



SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM
KÖRNYEZETTUDOMÁNYI
DOKTORI ISKOLA

MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
ENERGIATUDOMÁNYI KUTATÓKÖZPONT

BIOKOMPATIBILIS ÉS ANTIBAKTERIÁLIS BIOKERÁMIA BEVONATOK ELŐÁLLÍTÁSA ÉS JELLEMZÉSE

Doktori (Ph.D) Értekezés Tézisei

Készítette:
Furkó Mónika
okleveles vegyész

Témavezető:
Dr. Balázs Csaba
Tudományos Tanácsadó (MTA-EK)

Környezettudományi Doktori Iskola
Alkalmazott és Környezetkémiai Tanszék
Természetudományi és Informatikai Kar
Szegedi Tudományegyetem

Vékonyrétegfizika Laboratórium
Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Intézet
Energiatudományi Kutatóközpont
Magyar Tudományos Akadémia

Szeged

Budapest

2018

1. ELŐZMÉNYEK ÉS CÉLKITŰZÉSEK

Napjainkban, az ortopédiai sebészetben leggyakrabban használt implantátum anyagok a Ti ötvözetek, mivel kiváló mechanikai, kémiai tulajdonságokkal rendelkeznek és mindemellett a felületükön képződő stabil, kompakt oxidrétegnek köszönhetően a korrózióállóságuk is kiváló. Az egyik legnagyobb hátrányuk azonban az, hogy a baktériumok könnyen megtapadnak és elszaporodnak a felületükön, miközben úgynevezett biofilm képződik. Ez könnyen okozhat elfertőződések és az implantátum kilökődését is előidézhetheti az beültetést követően. Ezenkívül a titán alapú ötvözetek bioinert tulajdonságúak, azonban nem tekinthetők tökéletesen biokompatibilisnek. A biokompatibilitás javítása érdekében különféle felületkezelő módszerek és bevonatok alkalmazása ajánlott. Erre a célra legmegfelelőbb a hidroxiapatit (HAp) bevonatok kialakítása. A hidroxiapatit széleskörűen alkalmazható anyag mind a fogászatban, mind az ortopédiai sebészetben, mivel nagyon jó oszteokonduktív tulajdonsággal bír. A másik nagy előnye a HAp bevonatoknak, hogy az anyag kémiai tulajdonságai és kristályszerkezete nagyon hasonló az emberi csontokat is alkotó ásványi anyagokéhoz, így alkalmassá teszi az implantátumokat a csontszövet pótlására, valamint a csont újjáépítésére. Gyakran előfordul azonban, hogy a HAp bevonat is kedvező táptalajt szolgáltat a baktériumok számára. Köztudott, hogy napjainkban is súlyos, még mindig megoldásra váró problémát jelentenek az implantáció utáni elfertőződések. A fertőződések következtében kilökődő implantátumok miatt számos rekonstrukciós műtetre van szükség, ami egyebek mellett jelentős anyagi megterhelés is az egészségügyi ellátórendszereknek. Ennek kiküszöbölésére célszerű és hasznos megoldás az antibakteriális komponenseket és egyéb bioaktív elemeket, vegyületeket is tartalmazó HAp bevonatok kialakítása az implantátumok felületén. Korábbi kutatások kimutatták, hogy különféle szerves antibakteriális anyagok, úgymint ezüst-, cink-, réz- és egyéb fémionok, részecskék beépítése a bevonatba sokkal hatékonyabb, mint bármilyen más antibakteriális kezelés, mivel a baktériumok könnyen toleránssá válhatnak az antibiotikumokkal szemben. A szerves vegyületekkel szemben azonban a baktériumok intoleránsak, mivel azok más hatásmechanizmussal működnek. Elmondható még, hogy az ezüst, különösen az Ag^+ ion, rendkívül széles spektrumú antibakteriális anyag még egészen kis koncentrációban is. Ugyanakkor toxikus hatása az élő sejtekre megfelelő koncentrációban alkalmazva csökkenthető. A kioldódó antibakteriális ezüst megakadályozza a káros baktériumok megtelepedését az implantátum felületén, míg a bioaktív ionok (Zn, Mg, Sr) részt vesznek a csontsejtek kialakulásában és elősegítik életfolyamataikat, metabolizmusukat.

A megfelelően biokompatibilis, antibakteriális valamint biológiailag lebomló bevonatok kialakítása az implantátum felületén nagy jelentőségű és fontos fejlesztési terület az orvostechológiában.

Világszerte intenzív kutatás folyik biokompatibilis kalcium-foszfát alapú biokerámia bevonatok fejlesztésére, melyekben sokféle technológiát, módszert, alapanyagot és adalékanyagot használnak. Ezekhez a kutatásokhoz kapcsolódva a doktori munkám célkitűzése olyan, többféle ionnal adalékolt kalcium-foszfát biokerámia bevonatok kialakítása és komplex jellemzése, amelyek (i) nagymértékben javítják az alapfém biokompatibilitását, (ii) antibakteriális tulajdonságuknak köszönhetően csökkentik az operációt követő elfertőződés veszélyét, (iii) elősegítik a csontsejtek megtapadását és növekedését az implantátumon és (iv) biológiailag lebomlanak. A munkám során a bevonatokat impulzus áramú elektrokémiai leválasztás, valamint megfelelő oldatokkal történő utólagos felületkezelés kombinációjával állítottam elő. A rétegek szerkezetét pásztázó elektronmikroszkóppal (SEM) / transzmissziós elektronmikroszkóppal (TEM), energiadiszperzív röntgensugaras spektroszkópiával (EDX), röntgendiffrakcióval (XRD) valamint Fourier transzformációs infravörös spektroszkópiával (FT-IR) vizsgáltuk. Keresztmetszeti felvételeket készítettünk fókuszált ionnyaláb segítségével (SEM-FIB). A rétegek korróziós viselkedését komplex elektrokémiai mérésekkel, úgymint potenciodynamikus görbék felvételével és elektrokémiai impedancia spektroszkópiával (EIS) követtük nyomon mesterséges testfolyadékban (SBF). A rétegek pontos elemösszetételét valamint a kioldódott elemek koncentrációját induktív csatolású plazma optikai emissziós spektroszkópiával (ICP-OES) határoztuk meg. Emellett a rétegek biokompatibilitását MG-63 oszteoblaszt jellegű sejteken és az antibakteriális hatást egy Gram – és egy Gram + baktériumon teszteltük.

2. KÍSÉRLETI RÉSZ

Kísérleti munkám során a bevonatokat impulzusos árammal, standard kételektrodos elektrokémiai cellában állítottam elő, az implantátum anyagot kapcsolva katódként, míg anódként platina drótot használtam. Az impulzusos áramot áramgenerátor szolgáltatva négyszög hullámok formájában különböző impulzushosszakkal (t_{be}) és árammentes (t_{ki}) időkkal milliszekundumos nagyságrendben. Az impulzusos elektrokémiai leválasztás nagy előnye, hogy az árammentes időszak alatt a kationok a katód közvetlen felszínénél ún. „kiürült” térségbe tudnak diffundálni, ezzel visszaállítva a fémionok koncentrációját az eredeti érték közelébe, így az elektrolitnak van ideje regenerálódni.

A hidroxiapatit fázis ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) sztöchiometriai képletéből látható, hogy a Ca/P arány 1,67, ezért az elektrolitban a Ca forrás és P forrás arányát hasonlóképpen választottam meg és állítottam be. Ennek megfelelően a HAp réteg leválasztására szolgáló elektrolit 115,6 g/L $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ -ot és 33,30 g/L $(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4$ -ot valamint 10 ml/L 30%-os H_2O_2 -ot tartalmazott. A hidrogén-peroxid szerepe az oldatban a hidrogéngáz fejlődésének visszaszorítása, valamint elegendő mennyiségű hidroxidion generálása. A hidroxiapatit réteg kicsapódásához elegendően magas pH érték (jellemzően 11 feletti) szükséges a katód közvetlen környezetében. A leválasztás során az oldatot erőteljesen kevertettem fűthető mágneses keverővel és 70 °C állandó hőmérsékleten tartottam. Az alapelektrolit pH-ja 4,0 és 4,5 között változott. A kalcium-foszfát leválasztására két különböző eljárást használtam. Az egyik módszer esetén az árammentes időszak (t_{ki}) és az áramimpulzusok időtartama (t_{be}) 5 ms (nagyfrekvenciás áramimpulzusok) és a csúcsáramsűrűség (j_t) 400 mA/cm², 10 perces leválasztási idővel (HAp-I). Ennél a módszernél a leválasztott rétegek vastagsága 25-50 µm között változott. A másik módszernél alkalmazott paraméterek: $t_{be} = 1$ ms, $t_{ki} = 10$ ms és $j_t = 5$ A/cm², 3 másodperces leválasztási idővel (HAp-II). Ebben az esetben sokkal vékonyabb, nemfolytonos rétegeket tudtam előállítani. A leválasztott kalcium-foszfát klaszterek vastagsága jellemzően 1-2 µm. Leválasztás után a mintákat 1M NaOH oldattal kezeltem 70 °C-on 2 órán keresztül, hogy a hidroxiapatit fázis kialakuljon.

Az ionokkal adalékolt hidroxiapatit rétegek (adHAp) előállításához három különböző módszert használtam annak érdekében, hogy tanulmányozzam az elektrolit összetételének és a leválasztás paramétereinek hatását a réteg fizikai, kémiai tulajdonságaira, valamint biokompatibilitására.

Az első módszer szerint (adHAp-I) az elektrolit összetétele g/L-ben: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ – 115,6, $(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4$ – 33,30, AgNO_3 – 0,85, $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ – 1,48 és 10 ml/L H_2O_2 (30%); a

leválasztási paraméterek: $t_{be} = 5$ ms, $t_{ki} = 5$ ms és $j_p = 400$ mA/cm², 10 perc leválasztási idővel. Ezeket a rétegeket további felület-utókezelés nélkül vizsgáltuk.

A második módszer esetén (adHAp-II) az alkalmazott elektrolit összetétele a következő (g/L-ben): Ca(NO₃)₂·4H₂O – 115,6, (NH₄)H₂PO₄ – 33,30, Mg(NO₃)₂ – 2,56, Sr(NO₃)₂ – 2,10 valamint 10 mL/L H₂O₂ (30%), míg a leválasztási paraméterek: $t_{be} = 1$ ms, $t_{ki} = 10$ ms és $j_p = 5$ A/cm², 3 másodperc leválasztási idővel. Ebben az esetben a mintákat 0,01 M Zn(NO₃)₂-ot és 0,0025 M AgNO₃-ot tartalmazó oldatban áztattam 24 órán keresztül közvetlenül a leválasztás után, majd 1 M NaOH oldatban 70 °C-on 2 óráig és végül 150 °C-on fél órán át hőkezelttem.

A harmadik módszer esetén (adHAp-III) először tiszta HAp réteget választottam le a következő paraméterekkel: $t_{be} = 1$ ms, $t_{ki} = 10$ ms és $j_p = 5$ A/cm², 3 másodperc leválasztási idővel. Majd közvetlenül leválasztás után a következő felület-utókezelést alkalmaztam: a mintákat 0,01 M Zn(NO₃)₂, 0,01 M Mg(NO₃)₂, 0,01 M Sr(NO₃)₂ és 0,0025 M AgNO₃-ot tartalmazó oldatban áztattam 24 órán át, ezután 1 M NaOH oldattal kezeltem 70 °C-on 2 órán keresztül, végül 150 °C-on fél órán át hőkezelttem.

A minták átfogó jellemzésére többféle analitikai módszert alkalmaztam. Az elemösszetétel meghatározása EDX-szel valamint ICP-OES mérésekkel történt, a bevonat morfológiáját, szerkezetét és szemcseméretét SEM és TEM mérésekkel vizsgáltuk, a rétegek vastagságának meghatározásához fókuszált ionsugár (FIB) segítségével néhány mikron mélységű árkot vágtunk a rétegbe és a mintát elfordítva az árok falát SEM-mel vizsgáltuk. A minták kristályszerkezetét, fázisösszetételét XRD mérésekkel elemeztük, valamint a kalcium-foszfát ásványban előforduló összetett anionos csoportok karakterisztikus abszorpciós csúcsait FT-IR mérésekkel azonosítottuk. A bevonatok korrózióját potenciodynamikus görbék felvételével és EIS-szel követtük nyomon. Az SBF oldatban történő hosszú idejű (30 nap) áztatás után kioldódó ionok koncentrációját ICP-OES készülékkel mértük meg.

A minták biokompatibilitását sejteletképességi tesztekkel vizsgáltuk, WST-1 (4-[3-(4-jodofenil)-2-(4-nitrofenil)-2H-5-tetrazolio]-1,3-benzén-diszulfonát) és WST-8 (2-(2-metoxi-4-nitrofenil)-3-(4-nitrofenil)-5-(2,4-diszulfofenil)-2H-tetrazolium nátriumsója) reagensek segítségével, valamint egyéb, a biotechnológiai területen széleskörűen elterjedt, kereskedelmi forgalomban levő biológiai tesztekkel, úgymint laktát-dehidrogenáz (LDH), alkalikus foszfatáz (ALP), valamint a sejtek fluoreszcens festésével (úgymint Live/Dead és Calcein/DAPI sejtfestés, OsteoImage festés, ami a mineralizálódó csontsejtek által kiválasztott hidroxipatitot festi meg fluoreszcens zöld színre).

3. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

T1. Sikeresen állítottam elő nanoméretű részecskékből felépülő hidroxiapatit (HAp) és többféle, bioaktív és antibakteriális hatású ionokkal adalékolt hidroxiapatit (adHAp) rétegeket orvosi implantátumok felületére egy újfajta, kombinált módszer segítségével, amely az impulzusos áramú elektrokémiai leválasztásból és a leválasztott réteg megfelelő utókezeléséből áll.

1. SEM mérésekkel igazoltam, hogy az újfajta módszerrel előállított bevonatok morfológiáját befolyásolja az adalékionok jelenléte. Az adalékolt ionok főként az adHAp rétegek pórusaiban, nagyon kis oldhatóságú részecskék formájában kicsapódva találhatók meg, helyeszerű agglomerátumok formájában. Az EDX mérések igazolták az adalékionok jelenlétét az adHAp bevonatokban. [P1, P2, P4, P5]
2. Az XRD mérések alapján igazoltam, hogy a rétegben a kalcium-foszfát nagy részben hidroxiapatit fázisként van jelen. A tisztán elektrokémiai úton előállított adHAp bevonat azonban tartalmazott egyéb fázisokat is, úgymint monetitet (CaHPO_4) és parascholitot ($\text{CaZn}_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), valamint fémes ezüstöt is. [P1, P2, P4]

T2. Elsőként alakítottam ki nemfolytonos, bioaktív és antibakteriális ionokkal adalékolt, porózus, a természetes csontéhoz hasonló szerkezetű adHAp bevonatot fémes implantátumokra.

1. SEM elemtérkép segítségével kimutattam, hogy az optimalizált paraméterekkel leválasztott bevonatok szigetesen váltak le a felületre. Megállapítottam, hogy ezek a szigetek szabálytalan formájúak, 1-2 μm vastagok és néhány 100 μm kiterjedésűek, valamint a bevonat mikrostruktúrája nagyon porózus. [P5]

T3. Korróziós tesztek elvégzésével bebizonyítottam, hogy a kifejlesztett bevonat biológiai lebomló.

1. Potenciodynamikus görbék és EIS mérések segítségével igazoltam, hogy a HAp és adHAp bevonatok korróziós sebessége minden esetben nagyobb, mint a Ti6Al4V hordozóé. Ez az eredmény igazolja, hogy a korróziós tesztek során, illetve fiziológiai oldatokba történő merítéskor oldódási folyamatok mennek végbe. Megállapítottam, hogy főként az adalékelemek valamint a kalcium-foszfát oldódása következik be, különböző sebességgel. [P1, P2, P4, P5]

2. Igazoltam, hogy az ezüst-, cink-, stroncium- és magnéziumionok kis koncentrációban (ppb) kimutathatóak voltak a kalcium és a foszfor mellett az SBF oldatokban, az adHAp nemfolytonosan bevont minták hosszú idejű áztatása után. [P5]

T4. Igazoltam, hogy a nemfolytonos adHAp bevonatok jobb biokompatibilitással rendelkeztek mind a Ti6Al4V hordozónál mind a tiszta HAp bevonatnál és antibakteriális hatást is kifejtettek.

1. Kimutattam, hogy a legjobb biokompatibilitással a szigetesen kialakított adHAp bevonatok rendelkeztek. A sejtleletkéességi vizsgálatok, a laktát-dehidrogenáz (LDH) és alkalikus foszfatáz (ALP) tesztek szisztematikusan nagyobb értékeket mutattak, mint a tiszta HAp és az alapfém esetén. Emellett, a sejtleletkéességi vizsgálatok alapján bizonyítottam, hogy az adHAp mintákon mért sejtszám elérte a kontrollmintánál (amikor csak az MG-63 csonsejtek növekedtek a sejtenyésztő tálcákban) kapottak 90%-át két hét sejtenyésztés után, ami nagyon jó biokompatibilitást jelent. [P4, P5]
2. A nemfolytonos adHAp bevonatokon növesztett MG-63 sejteken elvégzett Calcein/DAPI sejtfestések élő, normál morfológiájú, jól tapadó, sűrű sejtréteget mutattak a minták felületén. [P4, P5]
3. A Gram+ (*S. Aureus*) és Gram- (*E. coli*) baktériumokon elvégzett antibakteriális tesztek segítségével kimutattam, hogy megfelelő mértékű gátló hatás jelentkezett a vizsgált baktériumokkal szemben az ionokkal adalékolt adHAp rétegeknél, míg a nem adalékolt HAp rétegnél nem volt tapasztalható gátló hatás. Kimutattam, hogy a minták a Gram+ baktériumtörzsszel szemben hatásosabbnak bizonyultak, mint a Gram-törzsszel szemben.

4. A DOKTORI ÉRTEKEZÉS ALAPJÁUL SZOLGÁLÓ KÖZLEMÉNYEK

- [P1] M. Furko, Y. Jiang, T. A. Wilkins, C. Balázs: Development and characterization of silver and zinc doped bioceramic layer on metallic implant materials for orthopaedic application, *Ceramics International* 42 (4) (2016) 4924-4931. IF: 2,605
- [P2] M. Furko, Y. Jiang, T. A. Wilkins, C. Balázs, Electrochemical and morphological investigation of silver and zinc modified calcium phosphate bioceramic coatings on metallic implant materials, *Materials Science and Engineering C* 62 (2016) 249-259. IF: 3,088
- [P3] M. Furkó, K. Balázs, C. Balázs, Comparative study on preparation and characterization of bioactive coatings for biomedical applications – A review on recent patents and literature, *Review on Advanced Materials Science* 48 (2017) 25-51. IF: 2,500
- [P4] M. Furko, V. Havasi, Z. Kónya, A. Grünwald, R. Detsch, A. R. Boccaccini, C. Balázs, Development and characterization of multi-element doped hydroxyapatite bioceramic coatings on metallic implants for orthopaedic applications, *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio* 57(2) (2017) 55-65. IF: 0,560
- [P5] M. Furko, Z. May, V. Havasi, Z. Kónya, A. Grünwald, R. Detsch, A. R. Boccaccini, C. Balázs, Pulse electrodeposition and characterization of non-continuous, multi-element doped hydroxyapatite bioceramic coatings, *Journal of Solid State Electrochemistry* 22(2) (2018) 555-566. IF: 2,316
- [P6] M. Furko, E. D. Bella, M. Fini, C. Balázs, Corrosion and biocompatibility examination of multi-element modified calcium phosphate bioceramic layers, *Materials Science and Engineering C* (2018) <https://doi.org/10.1016/j.msec.2018.01.010>. IF: 4,164

5. A DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ TARTOZÓ KONFERENCIA SZEREPLÉSEK

Furko M., Balázs C., Lakatosné dr. Varsányi M., Nanoszerkezetű antibakteriális, biokompatibilis és biológiailag lebomló bevonatok pulzáló áramú leválasztása és minősítése, VEKOR konferencia, 2015 április 21-23, Balatonfüred, Magyarország, előadás

M. Furko, C. Balázs, Y. Jiang, T. Wilkins, Pulse current deposition and characterization of silver and zinc loaded calcium phosphate coatings on metallic implant materials, Qualitynano Final Conference, 2015 júl. 15-17, Heraklion, Kréta, Görögország, poszter

M. Furko, C. Balázs, Development of modified antimicrobial and biocompatible calcium-phosphate/hydroxyapatite layers on metallic implant materials, EUROMAT konferencia, 2015 szept. 20-24, Varsó, Lengyelország, poszter

Furkó M., Balázs C., Pulzáló árammal implantátum anyagokra leválasztott antimikrobiális és biokompatibilis módosított kalcium-foszfát rétegek elektrokémiai minősítése, X. OATK konferencia, 2015 október 11-13, Balatonalmádi, Magyarország, poszter

M. Furko, Investigation of biocompatibility and toxicity properties of modified calcium phosphate coating, COST Action MP1301 – NEWGEN, 2016. március 17-18, Aveiro, Portugália, STSM előadás

M. Furko, E. D. Bella, M. Fini, C. Balázs, Biocompatible and cytotoxicity studies on modified calcium phosphate coatings, COST Action MP1301 – NEWGEN, EMRS, 2016 szeptember 19-22, Varsó, Lengyelország, előadás

M. Furko, V. Havasi, Z. Kónya, A. Grünwald, R. Detsch, A. R. Boccaccini, C. Balázs, Preparation and characterization of multi-element doped hydroxyapatite coatings on metallic implant materials, HSM ANNUAL MEETING, 2017 május 11-13, Siófok, Magyarország, előadás

M. Furko, C. Balázs, Preparation and characterization of electrochemically prepared multi-ion modified calcium phosphate coatings on titanium implants, 15th Conference & Exhibition of the European Ceramic Society (ECerS2017), 2017 júl. 9-13, Budapest, Magyarország, előadás

Furkó M., Balázs C., Biokompatibilis és antimikrobiális biokerámia bevonatok előállítása, SZTE Finomkerámia Nap, 2018 ápr. 12, Budapest, Magyarország, előadás

6. EGYÉB KÖZLEMÉNYEK

M. Lakatos-Varsányi, M. Furko, T. Pozman: Electrochemical impedance spectroscopy study on silver coated metallic implants, *Electrochimica Acta* 56(23) 7787-7795. (2011) IF: 3.832

M. Furko, M. Lakatos-Varsányi, C. Balazsi: Comparative corrosion study on silver coated metallic implants, *Materials Science Forum* 812, 41-43 (2015) IF: 0

M. Furko, E. Fazakas, E. Takács: Deposition of nanostructured ZnO with variable morphology by electrochemical and hydrothermal methods onto nonwoven materials, *Materials Science Forum* 812, 327-332. (2015) IF:0

N. Oláh, Z. Fogarassy, M. Furkó, C. Balázs, K. Balázs: Sputtered nanocrystalline ceramic TiC/amorphous C thin films as potential materials for medical applications, *Ceramics International* 41 (4) 5863-5871. (2015) IF: 2.605

M. Furko, M. Lakatos-Varsányi, C. Balazsi: Complex electrochemical studies on silver coated metallic implants for orthopaedic application, *Journal of Solid State Electrochemistry* 20 (1) (2016) 263-271. (DOI 10.1007/s10008-015-3026-1) IF: 2.446

M. Furkó, É. Fazakas, E. R. Fábián, C. Balázs, Electrochemical and Morphological Characterization of Silver Doped Bioceramic Layer on Metallic Implant Materials for Orthopaedic Application, *Materials Science Forum* 885 (2017) 7-12. IF: 0

Furkó M., Balázs K., Balázs C., Amerikai és európai perspektívák a kerámiák és üvegek ipari alkalmazásaira, *Anyagok Világa (Materials Word)* 1 (2017) 1-21. IF: 0

7. EGYÉB KONFERENCIA SZEREPLÉSEK

Furkó M., Lakatosné Varsányi M., Balázs C., Fémek, ötvözetek és bevonatok korróziójának vizsgálata Elektrokémiai Impedancia Spektroszkópiával, IX. OATK, 2013 október 13-15, Balatonkenese, Hungary, poszter

Furko M., Lakatos-Varsányi M., Takács E., A. Rawal, Nanoszerkezetű ZnO leválasztása nemszőtt kelmére és a növesztett ZnO nanodrótok elektromos tulajdonságainak vizsgálata, VEKOR konferencia 2014 április 8-10, Balatonfüred, Hungary, előadás

N. Oláh, L. Illés, A. Sulyok, M. Menyhárd, C. Balázs, Mónika Furkó, Katalin Balázs, Sputtered nanocrystalline TiC / amorphous C thin films for medical applications, International workshop on Coatings & Surfaces for Biomedical Engineering (IWCSB) 16-19 Febr. 2014, Madras, Chennai, India

N. Oláh, M. Veres, A. Sulyok, M. Furkó, O. Tapasztó, C. Balázs, Katalin Balázs, Biocompatible TiC / amorphous C thin films prepared by DC magnetron sputtering, JVC15, 2014. June 15-20, Bécs, Ausztria

Oláh N., Illés L., Sulyok A., Menyhárd M., Balázs C., Furkó M., Balázs K., Porlaszott nanokristályos TiC / amorf C vékonyrétegek orvosi alkalmazásokra, Magyar Mikroszkópos Konferencia, Május 28-30, 2014, Siófok, Magyarország

8. TUDOMÁNYMETRIAI ADATOK

Összes referált közlemény: **13**; ebből az értekezéshez kapcsolódik: **6**.

Összesített impakt faktor: **24,116**; ebből az értekezéshez kapcsolódik: **15,233**.

Összes független hivatkozás: **20**; ebből az értekezéshez kapcsolódik: **11**.