

NANOSZERKEZETEK MECHANOKÉMIAI ELŐÁLLÍTÁSA ÉS MÓDOSÍTÁSI LEHETŐSÉGEINEK VIZSGÁLATA

Doktori (Ph.D.) értekezés tézisei

Kozma Gábor

Témavezető: Dr. Kukovecz Ákos, egyetemi docens



Környezettudományi Doktori Iskola

Szegedi Tudományegyetem

Természettudományi és Informatikai kar

Alkalmazott és Környezeti Kémiai Tanszék

SZEGED

2017

1. Előzmények és célok

Napjaink technológiai igényei megkövetelik a jelenlegi tudásunk által elérhető legkorszerűbb anyagok széleskörű, nagy mennyiségben történő előállítását. Erre nyújt megoldást az elmúlt évtizedek talán legdivatosabb tudományterülete, a nanotechnológia. A nanométeres mérettartományba eső részecskékből álló anyagok (nanoanyagok) kiemelkedő hasznosíthatóságukat egyaránt köszönhetik a tömbfázisúakhoz képest megváltozott fizikai-kémiai tulajdonságaiknak, valamint annak, hogy számos különböző struktúrát képesek kialakítani, amelyek alapján 0, 1 és 2 dimenziós nanoszerkezeteket különböztetünk meg. A nanoméretű anyagok a tömbi fázisú anyagtól eltérő rácsállandóval és rácsenergiával rendelkeznek, fajlagos felületük nagyságrendekkel megnő, így nagy felületi energiával és felszín-térfogat aránnyal rendelkeznek. Ezekről az új anyagoktól azt várjuk, hogy az elmúlt évszázad sem környezetvédelmi, sem gazdasági szempontból nem fenntartható technológiáit felváltsák korunk igényeinek megfelelően. Ehhez többek között az is szükséges, hogy a nanoanyagokat az ipar kiszolgálására elegendő mennyiségben elő tudjuk állítani, hiszen pozitív tulajdonságaikat csak így tudjuk kiaknázni.

A nanoszerkezetek kialakítására alapvetően két eljárás szolgál. A „*top-down*” (azaz felülről-lefelé) módszer esetén egy tömbi fázisú anyagból kiindulva, míg a „*bottom-up*” (azaz lentől-felfelé) eljárásnál atomi szintről a nanométeres tartományig növesztve alakítunk ki részecskéket. A mechanokémia mindkét megközelítésre lehetőséget ad. Ide sorolhatunk minden olyan folyamatot, amely során mechanikai energiaközléssel idézzük elő a kívánt termék kialakulásához vezető folyamatot, melyek alapvetően kétfélek lehetnek: 1) prekursorokból mechanikai aktivációval új anyagok szintézise; 2) már meglévő szerkezetek módosításával új tulajdonságú termékek kialakítása. A mechanokémia két iparilag fontos előnnyel bír más nanostruktúra-előállító módszerekkel szemben: 1) Nagy aktivitási energiájú reakciók is megvalósíthatók vele úgy, hogy közben az anyagalmaz egészének hőmérséklete alig változik; 2) A mechanokémiai folyamatok kivitelezésére használható legalkalmasabb berendezések (a golyós malmok) a vegyipar jól ismert, széles körben használt alapeszközei, ezért könnyen elterjedhetnek a rájuk alapozott nanostruktúra-előállítási módszerek.

Az Alkalmazott és Környezeti Kémiai tanszéken régóta tanulmányozzuk a nanoméretű anyagok előállítási és alkalmazási lehetőségeit. Kutatócsoportunk fő fejlesztési iránya az egydimenziós szén és titanát nanoszerkezetek, valamint a nulladimenziós fémek és fém-

oxidok. Doktori munkám célja az ilyen nanoszerkezetek mechanokémiai előállíthatóságának és módosíthatóságának vizsgálata volt. Részletesen az alábbi témákkal foglalkoztam:

- A bolygó golyósmalom által az őrlött anyaggal közölt energiamennyiség számítására alkalmas Burgio-Rojac modell nanoanyagokra való használhatóságának helyességigazolása szén nanocső modellanyagon.
- Szén nanocsövek és egydimenziós titanát nanoszerkezetek mechanokémiai módosíthatóságának vizsgálata. Tanulmányoztuk, hogy hogyan változnak a szén nanocsövek tulajdonságai mechanikai energiaközlés hatására, valamint megfigyeléseket tettünk egyes titanát nanoszerkezetek (szálak és csövek) mechanikai, szerkezeti és felületi tulajdonságaira vonatkozóan.
- Egy speciálisan az őrlődobra szerelhető nyomás- és hőmérsékletdetektáló mérőfejjel a mechanokémiai folyamatok időbeni követése, és így a reakció kinetikájára vonatkozó ismeretek bővítése, valamint a mérőegység segítségével az optimalizálás folyamatának jelentős lerövidítése.
- Különböző nanoméretű fém-oxid részecskék előállítása bolygó golyósmalomban. Az eljárás optimalizálása és egy általánosan alkalmazható szintézismódszer kifejlesztése. Az előállított anyagok mindegyikét részletesen jellemeztük, vizsgáltuk tulajdonságaikat és a mechanokémiai folyamat reprodukálhatóságát.

2. Kísérleti rész

Örlési vizsgálatainkat egy Fritsch Pulverisette 6 típusú bolygó golyósmalommal végeztük el. Ehhez rendelkezésünkre állt egy 80 mL-es Si_3N_4 , valamint egy 80 és egy 250 mL-es Fe-Ni-Cr rozsdamentes acél őrlődob a hozzátartozó golyókkal ($\varnothing=5$ és 10 mm). A malom alapvető beállításai közt szerepelnek a változtatható fordulatszám ($\omega = 100\text{-}650$ rpm), valamint az örlési idő és ciklusok száma. Legfontosabb kiegészítője a GTM-II rendszer, mellyel az örlés közben rögzítettük a zárt őrlőedényben a nyomás és hőmérséklet változását.

A többfalú szén nanocsövek (MWCNT) örlési vizsgálatait számos paraméter változtatásával végeztük el. A csövek állapotváltozását transzmissziós elektronmikroszkópiával (csövek hossza), Raman spektroszkópiával (hibahelyek jellemzése) és nitrogén adszorpciós mérésekkel (felületi tulajdonságok) követtük. A kapott eredményeket a Burgio-Rojac féle örlési energia modellel számolt értékekkel vetettük össze.

A fém-oxid nanorészecskék előállításához prekurzorként mindig a megfelelő fém sóját és Na_2CO_3 -ot, örlési közegként pedig NaCl -ot használtunk. Az előállított mintákat - amennyiben szükséges volt - ezután hőkezeltük, majd desztillált vízzel mostuk. Az így elkészült mintákat jellemeztük transzmissziós (TEM) és pásztázó (SEM) elektronmikroszkópiával, röntgen diffraktometriával (XRD), Raman és Fourier-transzformációs infravörös (FT-IR) spektroszkópiával, nitrogén adszorpciós felületmeghatározással, valamint termogravimetriával (TG). Kiegészítő vizsgálatként egyes esetekben elektrondiffrakciós (ED) vagy energiadiszperzív röntgenspektroszkópiás (EDS) méréseket is végeztünk.

A titanát szerkezetek vizsgálata során TiO_2 nanorészecskéket készítettünk TiCl_4 és Na_2CO_3 felhasználásával. Hidrotermális úton állítottunk elő trititanát nanocsöveket (TiONT) és nanoszálakat (TiONW). A TiONW-k mechanikai kezelésével TiONT-t és TiO_2 részecskéket hoztunk létre.

3. Új tudományos eredmények

1. Többfalú szén nanocsöveken (MWCNT) végzett őrlési kísérletek.

1.1. Igazoltuk, hogy a Burgio-Rojac féle őrlési energia modell a nanoanyagok golyósmaloms őrlésére is alkalmazható. A modell segítségével számítható egy golyó becsapódási energiája (E_b) és a teljes őrlés alatt az őrleménynek átadott összes energia is (E_{cum}). Egy egyszerű statisztikai modell és a Burgio-Rojac modell összehasonlításával megmutattuk, hogy utóbbival jobban értelmezhetők a többfalú szén nanocsövek hosszának és minőségének őrlés közbeni változásai. A vizsgált paramétereket (őrlés fordulatszáma és ideje, őrlőgolyók száma és mérete) őrlési térképen ábrázolva a következőket mutattuk ki: (1) egy szerkezet „feltöréséhez” szükséges energia (E_b) a malom fordulatszámának növelésével állítható be a legkönnyebben, (2) az őrlemény méreteloszlásának szabályozása főként az őrlés idejének helyes megválasztásával (E_{cum}) lehetséges, (3) az őrlőgolyók átmérőjének változtatásával elsősorban az E_b , számukkal pedig az E_{cum} befolyásolható. Kimutattuk, hogy a "kétféle" energia nem helyettesíthető egymással korlátlanul.

1.2. Elsőként írtuk le kvantitatíven a többfalú szén nanocsövek golyósmalomban történő őrlésekor bekövetkező szerkezeti változások és az őrlési paraméterek összefüggését. A nanocsövek karakterisztikus Raman D és G sávjainak intenzitásarányai alapján meghatároztuk a csövek őrlés hatására bekövetkező roncsolódását. A csövek darabolódása és a falszerkezet változásai nemlineáris összefüggést mutattak. Az I_D/I_G arány már alacsony E_b mellett is jelentősen emelkedett, ami az MWCNT-n felhalmozódó defektusokkal magyarázható. Kiegészítő nitrogénadszorpciós mérésekkel megfigyeltük a csövek végeinek letöredéséből és aprózódásából származó pórusterfogot-, valamint az E_{cum} -mal szorosan összefüggő felületnövekedést.

2. A mechanokémiai reakciók kinetikájának követése fém-oxid nanorészecskék előállítása közben.

Rámutattunk a Na_2CO_3 reakciópartnerrel végzett mechanokémiai fém-oxid nanorészecske szintézisek nyomás-idő függvényének anomális viselkedésére, ami a kinetikai adatok hibás értelmezéséhez is vezethet. A jelenség mélyrehatóbb vizsgálata során (XRD, FT-IR, TG) kimutattuk, hogy a Na_2CO_3 a zárt őrlőedényben a keletkező CO_2 -dal és a rendszerben lévő vízzel reagálva NaHCO_3 képződése mellett pufferként

viselkedik a nyomás emelkedése szempontjából. A Na_2CO_3 relatív mennyiségének növelésével ez a folyamat a keletkező összes CO_2 elnyeléséig is tarthat, ezért karbonátfeleslegben végzett szintézisek során az őrlőedényben uralkodó aktuális nyomás és a konverzió között bonyolult nemlineáris kapcsolat van. Sztöchiometrikus reaktánsarány használatkor a keletkező NaHCO_3 egy adott idő után reakciópartnerként újra belép a termékképződés folyamatába, ezzel a nyomás ugrásszerű emelkedése értelmezhető.

3. Nanoméretű fém-oxid részecskék mechanokémiai úton történő szintézise.

3.1. Mechanokémiai úton előállított ón-oxid nanorészecskék széleskörű vizsgálatával (XRD, FT-IR, TEM, SEM) igazoltuk, hogy a bolygó golyósmalom alkalmas fém-oxid nanorészecskék gyors és nagy hozamú előállítására. Prekuzorként a fémsó mellett Na_2CO_3 -t használtunk NaCl mátrixban. Utóbbinak az egyes részecskék elválasztásában és az őrlési energia közlésében van kiemelt szerepe. A termék jól meghatározott monodiszperz méreteloszlással (9 nm átlagos átmérő) és egységes morfológiával rendelkezik, az őrlés utáni egyszerű tisztítással kinyerhető. A módszert nanoméretű SnO_2 , MnO_2 , CdO , CoO , ZrO vagy ZnO fém-oxid részecskék szintézisére is sikeresen alkalmaztuk.

3.2. NiCl_2 , FeCl_3 és Na_2CO_3 reaktánsok, valamint NaCl mátrix alkalmazásával a 3.1 eljárás alkalmazhatóságát kiterjesztettük ferrit nanorészecskék előállítására is. Így elsőként szintetizáltunk egy reakciólépésben közvetlenül NiFe_2O_4 nanorészecskéket, melyek átlagos átmérője 8,5 nm volt. A szintézis sikerét azzal magyaráztuk, hogy a bolygó golyósmalomban a ferritszintézishez szükséges oxidokat (NiO , Fe_2O_3) nem kell külön előállítani, hanem azok a reakció során eleve aktivált állapotban in situ keletkeznek, és rögtön tovább is alakulhatnak nikkelferritké.

4. Mechanokémiával előidézett fázisátalakulások vizsgálata titánát szerkezeteken

4.1. Megmutattuk, hogy a 3.1 szerinti karbonátos szintézismódszerrel 7,2 nm átlagos átmérőjű TiO_2 nanorészecskék is előállíthatók. Igazoltuk, hogy az őrlési körülmények változtatásával amorf, anatáz és rutil szerkezetű titán-dioxid is készíthető így.

4.2. Az irodalomban elsőként bizonyítottuk, hogy a trititanát nanoszálak mechanokémiai módszerrel visszaalakíthatók trititanát nanocsövekké annak ellenére, hogy

termodinamikailag a nanoszál forma a stabilisabb. Ehhez a trititanát nanoszálakat a relatív alacsonytól a közepesen nagyig terjedő őrlési energiákon kezeltük, kihasználva a mechanokémiai szintézisekre jellemző átmeneti állapot befagyási jelenséget. Nagy energiával hosszú ideig őrlve a titanát nanocsövek amorf polimorf TiO_2 nanorészecskékké alakulnak át.

4. Az eredmények gyakorlati környezettudományi vonatkozásai

Doktori munkámat alapvetően alapkutató jellegűnek tekintem, a gyakorlati felhasználások tudatos keresése nem szerepelt eredeti céljaim között. A kapott eredmények alapján azonban mégis megnevezhető három alkalmazott környezettudományi jelentőségű kimenet. Ezek mindegyike ahhoz kapcsolódik, hogy a mechanokémia egyszerű, oldószermentes, kis beruházásigényű, azaz fenntartható és környezetbarát szintézisutakat kínál a nanostrukturált anyagok ipari előállítására.

- A Burgio-Rojac modell nanoszerkezetekre való alkalmazhatóságának igazolásával lehetővé tettük az energiadimenziójú örlési térképek használatát, ami megkönnyítheti a különböző ipari malomtípusok beállításainak összehangolását és a bennük végzett mechanokémiai nanoanyag-szintézisek léptéknövelését.
- A karbonát reakciópartnerrel megvalósított fém-oxid nanorészecske szintézisek előrehaladása elvileg monitorozható lehetne a CO₂ nyomásának növekedésével, de a ténylegesen mérhető nyomás-idő karakterisztika komplexitása ezt eddig megakadályozta. Az általunk adott értelmezéssel ez a probléma orvosolható, így a nyomásmérésből már a reakció valódi konverziójára lehet következtetni, aminek ipari környezetben különösen jelentősége lehet.
- A rutil és a nikkelferrit nanorészecskék szobahőmérséklet-közeli egy lépéses mechanokémiai előállításának megoldása energiahatékonyabb, így környezetkímélőbb szintézisek irányába vezethet.

5. A doktori értekezés alapját képező közlemények

- 1. Spectroscopic studies on the formation kinetics of SnO₂ nanoparticles synthesized in a planetary ball mill**
G. Kozma, Á. Kukovecz, Z. Kónya
Journal of Molecular Structure, 2007, (834-836) pp. 430-434.
IF: 1,78
- 2. Effect of planetary ball milling process parameters on the nitrogen adsorption properties of multiwall carbon nanotubes**
I.Z. Papp, G. Kozma, R. Puskás, T. Simon, Z. Kónya, Á. Kukovecz
Adsorption, 2013, (2-4) pp. 687-694.
IF: 1,85
- 3. Non-equilibrium transformation of titanate nanowires to nanotubes upon mechanochemical activation**
G. Kozma, Z. Kónya, Á. Kukovecz
RSC Advances, 2013, (21) pp. 7681-7683.
IF: 3,907
- 4. Experimental validation of the Burgio–Rojac model of planetary ball milling by the length control of multiwall carbon nanotubes**
G. Kozma, R. Puskás, I.Z. Papp, P. Béteky, Z. Kónya, Á. Kukovecz
Carbon, 2016, (105), pp: 615-62
IF: 6,89
- 5. CO₂ capture in NaHCO₃ form explains the anomalous pressure evolution during the mechanochemical synthesis of SnO₂ nanoparticles**

6. A doktori értekezéshez kapcsolódó konferencia megjelenések

- 1. Synthesis and characterization of tin-oxide nanoparticles**
G. Kozma, Á. Kukovecz, Z. Kónya
V. VMTDK, Szerbia/Újvidék, 2006. (előadás)
VII. TMTDK, Románia/Temesvár, 2006. (előadás)
- 2. Mechanochemical synthesized nanoparticles: Synthesis and characterization**
G. Kozma, Á. Kukovecz, Z. Kónya
ETDK, Románia/Kolozsvár, 2007. (előadás)
- 3. Synthesis and characterization of Cr doped SnO₂ nanoparticles using mechanochemistry**
G. Kozma, Á. Kukovecz, Z. Kónya
The 7th Students' Meeting, Szerbia/Újvidék, 2007. (előadás)
- 4. Spectroscopic characterization of mechanochemically synthesized Cr/SnO_x nanocomposites**
G. Kozma, Á. Kukovecz, Z. Kónya
XXIX. EUCMOS, Horvátország/Opatija, 2008. (előadás)
- 5. 2-Magnon Raman behavior of NiO nanoparticles**
F. Shahzad, P. Knoll, K. Ettinger, K. Nadeem, H. Krenn, K. Pressl, P. Granitzer, Á. Kukovecz, **G. Kozma**, Z. Kónya, I. Letofsky-Papst
22nd ICORS, USA/Boston, 2010. (absztrakt könyv)
- 6. Mechanochemistry: Properties, synthesis and kinetic**
G. Kozma, Á. Kukovecz, Z. Kónya
NAPEP meeting, Finnország/Oulu, 2012. (előadás)
- 7. Observation of size determination of multiwalled carbon nanotubes and titanate nanowires in planetary ball mill by transmission electron microscopy**
G. Kozma, Á. Kukovecz, Z. Kónya
MMT találkozó, Siófok, 2012. (előadás)
- 8. Investigation of sorption properties of modified structure TiO₂ nanowires and nanotubes by planetary ball mill**
G. Kozma, A. Sági, Á. Kukovecz, Z. Kónya
VIII. ISSHAC, Lengyelország, Krakkó, 2012. (előadás)
- 9. Investigation of adsorption properties on different sized multiwall carbon nanotubes milled by planetary ball mill**
Z. Papp, **G. Kozma**, A. Kukovecz, Z. Kónya
VIII. ISSHAC, Lengyelország, Krakkó, 2012. (absztrakt könyv)
- 10. Sorption properties of mechanical modified titanate nanowires and nanotubes**
G. Kozma, A. Sági, Á. Kukovecz,
5th SIWAN, Szeged, 2012. (poszter)

11. Mechanokémiával előállítható nanoszerkezetek

G. Kozma, A. Sápi, Á. Kukovecz, Z. Kónya
Anyagtudományi Kutatások Szegeden, Szeged, 2014. (előadás)

12. Investigation of modified structure TiO₂ nanowires and nanotubes by planetary ball mill

G. Kozma, A. Sápi, Á. Kukovecz, Z. Kónya
12th MCM, Eger, 2015. (poszter)

7. Egyéb közlemények

1. Neurotoxic effects of metal oxide nanoparticles on the somatosensory system of rats following subacute intratracheal application

L. Sárközi, E. Horváth, A. Szabó, E. Horváth, A. Sápi, **G. Kozma**, Z. Kónya, A. Papp
Central European Journal of Occupational and Environmental M., 2008, (3) pp. 277-290
IF: 1,98

2. Synthesis of Zinc Glycerolate Microstacks from a ZnO Nanorod Sacrificial Template

R. Rémiás, Á. Kukovecz, M. Darányi, **G. Kozma**, S. Varga, Z. Kónya, I. Kiricsi
European Journal of Inorganic Chemistry, 2009 (24) pp. 3622-3627.
IF: 2,93

3. Study of the parameters influencing the co-grinding process for the production of meloxicam nanoparticles

L. Kürti, Á. Kukovecz, **G. Kozma**, R. Ambrus, M.A. Deli, P. Szabó-Révész
Powder Technology, 2011 (1) pp. 210-217.
IF: 2,437

4. Nervous system effects of dissolved and nanoparticulate cadmium in rats in subacute exposure

E. Horváth, G. Oszlanczi, Zs. Máté, A. Szabó, **G. Kozma**, A. Sápi, Z. Kónya, E. Paulik, L. Nagymajtényi, A. Papp
Journal of Applied Toxicology, 2011,(5) pp. 471-476.
IF: 2,96

5. Self-assembling of Z-alpha-pyridylcinnamic acid dimers over polycrystalline Ag and Au surfaces followed by FT-IR and atomic force microscopies

K. Csankó, M. Darányi, **G. Kozma**, Á. Kukovecz, Z. Kónya, P. Sipos, I. Palinkó
Journal of Molecular Structure, 2011, 993:(1-3) pp. 67-72.
IF: 1,78

6. Consequences of subacute intratracheal exposure of rats to cadmium oxide nanoparticles: Electrophysiological and toxicological effects

A. Papp, G. Oszlanczi, E. Horváth, E. Paulik, **G. Kozma**, A. Sápi, Z. Kónya, A. Szabó,
Toxicology and Industrial Health, 2012, (10) pp. 933-941.
IF: 1,66

7. Self-assembling of 2,3-phenyl/thienyl-substituted acrylic acids over polycrystalline gold

K. Csankó, **G. Kozma**, L. Valkai, Á. Kukovecz, Z. Kónya, P. Sipos, I. Palinkó
Journal of Molecular Structure 2013, (1044) pp. 32-38.
IF: 1,78

8. **Toxic metal immobilization in contaminated sediment using bentonite- and kaolinite-supported nano zero-valent iron**
 DV. Kerkez, DD. Tomašević, **G. Kozma**, BD. Dalmacija, MB. Dalmacija, MR. Bečelić-Tomin, Á. Kukovecz, Z. Kónya, S. Rončević
Journal of Nanoparticle Research, 2014, (8) pp. 2548
 IF: 2,65

9. **Three different clay-supported nanoscale zero-valent iron materials for industrial azo dye degradation: A comparative study**
 DV. Kerkez, DD. Tomašević, **G. Kozma**, MR. Bečelić-Tomin, P. Miljana, SD Rončević, D. Srdjan, BD. Dalmacija, Á. Kukovecz, Z. Kónya
Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 2014, (5) pp. 2451-2461.
 IF: 2,655

10. **Environmentally benign synthesis methods of zero valent iron nanoparticles**
G. Kozma, A. Rónavári, Z. Kónya, Á. Kukovecz
ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 2015, (1) pp. 291-297.
 IF: 4,64

11. **Development of Ibuprofen-loaded nanostructured lipid carrier based-gels: characterization and investigation of in vitro and in vivo penetration through the skin**
 B. Sütő, Sz. Berkó, **G. Kozma**, Á. Kukovecz, M. Budai-Szűcs, G. Erős, L. Kemény, A. Sztojkov-Ivanov, R. Gáspár, E. Csányi
International Journal of Nanomedicine, 2016, (11) pp. 1201-1212.
 IF: 4,742

12. **Size-Dependent Toxicity Differences of Intratracheally Instilled Manganese Oxide Nanoparticles: Conclusions of a Subacute Animal Experiment**
 Zs. Máté, E. Horváth, **G. Kozma**, T. Simon, Z. Kónya, E. Paulik, A. Papp, A. Szabó
Biological Trace Element Research, 2016, (1) pp. 156-166.
 IF: 1,70

13. **Multi-Walled Carbon Nanotubes: Chapter 5**
 Á. Kukovecz, **G. Kozma**, Z. Kónya
Springer Handbook of Nanomaterials, 2013. pp. 147-188. (ISBN:978-3-642-20594-1)

14. **Nervous system and general toxic effects in rats after subacute intratracheal application of nanosized lead oxide**
 Oszlanczi G, Horváth E, Szabó A, Papp A, Pusztai P, Szabó M, **Kozma G**, Sági A, Kónya Z,
Neuroforum, 2011, (1) pp. T11-11B.
 IF: 0

15. **The effect of cadmium on behavioral and electrophysiological parameters of rats after subacute exposure in two different forms**
 Horváth E, Oszlanczi G, Máté Zs, Szabó A, Papp A, **Kozma G**, Sági A, Kónya Z, Nagymajtényi
Neuroforum, 2011, (1) pp. T13-6C.
 IF: 0

16. Protective effect of green tea against neuro-functional alterations in rats treated with MnO₂ nanoparticles

Sárközi K, Körösiné E, Máté Zs, Papp A, Kozma G, Galbács G, Kálomista I.
Journal of the Science of Food and Agriculture, 2016,
IF: 2,076

8. Egyéb konferencia megjelenések

- 1. An Atomic Force Microscopy study on the oligomerization behavior of beta-amyloid**
G. Kozma, L. Fülöp, Á. Kukovecz, Z. Kónya
MMT találkozó, Siófok, 2009. (előadás)
- 2. Groundwater remediation using zero valent iron nanoparticles**
G. Kozma, Á. Kukovecz, Z. Kónya
16th DKMT, Szeged, 2012 (előadás)
- 3. Investigation of self-assemble β -amiloid A β (16–22), CH₃CO-KLVFFAE-NH₂ segment by more microscopic process**
G. Kozma, L. Fülöp, Á. Kukovecz, Z. Kónya
MMT találkozó, Siófok, 2010. (előadás)
- 4. Felszín alatti vizek kármentesítése nanoméretű vas segítségével**
G. Kozma, Á. Kukovecz, Z. Kónya
I. KKSZ, Mátraháza, 2012 (előadás)
- 5. Atomic Force Microscopic investigations on peptide aggregation and self-assembling peptide nanotubes**
G. Kozma, Á. Kukovecz, Z. Kónya
NAPEP, Szeged, 2012 (előadás)
- 6. Talajvizek tisztítása nanovassal: egy sikeres k+f projekt bemutatása**
G. Kozma, Á. Kukovecz, Z. Kónya
II. KKSZ, Dobogókő, 2013 (előadás)
- 7. Hatóanyag és kármentesítési technológia fejlesztése klórozott alifás szénhidrogénekre**
G. Kozma, É. Benő, Á. Kukovecz, Z. Kónya,
KSZGYSZ-2013, Budapest, 2013 (előadás)
- 8. Groundwater remediation using zero valent iron nanoparticles**
G. Kozma, Á. Kukovecz, Z. Kónya
MATCROSS meeting, Szerbia/Újvidék, 2013 (előadás)
- 9. Intellectual and industrial property in Hungary and in the EU**
G. Kozma, Á. Kukovecz, Z. Kónya
NAPEP meeting, Szeged, 2013 (előadás)
- 10. Microscopy education in Szeged at the Department of Applied and Environmental Chemistry**
G. Kozma, D. Madarász, Á. Kukovecz, Z. Kónya
MMT találkozó, Siófok, 2014. (előadás)

11. Nanorészecskék a környezetvédelemben: a laboratóriumtól a megvalósításig

G. Kozma, Á. Kukovecz, Z. Kónya
AKKTB éves találkozója, Szeged, 2014 (előadás)

12. Groundwater remediation using environemntally benign zero valent iron nanoparticles

G. Kozma, A. Rónavári, Á. Kukovecz, Z. Kónya
IBSC-2016, Szerbia/Újvidék

Összes referált közlemény: 20

ebből az értekezéshez kapcsolódik: 4

Összesített impakt faktor: 48,351

ebből az értekezéshez kapcsolódik: 14,405

Összes független hivatkozás: 89

ebből az értekezéshez kapcsolódik: 16