

*Doktori (PhD) értekezés tézisei*

**IPARBAN HASZNÁLHATÓ KERÁMIÁK ELŐÁLLÍTÁSA ÉS LEVEGŐMINŐSÉG  
JAVÍTÁSBAN TÖRTÉNŐ ALKALMAZÁSA**

**Boldizsár Tamás**

**Témavezető:**

Dr. Sági András, egyetemi docens

(Szegedi Tudományegyetem, Alkalmazott és Környezeti Kémiai Tanszék)

Környezettudományi Doktori Iskola



Szegedi Tudományegyetem, Természettudományi és Informatikai Kar

**Szeged**

**2024**

# 1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS

A kordierit kerámiák igen népszerű anyagok, hiszen széles körben alkalmazhatóak a tudományos világ és az ipari szféra legkülönbözőbb területein, köszönhetően kedvező fizikai és kémiai tulajdonságaiknak. Továbbá a kerámiagyártás nyersanyagai természetes, ezáltal könnyen és viszonylag olcsón hozzáférhető alapanyagok, amelyek segítségével hosszú élettartamú, környezetbarát és költséghatékony termékek gyárthatóak, hozzájárulva ezzel a jobb fenntarthatósághoz.

Kutatómunkám első részében a szén-monoxid heterogén katalitikus oxidációjának vizsgálatát tűztem ki célul, melyhez költséghatékony és könnyen hozzáférhető alapanyagokból sikeresen állítottam elő kordierit-mullit típusú katalizátorhordozót, majd a továbbiakban meghatároztam az alkalmazott katalizátor prekursorok hordozóra való optimális felviteli módszerét.

Ezt követően a nemesfémekhez képest költséghatékonyabb és könnyebben hozzáférhető nemesfém mentes prekursorok felhasználásával porformájú katalizátorsorozatot készítettem és sikeresen kiválasztottam közülük a szén-monoxid oxidációjához legalkalmasabb katalizátort, majd optimalizáltam a kerámiahordozóra felvitt katalizátor prekursor mennyiségét.

Célom volt továbbá, hogy a poralapú katalizátorok tanulmányozása után kísérleteimet kiterjesszem az ipar számára is használható kerámia formatestek, mint katalizátorhordozók tanulmányozására is.

Ennek megvalósításához első lépésként extrudálással különböző morfológiájú hengeres formatesteket készítettem, melyeknek rendhagyó módon Pd(II)-acetát prekuzorral való impregnálásukat követően szén-monoxid oxidációs reakcióban meghatároztam a reakció szempontjából optimális geometriáját, majd ezt követően katalizátorágyas reaktorként alkalmazva, kipufogógáz átalakítási reakciókban vizsgáltam a CO és NO<sub>x</sub> csökkentési hatékonyságukat.

Kísérleti munkám első felének utolsó részeként sikeresen állítottam elő különböző morfológiájú, Co(II)-nitrát prekuzorral impregnált kerámiatéglákat, szintén katalizátorhordozóként való felhasználásra. Ezen munkafolyamat célja egy releváns ipari résztvevő által gyártott kandallók károsanyagkibocsátásának csökkentése volt, melynek eredményeképp az általunk gyártott katalizátoros téglákkal ezen berendezések károsanyagkibocsátása megfelelt a 2022-ben hatályba lépett EU 2015/1185-ös rendeletében szereplő határértékeknek.

Kutatómunkám második felében szintén kordierit típusú kerámiákkal foglalkoztam, azonban egy még költséghatékonyabb eljárással, öntéssel készítettem a kísérleti mintáimat. Kísérleteim

fókuszában már nem a szén-monoxid, hanem a napjaink tudományos világának szintén sok fejtörést okozó szén-dioxid került, hiszen a karbonsemlegesség felé vezető utunk elején fontos, hogy minél előbb legyenek olyan alkalmazott technológiák a birtokunkban, melyekkel (egyelőre még csak) kompenzálni tudjuk környezetünk szén-dioxid terhelését.

Kutatómunkám második felének fő célja egy olyan kis sűrűségű és ipari szempontból is megfelelő paraméterekkel rendelkező kerámia elkészítése volt, melyet változatos módon lehet hasznosítani ipari környezetben a károsanyagkibocsátás csökkentésére.

Ennek megvalósítása érdekében első lépésként célul tűztem ki egy tömegcsökkentett kerámiasorozat elkészítését, amit az egyik kerámiaalapanyag korszerű, üreges alumino-szilikátra való különböző arányú kicserésével sikerült elérnem.

Mindemellett bizonyítottam, hogy a kerámia egyik alapanyagának üreges alumino-szilikátra való kicserélése kulcsszerepet játszik a kerámia sűrűségének csökkentése mellett a számomra szintén fontos mechanikai paraméterek optimális szinten tartásában is.

Végezetül célként tűztem ki a csökkentett sűrűségű kerámiaminták közül a legalacsonyabb térfogatsúllyal rendelkező minta szén-dioxid hidrogénezési reakciókban való kipróbálását, valamint összehasonlítottam azt egy iparban jelenleg is használatos kerámiával.

## **2. KÍSÉRLETI MÓDSZEREK ÉS ELJÁRÁSOK**

A kerámiahordozók előállítása kétféleképpen történt munkám során, vákuum extrudálással, valamint gravitációs öntéssel. Utóbbi eljárás során különböző sűrűségű kerámiákat állítottam elő, melyek között a különbséget a masszakészítés során pórusképzőként alkalmazott üreges alumino-szilikát gömbök eltérő mennyisége jelentette.

A katalizátorok előállítása során az extrudálással készített hordozók felületére minden esetben nedves impregnálással vittem fel a fém prekursorokat, míg az öntéssel készített hordozók esetében alkalmazott Na-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> katalizátort koprecipitációs módszerrel állítottam elő.

Az extrudáló masszából előállított minták ásványtani tulajdonságait röntgendiffraktometriával (XRD), míg a mikromorfológiai sajátosságait pásztázó elektronmikroszkóppal (SEM) tanulmányoztam. A minták heterogén katalitikus szén-monoxid oxidációs reakciókban való használhatóságát gázkromatográfiával (GC) határoztam meg egy Hewlett Packard 5890 Series II gázkromatográf segítségével. Továbbá a pormintákat a szén-monoxid oxidációs reakciók előtt és után is elemanalitikai vizsgálatoknak vettem alá (XPS), hogy információt szerezzek a felületi elemek oxidációs állapotáról.

Az extrudálással készült hengeres formatestek impregnálását követő kipufogógáz átalakítási reakciókban a füstgázforrás egy Honda GX390 típusú négyütemű dízelmotor volt, a kísérletek során használt füstgázelemzők pedig Testo 350 típusú készülékek voltak.

A szintén extrudálással készült kerámiatéglák impregnálását követő füstgáz átalakítási reakciókban a füstgázforrás egy Myra 17090021 típusú kandalló volt.

Az öntéssel előállított kerámiaminták ásványtani tulajdonságait és oxidos összetételét röntgendiffraktometriával (XRD) és röntgenfluoreszcens spektrometria (XRF) segítségével vizsgáltam meg a szintézisek sikerességének ellenőrzése érdekében.

Ezt követően a kerámiák lineáris hőtágulási együtthatóit (CLTE) egy Linseis L-75 típusú dilatométer használatával mértem meg 5 K/perces felfűtési sebesség alkalmazásával, majd a hajlítoszilárdságukat minden esetben egy IGV AS-102 típusú hárompontos hajlítoszilárdság mérőgéppel határoztam meg, ahol a mérés során az alátámasztási távolság 100 mm volt. A kerámia próbatestek sűrűségét minden esetben az Archimédesz-módszerrel mértem meg, melynek során merítési közegként csapvizet használtam.

A minták hőstabilitását kísérletileg vízbemerítéses teszttel határoztam meg, melyhez 12 mm vastag, 20 mm széles és 120 mm hosszú kerámiarudakat használtam próbatestként. A mikromorfológiai sajátosságokat pásztázó elektronmikroszkóppal (SEM), míg a kerámiaminták belső szerkezetét számítógépes tomográfiai ( $\mu$ -CT) berendezéssel tanulmányoztam, melynek során rálátásom nyílt a minták porozitására (teljes és nyitott) és kapcsolódási sűrűségére (térhálóságára) is.

Végezetül a katalitikus szén-dioxid hidrogénezési reakciókban való aktivitásukat egy Agilent 7820A gázkromatográf segítségével vizsgáltam meg.

### **3. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK**

**T. 1. A kerámiahordozós nem nemesfém tartalmú katalizátorok szintézise során az impregnálás és hőkezelés sorrendje, valamint az alkalmazott átmenetifém anyagi minősége és mennyisége egyaránt befolyásolja a katalizátor szén-monoxid oxidációjának aktivitását.**

1.1. Az impregnálás és hőkezelés sorrendjének kitüntetett hatása van a szintézis során a katalizátor heterogén katalitikus aktivitására. Gázkromatográfias vizsgálatokkal bizonyítottam, hogy amíg az impregnálási folyamat után 1473 K-en kiégetett katalizátor aktivitása maximum 52%-os konverziót képes produkálni és tartósan magas hőmérsékleten további konverziócsökkenést mutat, addig az 1473 K-en kiégetett

kerámiahordozóra utólagosan felvitt prekuzorból készült katalizátor aktivitása már 473 K-en is 92%-os volt, ráadásul ez a minta tartósan magas hőmérsékleten is megőrizte katalitikus aktivitását.

- 1.2. A szén-monoxid oxidációs reakció során a kerámiahordozós, nemesfém mentes katalizátorok aktivitása szempontjából kulcsfontosságú volt az átmenetifém anyagminősége. Gázkromatográfias vizsgálatokkal igazoltam, hogy az általam kipróbált hatféle nemesfém mentes prekuzor közül a kobalt-nitrát felhasználásával készült katalizátor volt a leghatékonyabb.
- 1.3. Sikeresen optimalizáltam a kerámiahordozóra felvitt Co(II)-nitrát prekuzor mennyiségét. Ennek eredményeképp a gázkromatográfias vizsgálatok alapján a katalizátorhordozó tömegére vonatkoztatva a 0,5 w% Co(II) mennyiséget találtam a legmegfelelőbbnek.

**T. 2. Az általam kifejlesztett kerámia alkalmas katalizátorhordozó formatestek gyártására, melyekre a megfelelő fém-prekuzort impregnálva egy olcsó és az ipar számára is könnyedén alkalmazható katalizátort kaphatunk.**

- 2.1. A különböző morfológiájú hengeres formatestek Pd(II)-prekuzorral való impregnálását követő katalizátorágyként való alkalmazásuk során mechanikailag és kémiailag is stabilak voltak szén-monoxid oxidációs és kipufogógáz átalakítási reakciókban egyaránt. Gázkromatográfias mérésekkel kimutattam, hogy a 4 lyukas hengeres formatest azonos körülmények között hasonló katalitikus aktivitásra képes, mint a nehezebb, lyuk nélküli formatest, így a kisebb anyagfelhasználás által sokkal költséghatékonyabb megoldás.
- 2.2. A kerámiatégla formatestek Co(II)-prekuzorral való impregnálásukat követően, katalitikus kandallóbetétként való alkalmazásuk során mechanikailag és kémiailag is stabilak maradtak a füstgázátalakítási reakciókban. Akkreditált laboratóriumi mérésekkel bizonyítottam, hogy a kerámiatéglaiból készült katalizátorok képesek a 2022-től hatályos EU 2015/1185 rendeletben szereplő kibocsátási határértékek alá csökkenteni a füstgáz CO ( $\leq 1500 \text{ mg/Nm}^3$ ) és NO<sub>x</sub> ( $\leq 200 \text{ mg/Nm}^3$ ) koncentrációját is.

**T. 3. Az általam előállított kis sűrűségű kerámia kiváló mechanikai és hőtani paraméterekkel rendelkezik, mindemellett katalizátorhordozóként is jól funkcionál szén-dioxid hidrogénezési reakciókban.**

- 3.1. Sikeresen kidolgoztam egy eljárást, melynek segítségével olyan nagy porozitású és kis sűrűségű kordierit típusú kerámiát állítottam elő, amely mechanikai szilárdságát a

nagyfokú könnyítés hatására sem veszítette el. Micro-CT-s vizsgálatokkal, valamint hárompontos hajlítoszilárdságméréssel és Archimédesz-elven alapuló sűrűségméréssel is bizonyítottam, hogy amíg egy  $2,00 \text{ g/cm}^3$  sűrűségű, iparban használatos kerámia hajlítoszilárdsága átlagosan  $23,69 \text{ MPa}$ , addig az általam létrehozott  $1,40 \text{ g/cm}^3$  sűrűségű kerámia hajlítoszilárdsága átlagosan  $20,17 \text{ MPa}$  volt. Tehát sikerült a sűrűséget 30%-kal csökkentenem, míg a mechanikai szilárdság csupán 14,85%-kal csökkent.

- 3.2. Az általam kifejlesztett kis sűrűségű kerámia hőtani paraméterei jobbak, mint az ipari megfelelőjének tulajdonságai. Egy 10 ciklusból álló, közel  $500 \text{ K}$  mértékű, hirtelen hőmérsékletváltozással járó hőlkésállóság teszttel, valamint hajlítoszilárdság mérésekkel és dilatometriás vizsgálatokkal bizonyítottam, hogy amíg a  $2,00 \text{ g/cm}^3$  sűrűségű referencia kerámia hősokk hatására kialakuló mechanikai szilárdság degradációja  $54,70\%$ , addig az általam kifejlesztett kerámia esetében ugyanez az érték csak  $48,90\%$ . Továbbá a kis sűrűségű kerámia  $873 \text{ K}$ -en mért  $2,26 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ -es lineáris hőtágulási együtthatója  $8,50\%$ -kal alacsonyabb, mint a referencia kerámia ugyanezen a hőmérsékleten mért  $2,47 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ -es lineáris hőtágulási együtthatója, ami szintén a kis sűrűségű kerámia jobb hőlkésállóságát bizonyítja.
- 3.3. Az üreges alumino-szilikát gömbök felhasználásával előállított,  $1,40 \text{ g/cm}^3$  sűrűségű kerámiahordozóval készült katalizátor  $50 \text{ bar}$  nyomáson,  $613 \text{ K}$  hőmérsékleten és  $10 \text{ w}\%$   $\text{Na-Fe}_3\text{O}_4$  tartalom mellett hasonló katalitikus aktivitással rendelkezik, mint az iparban használatos  $2,00 \text{ g/cm}^3$  sűrűségű megfelelője. Gázkromatográfiás vizsgálatokkal igazoltam, hogy a fentebb említett reakciókörülmények között a  $2,00 \text{ g/cm}^3$  sűrűségű kerámiahordozóval a katalizátor  $\text{CO}_2$  konverziója  $56\%$  és az egységnyi vasmennyiségre vonatkoztatott  $\text{CO}_2$  fogyási aránya  $1363 \text{ nmol/g}_{[\text{Na-Fe}_3\text{O}_4]}\cdot\text{s}$ . Ezzel szemben a kis sűrűségű kerámiahordozóval használt katalizátor  $\text{CO}_2$  konverziója  $53\%$  és az egységnyi vasmennyiségre vonatkoztatott  $\text{CO}_2$  fogyási aránya  $1302 \text{ nmol/g}_{[\text{Na-Fe}_3\text{O}_4]}\cdot\text{s}$ , de sűrűsége 30%-kal kisebb, mint a másik kerámiahordozóval készült katalizátoré.

#### **4. AZ EREDMÉNYEK HASZNOSÍTHATÓSÁGA**

A doktori kutatásom során a levegőminőség javítását elősegítő és mindemellett költséghatékony ipari minőségű kerámiák előállításával és korunk igényeinek megfelelő alkalmazási területekre való optimalizálásával foglalkoztam. Az itt bemutatott eredményekkel és hasznosíthatóságukra tett javaslatokkal reményeim szerint hozzájárulhatok ezen terület

további fejlődéséhez, kijelölve ezzel az utat jómagam és természetesen a téma iránt érdeklődést mutató jövőbeli kutatók számára is.

A kutatásom első részében végzett munkám eredményei alapján sikeresen fejlesztettem ki olyan könnyen hozzáférhető alapanyagokból előállítható, nem nemesfém tartalmú, poralapú katalizátort, melynek a kerámiahordozó tömegére vonatkoztatott optimális fémtartalmát is sikerült kísérleti úton bizonyítanom, elsőként a szakirodalomban.

Az extrudáló eljárással készített hengeres formatestek katalizátorhordozóként jó eséllyel használhatók a jövőben belsőégésű motorok katalizátorágyaként, köszönhetően kiváló mechanikai szilárdságuknak és katalitikus aktivitásuknak, melyet a szén-monoxid oxidációs és  $\text{NO}_x$  csökkentési reakciók során nyújtottak.

Az extrudáló eljárással készített kerámiatéglák katalizátorhordozóként jó eséllyel használhatók a jövőben vegyestüzelésű fűtőtestekben katalitikus kandallóbetétként vagy füstterelőként. Mindezt arra alapozom, hogy egy releváns ipari résztvevő tüzeléstechnikai laboratóriumában végzett tesztelés során az egyik nemesfémmentes katalizátorréteggel bevont kerámiatégla rendkívül jól teljesített a tesztberendezésben keletkező füstgáz  $\text{CO}$  és  $\text{NO}_x$  tartalmának katalitikus átalakítása során. További előnye a katalizátoros tégláknak, hogy füstterelőként vagy kandallóbetétként alkalmazva őket, méretük, formakialakításuk és pozíciójuk könnyen optimalizálható mindenféle típusú vegyestüzelésű készülékre anélkül, hogy a berendezés konstrukcióját komolyabban át kellene alakítani. Végül, de nem utolsósorban, mivel a katalitikus kerámiabetétek optimális pozíciója a hőmérsékleti viszonyok és a keletkező füstgáz miatt a tüztérben van, ezért cseréjük könnyedén lehetséges, ráadásul csere esetén a kerámiabetéteket regenerálni is lehet, így nem kell őket véglegesen kidobni, ami megnöveli életciklusukat, ezáltal csökkentve a karbonlábnyomot.

Az akkreditált hőtechnikai laboratóriumban végzett eddigi mérések eredményei olyannyira biztatóak, hogy a téglák további optimalizálása, valamint egy alapos piackutatás után akár a sorozatgyártásuk is megvalósulhat a jövőben, éppen ezért tanszékünkön jelenleg is folynak kísérletek ezekkel az anyagokkal.

A kutatásom második részében végzett munkám eredményei alapján az általam kidolgozott kis sűrűségű kerámia jól funkcionált szén-dioxid hidrogénezési reakciókban, mint katalizátorhordozó. Éppen ezért alkalmas lehet könnyű, de mechanikailag tartós katalizátorhordozóként való felhasználásokra, melyet olyan helyeken lehet hasznosítani, ahol a kis tömeg mellett számít a relatíve nagy mechanikai szilárdság is. Ilyen alternatív felhasználási

cél lehet például a Fischer-Tropsch szintézist alkalmazó különböző kordierit vázas, forgó töltöttágyas reaktorok piaca.

Az általam kifejlesztett kis sűrűségű kerámia, köszönhetően remek mechanikai szilárdságának, jó hősokkállóságának és relatíve alacsony lineáris hőtágulási együtthatójának, remekül hasznosítható lehet a kerámiaipar, azon belül a tűzálló égetési segédeszközök gyártó gyáregységek számára is. Az égetési segédeszközök funkciójukat tekintve olyan tűzálló kerámiák, melyek főképp egyéb kerámiaipari résztvevők, például a tetőcserépgyárak saját termékeinek hőkezeléséhez nyújtanak segítséget. Emiatt az ideális égetési segédeszköz számos kívánalomnak kell, hogy megfeleljen. Ilyen például a megfelelő mechanikai szilárdság, ami azért szükséges, hogy a cserépgyárakban működő automatizált rakógépek ne tudják könnyen eltörni a segédeszközt. Szintén fontos kritérium a hősokkállóság, ami a cserepek égetése során a viszonylag gyors és ciklikus felfűtés és lehűtés hatására fellépő hőfeszültség következtében bekövetkező repedés/törés ellen nyújt védelmet. Napjainkban ezen piaci résztvevőknek meg kell küzdeniük a folyamatosan növekvő energiaárakkal és a folyamatosan csökkenő CO<sub>2</sub>-kibocsátási kvótákkal is, mely problémákra a kis sűrűségű kerámia szintén megoldást nyújthat a kemencékbe kerülő égetési holttömeg csökkentésével.

Az általam kifejlesztett kerámia jó eséllyel megfelelhet az összes fentebb említett kritériumnak, ugyanis mechanikai szilárdsága közel megegyezik egy, az iparban napjainkban is használatos kerámiáéval, miközben hősokkállósága jobb és lineáris hőtágulási koefficiense alacsonyabb. Mindemellett sűrűsége (térfogatsúlya) közel 30%-kal alacsonyabb, aminek köszönhetően kevesebb energiát igényel a (segédeszközként igazából csak holttehernek számító) felfűtése, ami ezáltal közvetlenül az alacsonyabb CO<sub>2</sub>-kibocsátást is maga után vonja. Továbbá mivel hősokkállósága jobb, mint ipari megfelelőjének, így egy gyorsabb hőkezelési (felfűtési-lehűtési) ciklus is kidolgozható lenne esetleges használatuk során, amivel még gazdaságosabban és gyorsabban lehet kiégetni a segédeszközre helyezett egyéb kerámiákat.

A kutatási eredményeim által többet megtudhattunk a kordierit-mullit típusú kerámiák felhasználási lehetőségeivel kapcsolatban, amely gazdaságosabb és egyben környezetbarátabb katalizátorhordozók és égetési segédeszközök lehetőségét feltételezi. Ezen technológiai újítások reményeim szerint a jövőben képesek lehetnek szerepet vállalni levegőminőségünk javításában a karbonsemlegesség felé vezető utunk elején.



## 5. AZ ÉRTEKEZÉS ALAPJÁUL SZOLGÁLÓ KÖZLEMÉNYEK

Magyar Tudományos Művek Tára (MTMT) azonosító: 10089373

Az értekezés témájához szorosan kapcsolódó közlemények:

- [1] **T. Boldizsár**, R. Mucsi, Á. Szamosvölgyi, I. Szent, Gy. Halasi, A. Sápi, Á. Kukovecz, Z. Kónya, *Optimization of ceramic-based noble metal-free catalysts for CO oxidation reactions*, Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis, 135, 575-587 (2022)

DOI: 10.1007/s11144-022-02166-1

**Hivatkozások: 2 (2)**

**I.F. 2022: 1,843**

- [2] O. Al-Aqtash, F. Farkas, A. Sápi, I. Szent, **T. Boldizsár**, K. B. Ábrahámné, Á. Kukovecz, Z. Kónya, *Differently shaped Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-based Pd catalysts loaded catalytic converter for novel non-road mobile machinery exhaust systems*, Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis, 136, 149-161 (2023)

DOI: 10.1007/s11144-023-02363-6

**Hivatkozások: 2 (1)**

**I.F. 2023: 1,843**

- [3] **T. Boldizsár**, H. Bali, I. Szent, I. Sebők-Papp, Zs. Bán, S. Herczeg, G. Barna, A. Sápi, Á. Kukovecz, Z. Kónya, *Environmental-friendly economical cordierite-mullite-based ceramics for kiln furniture production and supports for CO<sub>2</sub> hydrogenation towards C<sub>5+</sub> fuels*, Journal of the European Ceramic Society, 43, 13, 5596-5605 (2023)

DOI: 10.1016/j.jeurceramsoc.2023.04.057

**Hivatkozások: 2 (2)**

**I.F. 2023: 6,364**

**Σ I.F.: 10,050**

Az értekezés témájához szorosan nem kapcsolódó, nemzetközi folyóiratban megjelent tudományos közlemények:

- [4] B. Réti, **T. Boldizsár**, D. Szarka, Z. Major, E. Horváth, A. Magrez, L. Forró, A. Dombi, K. Hernádi, *Influence of TiO<sub>2</sub> phase composition on the photocatalytic activity of TiO<sub>2</sub>/MWCNT composites prepared by combined sol-gel/hydrothermal method*, Journal of Molecular Catalysis A: Chemical, 414, 140-147 (2016)

DOI: 10.1016/j.molcata.2016.01.016

**Hivatkozások: 44 (34)**

**I.F. 2016: 4,211**

- [5] B. Buchholcz, H. Haspel, **T. Boldizsár**, Á. Kukovecz, Z. Kónya, *pH-regulated antimony oxychloride nanoparticle formation on titanium oxide nanostructures: a photocatalytically active heterojunction*, CrystEngComm, 19, 1408-1416 (2017)  
DOI: 10.1039/C6CE02340A

Hivatkozások: 4 (3)

I.F. 2017: 3,367

Σ I.F.: 7,578

Σ Σ I.F.: 17,628

## 6. ELŐADÁSOK, POSZTEREK, KONFERENCIARÉSZVÉTELEK

1. **T. Boldizsár**: Friends2 Workshop, Advanced coating and characterization techniques, Drezda, Németország (2016)
2. **T. Boldizsár**, B. Buchholcz, H. Haspel, Z. Kónya, Ákos Kukovecz: *Synthesis of photoactive antimony oxyiodide hierarchical nanostructures*, SIWAN7 - 7th Szeged International Workshop on Advances in Nanosciences, Szeged, Magyarország (2016)
3. **T. Boldizsár**: *Electrical and stability investigations of layered HfTe<sub>2</sub> semimetal*, CYSC 2017 - 12th Conference for Young Scientists in Ceramics, Újvidék, Szerbia (2017)

## 7. TÁRSSZERZŐS ELŐADÁSOK, POSZTEREK, KONFERENCIARÉSZVÉTELEK

4. B. Réti, **T. Boldizsár**, A. Dombi, K. Hernádi, *Photocatalytic activity of TiO<sub>2</sub>/MWCNT nanocomposites with different TiO<sub>2</sub> phase compositions*, NT13: Fourteenth International Conference on the Science and Application of Nanotubes, Espoo, Finnország (2013)
5. B. Réti, **T. Boldizsár**, D. Szarka, Z. Major, A. Dombi, K. Hernádi, *TiO<sub>2</sub> /MWCNT nanocomposites with different anatase/rutile ratio: preparation and photocatalytic activity*, IEEE-NANO 2015 - 15th International Conference on Nanotechnology, Róma, Olaszország (2015)
6. B. Buchholcz, H. Haspel, **T. Boldizsár**, Á. Kukovecz, Z. Kónya: *pH-regulated antimony oxychloride nanoparticle formation on titanium oxide nanostructures: a photocatalytically active heterojunction*, 21st Topical Meeting of the International Society of Electrochemistry, Szeged, Magyarország (2017)