

CÉRIUM-FOSZFÁT NANORÉSZECSKÉK ELŐÁLLÍTÁSA ÉS SZERKEZETFÜGGŐ TULAJDONSÁGAINAK VIZSGÁLATA

Ph.D. értekezés tézisei

PUSZTAI PÉTER

Témavezető:

Dr. Kónya Zoltán

Kémia Doktori Iskola

Alkalmazott és Környezeti Kémiai Tanszék

Természettudományi és Informatikai Kar

Szegedi Tudományegyetem

Szeged

2015

1. Előzmények és célok

A nanotechnológia a 20. század eredményeiben gyökerező új tudományterület, mely forradalmi változásokat eredményezhet többek között az elektronika, energetika, a vegyipar, az orvostudomány, a hulladékkezelés és a víztisztítás területén. Segítségével számos ígéretes eredményt sikerült elérnünk laboratóriumi és ipari méretekben egyaránt. Az új anyagok széleskörű elterjedéséhez biztosítani kell azok nagy mennyiségben történő, reprodukálható, költséghatékony előállítási módszereit. A jelenlegi kutatásokban tehát egyre nagyobb figyelem irányul, a nanoanyagok egyszerűbb, gyorsabb, költség- és környezetkímélőbb előállítási módszereinek kutatására.

Az elmúlt évtizedben az egydimenziós nanoanyagok kutatása virágkorát élte, manapság azonban egyre nagyobb tudományos figyelem irányul az összetettebb, háromdimenziós nano- és mikrorészecskék előállítására és tulajdonságainak vizsgálatára. A megnövekedett érdeklődést egyrészt a pár nanométeres részecskékkel kapcsolatban felmerült környezeti és egészségügyi aggályokkal, másrészt a 3D struktúrák tömbi és egyéb nanorészecskékkel szemben tanúsított jobb teljesítőképességével magyarázhatjuk. A 3D szerkezetek előállítására a szakirodalom jellemzően idő- és energiaigényes módszereket javasol, melyekben a kívánt morfológia eléréséhez felületaktív- és/vagy egyéb adalékanyagokat alkalmaznak.

Az Alkalmazott és Környezeti Kémiai Tanszéken már régóta folynak 1D nanoszerkezetekkel kapcsolatos kutatások. Munkám során ezt a vonalat kívántam folytatni 1D és 3D cérium-foszfát nanorészecskék vizsgálatával. Doktori munkám során célul tűztük ki a nanoszerkezetek minél egyszerűbb előállítási módszerének kidolgozását, továbbá szerkezetfüggő fizikai tulajdonságaik (fotolumineszcens, protonvezetés) vizsgálatát. Doktori munkám során a következő témakörök ismeretanyagának bővítésével foglalkoztam:

1. Cérium-foszfát nanoszálak hidrotermális szintézisének vizsgálata. A szintézis közbeni átkristályosodás és szálnövekedés részletes elemzése Raman-spektroszkópia, nitrogénadszorpció-deszorpció, termogravimetria és nagyfelbontású transzmissziós elektronmikroszkópia segítségével.
2. Hexagonális kristályszerkezetű cérium-foszfát nanoszálak és nanosünök egyszerű, költséghatékony előállításának kidolgozása. Terbiummal történő adalékolás lehetőségeinek vizsgálata. A reakcióparaméterek termékmorfológiára gyakorolt

hatásának felderítése. A részecskék növekedési mechanizmusának meghatározása. Szerkezetfüggő fotolumineszcens tulajdonságok vizsgálata.

3. Hexagonális kristályszerkezetű cérium-foszfát szferulitok áramlásos rendszerben történő előállításának, és terbiummal történő adalékolásának vizsgálata. A reakcióparaméterek termékmorfológiára, illetve kialakulási mechanizmusra, gyakorolt hatásának felderítése. A növekedési mechanizmusok meghatározása. A részecskék szerkezetfüggő fotolumineszcens tulajdonságainak vizsgálata.
4. Hexagonális és monoklin kristályszerkezetű nanoszálak termikus stabilitásának vizsgálata.
5. Hexagonális és monoklin nanoszálak, szobahőmérsékletű protonvezetési tulajdonságainak vizsgálata változó relatív páratartalom mellett. A nanoszálak szerkezeti és felületkémi tulajdonságainak protonvezetési sajátságokra gyakorolt hatásának felderítése.

2. Kísérleti rész

Monoklin cérium-foszfát nanoszálak előállításához először 60 mL, 0,033 M-os cérium-nitrát-hexahidrát és 20 mL 0,2 M-os foszforsavoldatot készítettünk. A foszforsavoldatot gyors kevertetés mellett hozzáöntöttük a cérium-nitrát-oldathoz. A keletkező szuszpenziót teflonbélésű rozsdamentes acél autoklávba öntöttük, majd 4 órára 200 °C-os kemencébe helyeztük. A végterméket centrifuga segítségével desztillált vízzel és etanollal mostuk.

Hexagonális cérium-foszfát nanoszálak előállításához a 20 mL 0,2 M-os foszforsavoldatot egy adagban, gyors kevertetés mellett hozzáöntöttük a 60 mL, 0,033 M-os cérium-nitrát-oldathoz. A nanoszálak előállításához a foszforsavoldatot cseppenként, 10 másodperc/csepp adagolási sebességgel adtuk a cérium-nitrát-oldathoz. A terbiummal dópolt minták előállításához, a cérium-nitrát-oldathoz megfelelő mennyiségű terbium-nitrát-pentahidrátot adtunk, biztosítva a $[\text{Ce}^{3+}]:[\text{Tb}^{3+}] = 9:1$ molarányt. A mintákat ebben az esetben is a fentiekhez hasonlóan tisztítottuk.

A cérium-foszfát szferulitok áramlásos rendszerben történő előállításához 14 cm oldalhosszúságú, négyzet alakú üvegedényt használtunk alján bevezetőnyílással. Egy tipikus szintézis során az üvegedénybe töltött 60 mL (a) prekursoroldathoz a bevezetőnyíláson

keresztül, 7 mL/h áramlási sebességgel 2,3 mL (b) prekursoroldatot adagoltunk perisztaltikus pumpa segítségével. A keletkező csapadékkorongról 3 másodpercenként felvételt készítettünk. A szferulitok szerkezetfüggő fotolumineszcens tulajdonságainak vizsgálatához megfelelő mennyiségű terbium-nitrát-pentahidrátot adtunk a cérium-nitrát-oldathoz, biztosítva a $[\text{Ce}^{3+}]:[\text{Tb}^{3+}] = 9:1$ molarányt.

A minták kristályszerkezetét röntgendiffraktometriával, Raman- és infravörös spektroszkópiával vizsgáltuk. A kívánt $[\text{Ce}^{3+}]:[\text{Tb}^{3+}]$ molarányt, illetve a minták tisztaságát energiadiszperzív röntgenspektroszkópiával ellenőriztük, a morfológia és rácsszerkezet vizsgálatához transzmissziós és pásztázó elektronmikroszkópiát alkalmaztunk. A minták szerkezeti stabilitását termogravimetriás mérésekkel vizsgáltuk, a fajlagos felület és pórusszerkezet meghatározásához nitrogén- és vízadszorpciós-deszorpciós módszert alkalmaztunk. A nanoszálak felületén lejátszódó protonálódási-deprotonálódási folyamatokat potenciometriás titrálással követtük nyomon, a felületi savcentrumok jellemzéséhez hőmérséklet-programozott ammóniadeszorpciót alkalmaztunk. A minták páratartalom-függő protonvezetését impedanciaspektroszkópiával és izotermális tranziens ionáram módszerrel vizsgáltuk. A minták fotolumineszcens tulajdonságait fotolumineszcens spektroszkópiával jellemeztük.

3. Új tudományos eredmények

1. Monoklin kristályszerkezetű cérium-foszfát nanoszálak hidrotermális előállításával kapcsolatos ismeretek bővítése

- 1.1 Egy egyszerű, gyors hidrotermális szintézist dolgoztunk ki monoklin cérium-foszfát nanoszálak előállítására az irodalomban található szintézisek optimalizálásával. Az előállított nanoszálak hossz/átmérő aránya 40–60 közöttinek adódott.
- 1.2 A nanoszálak növekedés során végbemenő morfológiai és kristályszerkezeti változásait HRTEM-, Raman-spektroszkópiás, nitrogénadszorpciós-deszorpciós és TG-mérésekkel követtük nyomon. A monoklin nanoszálak kialakulása a prekursorok összekeverésével keletkező hexagonális kristályszerkezetű nanosünökből indult ki. Hidrotermális körülmények között a nanosünök különálló nanorudakká bomlottak fel, melyek az oldódás/visszakristályosodás folyamat következtében, 3–4 óra alatt mikrométeres hosszúságú szálakká nőttek.

1.3 A nanoszálak átkristályosodásának Raman-spektroszkópiás vizsgálata során megfigyeltük, hogy már az 1 órás szintézisidővel készült minta spektrumán megjelentek a monoklin kristályszerkezetre jellemző P–O rezgések. A 2 órás minta spektrumáról a hexagonális szerkezetre jellemző sávok teljesen eltűntek, a minta TG-vel meghatározott 0,5 %-os kristályvíztartalma azonban a fázisátalakulás befejezetlenségére utalt. A nanoszálak teljes átkristályosodásához a Raman-spektroszkópiás és a TG-mérések alapján is 3–4 órás szintézisidőre volt szükség. Az átlagos átmérő és a fajlagos felület kezdeti határozott változása az 1 órás szintézisidőt elérve megtorpant. A 2–4 órás minták átlagos átmérői gyakorlatilag változatlanok maradtak, míg a fajlagos felületek enyhén csökkentek. Az átlagos átmérőkhöz tartozó standard deviáció a 2 órás mintáig meredeken nőtt. Ezután a 3 és 4 órás minták esetében értéke visszacsökkent. A megfigyelésekre az 1 órás minta nagyfelbontású TEM-vizsgálata adott magyarázatot, melyben több, egymással az (100) kristálylapok mentén összenövő nanoszálát figyeltünk meg. A nanoszálak vastagodása tehát 2 óráig jellemzően vegyesen, a határoló kristálylapok folyamatos bővülésével és a szomszédos nanoszálak (100) lapok menti összenövésével történt. A 2 órás szintézisidőt követően az oldalirányú összenövésel történő szálvastagodás dominánssá vált. A szálak átmérői ezután csak kis mértékben változtak. A szintézis előrehaladtával, a folyamatos szálösszenövésnek köszönhetően a standard deviáció értéke visszacsökkent.

2. Hexagonális kristályszerkezetű cérium-foszfát nanoszálak és nanosünök szobahőmérsékletű előállításával, terbiummal történő adalékolásával és termikus stabilitásával kapcsolatos ismeretek bővítése

2.1 Egyszerű, szobahőmérsékletű eljárást dolgoztunk ki hexagonális kristályszerkezetű cérium-foszfát nanosünök előállítására. A nanosünök átlagos mérete 374 ± 39 nm-nek adódott, míg az őket felépítő nanorudak átlagosan $5,6 \pm 1,7$ nm-es átmérővel rendelkeztek.

2.2 A foszfátprekurzor adagolási sebességének csökkentésével $9,8 \pm 4,0$ nm átmérőjű, több mikrométer hosszúságú, hexagonális kristályszerkezetű cérium-foszfát nanoszálakat állítottunk elő. A nanoszálak egy része kötegekbe rendeződött, melyek átmérője egyes esetekben meghaladta a 100 nm-t, hossz/átmérő aránya pedig 40–60 közé esett.

- 2.3 A nanoszálak növekedését időközönkénti mintavételezéssel követtük nyomon, míg a nanosünök esetében, pillanatszerű kialakulásuk miatt, a kifejlett struktúrák központi szerkezetének HRTEM-vizsgálatával kerestünk a növekedési mechanizmusra utaló nyomokat. A nanoszálak kialakulására egy módosított oldódás/visszakristályosodás mechanizmust, míg a nanosünökre a magképződés, majd sugárirányú növekedés mechanizmust javasoltunk. Kísérleteink során vizsgáltuk a $[\text{Ce}^{3+}]:[\text{PO}_4^{3-}]$ molarány, a prekursorok adagolási rendjének és adagolási sebességnek termékmorfológiára gyakorolt hatását. A termék alapvető morfológiai sajátosságaira (nanosün vagy nanoszál) egyedül az adagolás sebessége volt jelentős hatással.
- 2.4 A hexagonális nanoszálak szerkezeti átalakulását termikusstabilitás-vizsgálattal követtük nyomon. A hőkezelt mintákat XRD-, Raman- és IR-spektroszkópiás, nitrogénadszorpciós-deszorpciós és HRTEM-vizsgálatoknak vetettük alá. A nanoszálak 800 °C-ig megtartották morfológiai sajátosságait. 1000 °C-on a szálak szerkezet amorf, összesült részecskékké esett össze. A morfológiai változásokkal ellentétben a nanoszálak kristályszerkezete már sokkal alacsonyabb hőmérsékleten 400–600 °C között elkezdett átalakulni. Megfigyeltük továbbá, hogy a spektroszkópiás mérési módszerek sokkal pontosabb adatokkal szolgálnak a kristályszerkezetben bekövetkező változásokról, mint az XRD, mely spektroszkópiás társaival ellentétben a 400 °C-on hőkezelt minta esetében nem jelzett számottevő szerkezeti átalakulást.
- 2.5 A fent kidolgozott módszereket alkalmazva terbiummal adalékolt cérium-foszfát nanoszálakat és nanosünöket állítottunk elő, majd vizsgáltuk azok termikus stabilitási, és fotolumineszcens tulajdonságát. Tapasztalataink szerint 10 % terbium szerkezetbe történő beépülése jelentős mértékben megnövelte a nanoszálak hőstabilitását. Amíg a sima nanoszálak 600 °C-on 1 óra alatt átkristályosodtak hexagonálisból monoklin kristályszerkezetbe, addig a terbiummal adalékolt minták esetében 8 órára volt szükség a teljes átkristályosodáshoz. A nem hőkezelt minták esetében a nanoszálak 13–22 %-kal nagyobb lumineszcens intenzitást mutattak (hullámhossztól függően), mint nanosün társaik, mely a nanosünök nagyobb kristályvíztartalmával (2,6 % a sünök és 1,8 % a szálak esetében) magyarázható. A kristályszerkezetben található víz ugyanis hatékonyan képes kioltani a Tb^{3+} -ionok emisszióját. A hőkezelt minták esetében ellentétes a helyzet. A nanosünök ez esetben 19–25 %-kal nagyobb intenzitással rendelkeztek, mint nanoszál társaik, azonban mindkét minta emissziója a nem hőkezelt mintákénak töredékére (6-od és 9-ed részére) esett vissza. Ez a jelentős csökkenés a

Ce³⁺-ionok Ce⁴⁺-ionokká történő részleges oxidációjával magyarázható, mely már nagyon kis mennyiségben hatékonyan kioltja a Tb³⁺-ionok emisszióját.

3. Hexagonális kristályszerkezetű, cérium-foszfát szferulitok előállításának, terbiummal történő adalékolásának és kialakulási mechanizmusának vizsgálata áramlásos rendszerben.

- 3.1 Az irodalomban eddig keveset vizsgált, áramlásos rendszerben állítottunk elő hexagonális cérium-foszfát szferulitokat szobahőmérsékleten, szerkezetmódosító adalékanyagok nélkül.
- 3.2 A prekursoroldatok adagolási rendje kulcsfontosságúnak bizonyult a keletkező szferulitok morfológiája és növekedési mechanizmusa szempontjából. A foszforsavoldat cérium-nitrát-oldatba történő adagolásával átlagosan $1,6 \pm 0,4 \mu\text{m}$ átmérőjű, míg fordított adagolási rend esetén $2,6 \pm 0,3 \mu\text{m}$ átmérőjű szferulitokat kaptunk. A szferulitok szembetűnő struktúrális különbségeinek okait HRTEM-vizsgálatokkal mutattuk ki. Eszerint a szferulitok a foszforsavoldat cérium-nitrát-oldatba történő adagolása során a magképződés, majd sugárirányú növekedés mechanizmust követve alakultak ki, míg fordított adagolási rend esetén kristályhasadással jöttek létre. Az eltérő kialakulási mechanizmusok a szferulitok eltérő szerkezeti felépítésében nyilvánultak meg.
- 3.3 A részecskék szerkezetfüggő fotolumineszcens tulajdonságainak vizsgálata során kiderült, hogy a magképződés, majd sugárirányú növekedéssel keletkező szferulitok 30–35%-kal intenzívebb emissziót produkáltak, mint kristályhasadással keletkezett társaik. Ez a különbség elsősorban a kristályhasadás során a szerkezetben kialakuló sok kristályhibának tulajdonítható, melyek hatékonyan oltják ki a részecskék fotolumineszcens emisszióját.

4. Hexagonális és monoklin cérium-foszfát nanoszálak kristályszerkezetfüggő protonvezetési tulajdonságainak vizsgálata

- 4.1 Első alkalommal vizsgáltuk hexagonális és monoklin kristályszerkezetű cérium-foszfát nanoszálak szobahőmérsékletű protonvezetési tulajdonságait.
- 4.2 A nanoszálak szerkezeti és felületkémiái sajátosságait XRD-, nitrogén- és vízádszorpciós-deszorpciós, potenciometriás titrálásos és hőmérséklet-programozott

ammóniadeszorpciós (TPD) mérésekkel hasonlítottuk össze. A hexagonális nanoszálak potenciometriás mérésből kapott protonfogyasztása (0,074 mmol/g) és a TPD-mérésből kapott ammónia-fogyasztása (0,58 mmol/g) is ~2,3-szor nagyobb volt, mint a monoklin nanoszálaké (0,034 mmol/g és 0,25 mmol/g). Miután a kapott értékeket normáltuk a nitrogénadszorpcióval mért fajlagos felületekre (hexagonális: 143,5 m²/g, monoklin: 62,0 m²/g) a nanoszálak mindkét mérési technika esetében, kristályszerkezettől függetlenül egyforma értékeket mutattak, vagyis a nanoszálak felületi savcentrumsűrűsége megegyezett.

- 4.3 A nanoszálak protonvezetési tulajdonságait szobahőmérsékleten, változó páratartalom mellett mértük IS- és ITIC-módszerrel. A kapott vezetőképesség-értékeket a relatív páratartalom függvényében ábrázolva a hexagonális nanoszálak másfél nagyságrenddel nagyobb értékeket mutattak monoklin társaiknál, elsősorban alacsony páratartalmakon. A páratartalom növelésével ez a különbség fokozatosan csökkent, majd 100 RH%-nál a vezetőképességek gyakorlatilag megegyeztek. A vezetőképességet a nanoszálakra adszorbeált vízmennyiség függvényében ábrázolva fordított tendenciát kaptunk. Ebben az esetben a monoklin nanoszálak mutattak ~2,5-ször nagyobb vezetőképességet hexagonális társaiknál, elsősorban kicsi adszorbeált mennyiségek esetén. Az adszorbeált mennyiségeket a nanoszálak fajlagos felületével, a vezetőképességeket pedig a felületegységre eső savcentrumok számával normálva az eredetileg külön futó görbék mestergörbévé álltak össze. A relaxációs idők relatív páratartalom függvényében történő ábrázolása hasonló lefutású görbét eredményezett, mint amit a vezetőképesség kontra adszorbeált mennyiség görbék esetében már láthattunk. A relaxációs idők vezetőképességtől való egyforma függése a vezetés azonos eredetét mutatta, míg egymástól való erős függésük (egységnyi meredekség) azt sugallta, hogy valójában ugyanazt a folyamatot látjuk csak más-más perspektívából. Összegezve a szerkezeti vizsgálatokból és az elektromos vezetési mérésekből nyert eredményeinket egy kristályszerkezettől független protonvezetési mechanizmust mutattunk ki kristályszerkezetiileg különböző cérium-foszfát nanoszálakban.

4. A doktori értekezés alapját képező közlemények

- 1. Structural stability test of hexagonal CePO₄ nanowires synthesized at ambient temperature**

P. Pusztai, T. Simon, Á. Kukovecz, Z. Kónya

Journal of Molecular Structure, 2013, 1044 (24), 94–98

IF₂₀₁₃: 1,599

- 2. Green synthesis of biomimetic CePO₄:Tb nanostructures using the simplest morphology control**

P. Pusztai, Á. Kukovecz, Z. Kónya

RSC Advances, 2014, 4 (91), 49879–49887

IF₂₀₁₄: 3,840

- 3. Structure-independent proton transport in cerium(III) phosphate nanowires**

P. Pusztai, H. Haspel, I. Y. Tóth, E. Tombácz, K. László, Á. Kukovecz, Z. Kónya

ACS Applied Materials & Interfaces, 2015, 7 (18), 9947–9956

IF₂₀₁₄: 6,723

- 4. A simple method to control the formation of cerium phosphate architectures**

P. Pusztai, E. Tóth-Szeles, D. Horváth, Á. Tóth, Á. Kukovecz, Z. Kónya

CrystEngComm, 2015, 17 (44), 8477–8485

IF₂₀₁₄: 4,034

5. Előadások, poszterek, konferenciárészvételek

- 1. Synthesis and characterization of one-dimensional cerium phosphate nanostructures**

P. Pusztai, Á. Kukovecz, Z. Kónya

The Ninth Students' Meeting, Újvidék, 2011, előadás

2. **Characterization of one-dimensional cerium phosphate nanostructures prepared by rapid hydrothermal and sonochemical method**
P. Pusztai, Á. Kukovecz, Z. Kónya
10th Multinational Congress on Microscopy, Urbino, 2011, előadás

3. **Synthesis and characterization of cerium and silver based one-dimensional nanostructures**
P. Pusztai, Á. Kukovecz, Z. Kónya
NAPEP meeting, Baku, 2011, előadás

4. **Synthesis and characterization of one-dimensional nanostructures**
P. Pusztai Á. Kukovecz, Z. Kónya
Magyar Mikroszkópos Társaság, Siófok, 2011, előadás

5. **Nervous system and general toxic effects in rats after subacute intratracheal application of nanosized lead oxide**
G. Oszlanczi, E. Horváth, A. Szabó, A. Papp, **P. Pusztai**, M. Szabó, G. Kozma, A. Sápi, Z. Kónya, T. Vezér
Neuroforum 2011, 17 (1), T11-11B, 1 p., absztrakt

6. **A különböző méretű MnO₂ nanorészecskék hatására kialakuló pulmonáris morfológiai elváltozások**
E. Horváth, G. Oszlanczi, A. Sápi, **P. Pusztai**, P. Ragó
Egészségtudomány 2011, 55 (2) 123-124, absztrakt

7. **Komplex környezeti kadmium expozíció idegrendszeri hatásainak modellezése patkányban**
E. Horváth, Zs. Máté, A. Lukács, A. Szabó, **P. Pusztai**, A. Sápi
Egészségtudomány 2012, 2 123-124, absztrakt

- 8. Az oldott és nanopartikuláris állapotú mangán neurotoxikológiai hatásai patkány modellben**
E. Horváth, Zs. Máté, Sz. Takács, A. Szabó, A. Sápi, **P. Pusztai**, Z. Kónya, A. Papp
A Magyar Élettani Társaság, a Magyar Anatómusok Társasága, a Magyar Biofizikai Társaság és a Magyar Mikrocirkulációs és Vaszkuláris Biológiai Társaság Kongresszusa, Debrecen, 2012, absztrakt
- 9. General toxicity, neurotoxicity, and the corresponding metal levels in rats treated with nanoparticulate and dissolved manganese**
E. Horváth, Zs. Máté, Sz. Takács, A. Szabó, A. Sápi, **P. Pusztai**, Z. Kónya, A. Papp
SIWAN5, Szeged, 2012, poszter
- 10. Nervous system effects of a modelled complex environmental cadmium exposure in rats**
E. Horváth, Zs. Máté, A. Lukács, A. Szabó, **P. Pusztai**, A. Sápi, Z. Kónya, A. Papp
14th DKMT Euroregional Conference on Environment and Health, Szeged, 2012, poszter
- 11. Structural stability test of cerium phosphate nanowires for a potential application in solid oxide fuel cells**
P. Pusztai, T. Simon, Á. Kukovecz, Z. Kónya
EUCMOS, Kolozsvár, 2012, előadás
- 12. Thermal stability test of one-dimensional CePO₄ nanostructures for a potential solid oxide fuel cell application**
P. Pusztai, T. Simon, Á. Kukovecz, Z. Kónya
SIWAN5, Szeged, 2012, poszter
- 13. The influence of synthesis methods, different dopant ions and ratios on the luminescence of SrAl₂O₄ nanoparticles**
Z. Győri, V. Havasi, **P. Pusztai**, D. Madarász, Á. Kukovecz, Z. Kónya
EUCMOS, Kolozsvár, 2012, előadás

- 14. General toxicity, neurotoxicity and the corresponding metal levels in rats treated with nanoparticulated and dissolved manganese**
E. Horváth, Z. Máté, S. Takács, A. Szabó, A. Sági, **P. Pusztai**, Z. Kónya, A. Papp
SIWAN5, Szeged, 2012, poszter
- 15. The influence of different CO-activators on the photoluminescence properties of SrAl₂O₄ phosphors**
Z. Győri, V. Havasi, **P. Pusztai**, D. Madarász, Á. Kukovecz, Z. Kónya
SIWAN5, Szeged, 2012, poszter
- 16. Controlled synthesis of copper nanocrystals with various shapes**
M. Mohl, D. Dobó, **P. Pusztai**, Á. Dombovári, Á. Kukovecz, Z. Kónya, K. Kordás
The Annual Meeting of the NGS-NANO, Turku, 2012, poszter
- 17. Thermal stability of cerium phosphate nanowires: A spectroscopic study**
P. Pusztai, Á. Kukovecz, Z. Kónya
Tavaszi Szél konferencia, Sopron, 2013, előadás
- 18. Humidity dependent conduction properties of hexagonal and monoclinic CePO₄ nanowires**
P. Pusztai, H. Haspel, V. Bugris, Á. Kukovecz, Z. Kónya
International research and practice conference NANOTECHNOLOGY and NANOMATERIALS, Bukovel, 2013, előadás
- 19. Humidity dependent conduction properties of hexagonal and monoclinic CePO₄ nanowires**
P. Pusztai, H. Haspel, V. Bugris, Á. Kukovecz, Z. Kónya
International research and practice conference, 2nd International Summer School for young scientists "NANOTECHNOLOGY: from fundamental research to innovations, Bukovel, 2013, poszter

20. **Adsorbed water induced electrical conduction properties of hexagonal and monoclinic CePO₄ nanowires**
P. Pusztai, H. Haspel, Á. Kukovecz, Z. Kónya
Magyar Mikroszkópos Társaság, Siófok, 2014, előadás
21. **Formation and characterization of gold nanoparticles on titanate nanotubes and nanowires**
P. Pusztai, R. Puskás, L. Nagy, E. Varga, A. Erdőhelyi, Á. Kukovecz, Z. Kónya, J. Kiss
JVC, Bécsc, 2014, előadás

6. Egyéb közlemények

1. **Low-Temperature large-scale synthesis and electrical testing of ultralong copper nanowires**
M. Mohl, **P. Pusztai**, Á. Kukovecz, Z. Kónya, J. Kukkola, K. Kordas, R. Vajtai, P.M. Ajayan
Langmuir 2010, 26 (21), 16496–16502
IF₂₀₁₀: 4,268
2. **Repeated simultaneous cortical electrophysiological and behavioral recording in rats exposed to manganese-containing nanoparticles**
Sz. Takács, A. Szabó, G. Oszlánnczi, **P. Pusztai**, A. Sápi, Z. Kónya, A. Papp
Acta Biologica Hungarica 2012, 63 (4), 426–440
IF₂₀₁₂: 0,504
3. **General and electrophysiological toxic effects of manganese in rats following subacute administration in dissolved and nanoparticle form**
E. Horváth, Zs. Máté, Sz. Takács, **P. Pusztai**, A. Sápi, Z. Kónya, L. Nagymajtényi, A. Papp
The Scientific World Journal 2012, Paper Article ID 520632, 7 p.
IF₂₀₁₂: 1,730

- 4. Synthesis and characterization of WO₃ nanowires and metal nanoparticle-WO₃ nanowire composites**
M. Szabó, **P. Pusztai**, A-R. Leino, K. Kordás, Z. Kónya, Á. Kukovecz
Journal of Molecular Structure 2013, 1044 (24), 99–103
IF₂₀₁₃: 1,599

- 5. Photocatalytic decomposition of formic acid and methyl formate on TiO₂ doped with N and promoted with Au. Production of H₂.**
A. Gazsi, G. Schubert, **P. Pusztai**, F. Solymosi
International Journal of Hydrogen Energy 2013, 38 (19), 7756–7766
IF₂₀₁₃: 2,930

- 6. Influence of gold additive on the stability and phase transformation of titanate nanostructures**
P. Pusztai, R. Puskás, E. Varga, A. Erdőhelyi, Á. Kukovecz, Z. Kónya, J. Kiss
Physical Chemistry Chemical Physics 2014, 16 (48), 26786–26797
IF₂₀₁₄: 4,493

- 7. Photocatalytic H₂ evolution using different commercial TiO₂ catalysts deposited with finely size-tailored Au nanoparticles: Critical dependence on Au particle Size**
Á. Kmetykó, K. Mogyorósi, **P. Pusztai**, T. Radu, Z. Kónya, A. Dombi, K. Hernadi
Materials 2014, 7 (12), 7615–7633
IF₂₀₁₄: 2,651

- 8. Photocatalytic H₂ production using Pt-TiO₂ in the presence of oxalic acid: Influence of the noble metal size and the carrier gas flow rate**
Á. Kmetykó, K. Mogyorósi, V. Gerse, Z. Kónya, **P. Pusztai**, A. Dombi, K. Hernadi
Materials 2014, 7 (10), 7022–7038
IF₂₀₁₄: 2,651

9. Decoration of titanate nanowires and nanotubes by gold nanoparticles: XPS, HRTEM and XRD characterization

J. Kiss, **P. Pusztai**, L. Óvári, K. Baán, G. Merza, A. Erdőhelyi, Á. Kukovecz, Z. Kónya

e-Journal of Surface Science and Nanotechnology 2014, 12, 252–258

IF: –

10. Probing the interaction of Rh, Co and bimetallic Rh-Co nanoparticles with the CeO₂ support: catalytic materials for alternative energy generation

E. Varga, **P. Pusztai**, L. Óvári, A. Oszkó, A. Erdőhelyi, C. Papp, H-P. Steinrück, Z. Kónya, J. Kiss

Physical Chemistry Chemical Physics 2015, 17 (40), 27154–27166

IF₂₀₁₄: 4,493

Összes referált közlemény: 14

ebből az értekezéshez kapcsolódik: 4

Összesített impakt faktor: 41,515

ebből az értekezéshez kapcsolódik: 16,196

Összes idegen hivatkozás: 61

ebből az értekezéshez tartozik: 1