.12.186)); Könyvrészlet/Absztrakt / Kivonat/Tudományos

7. TUDOMÁNYMETRIAI ADATOK

Összes referált közlemény: 9

ebből az értekezéshez kapcsolódik: 6

Összesített impakt faktor: 16,871

ebből az értekezéshez kapcsolódik: 12,754

Összes független hivatkozás: 29

ebből az értekezéshez kapcsolódik: 22