

Doktori (Ph.D.) értekezés tézisei

**Bizmut-volframát és bizmut-vanadát alakformált
fotokatalizátorok előállítása és alkalmazhatóságának
vizsgálata**

Kása Zsolt

Témavezető:

Dr. Pap Zsolt (tudományos munkatárs, SZTE,
Környezettudományi és Műszaki Intézet)

Környezettudományi Doktori Iskola



Szegedi Tudományegyetem, Természettudományi és
Informatikai Kar, Környezettudományi és Műszaki
Intézet, Környezetkémiai Kutatócsoport

Szeged

2019

1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS

Míg a fejlett országokban többnyire megoldott a fogyasztótól kikerülő szennyvíz tisztítása, addig a fejlődő országokban komoly problémát jelent még az emberi fogyasztásra alkalmas ivóvíz előállítása is. A legtöbb ilyen esetben a hagyományos víztisztítási eljárások szóba sem jöhetnek, így szükséges más alternatív megoldást találni a problémát okozó szennyezők eltávolítására. Jó megoldás lehet a nagyhatékonyságú oxidációs eljárások (AOP-k) közül a heterogén fotokatalízis, mely korunk egyik legdinamikusabban fejlődő víztisztítási eljárása.

A fotokatalízis alapját egy félvezető anyag, a fotokatalizátor adja, melyet elegendő csupán fénnel megvilágítani ahhoz, hogy a szerves szennyezők degradációját elindítsa. Ha a félvezető elektron- és sáv szerkezete lehetővé teszi, akkor a gerjesztést a kisebb energiájú látható fénnel is előidézhethetjük, ami a napfény hasznosítása szempontjából előnyösebb, mint a nagyobb energiájú UV fénnel történő gerjesztés. Itt kap nagy hangsúlyt a látható fényre aktív fotokatalizátorok fejlesztése, mint például a bizmut-volframát és bizmut-vanadát.

Közismert, hogy a fotokatalitikus aktivitás hatékonysága nagymértékben függ a fotokatalizátor fizikai-kémiai tulajdonságaitól, mint például a részecskeméret, morfológia, tiltottsáv-szélesség stb. E tulajdonságok közül kitüntetett szerepe van fotokatalizátor (mikro)morfológiájának és hierarchiai szerveződési szintjeinek, melyek a szintézis során különböző módszerekkel finomhangolhatók. Ezt nevezzük irányított kristályosításnak, azaz alakszobrászatnak, amely során a tervezett alkalmazás szempontjából kedvező morfológiai tulajdonságokat hangsúlyozhatjuk ki.

Kutatómunkám során bizmut-volframát és bizmut-vanadát félvezető fotokatalizátorok alakirányított előállítását tűztem ki célul. A bizmut-volframát kristályosítása során vizsgálni kívántam a szintézisidő, a kalcinálás és az adalékanyagok hatását a keletkező mikrokristályok fizikai-kémiai tulajdonságaira, valamint a fotokatalitikus aktivitására. Az eredmények fényében céltom volt egy morfológiai sorozat előállítása,

amelyet a szintézis során használt adalékanyagok szisztematikus változtatásával terveztem elérni. Munkám célja ezzel egy egyértelmű és minden kétséget kizáró kapcsolat feltárása volt az előállított morfológiai sorozat, a használt adalékanyagok és a fotokatalitikus aktivitások között.

A kutatómunkám második felében bizmut-vanadát kristálylaponorientált mikrorészecskék előállítása volt a cél, melyet a szintéziselegy pH-jának változtatásával értem el. Egyértelmű kapcsolatot szerettem volna feltárni a fotokatalitikusan aktív (040)-ás kristálylap mennyisége és két modellszennyező, a rodamin B és az oxálsav fotokatalitikus bomlása között. Mindemellett bizonyítani kívántam, hogy a (040)-ás lap nemcsak a fotokatalízisben, hanem más kémiai reakció során is kulcsszerepet játszik.

2. KÍSÉRLETI MÓDSZEREK, ELJÁRÁSOK

A bizmut-volframát előállítása során vizsgáltam a hidrotermális kristályosítási idő (5, 15, 20, 40 óra) és az utólagos kalcinálás hatását (500 °C, 2 óra) a keletkező fotokatalizátorok fizikai-kémiai tulajdonságaira és a fotokatalitikus aktivitásra. Vizsgáltam a szintézis során használt nem felületaktív anyag, a tiokarbamid és a Triton X-100 felületaktív anyag (TRX) hatását. A kapott eredményekből kiindulva cseréltem le a tiokarbamidot, más, hasonló szerkezetű, de mégis eltérő tulajdonságú (Hückel-féle polaritású) adalékra. Az alkalmazott nem felületaktív adalékanyagok listája a következő: karbamid, acetamid, tioacetamid, aceton, glicin, alanin és fenilalanin.

A bizmut-vanadát előállítása során a szintéziselegy pH-jának változtatásával befolyásoltam a keletkező mikrorészecskék alakját, valamint a (040)-ás kristálylap mennyiségét, amelyre később kristálylapselektív módon réz nanorészecskéket választottam le.

Az előállított minták kristálytani tulajdonságait röntgendiffraktometriával (XRD) vizsgáltam meg a szintézisek sikerességének ellenőrzése érdekében. A röntgendiffraktogramokból kiszámoltam a primer részecskeméretet a Scherrer-egyenlet segítségével, valamint információt nyertem az anyagok kristályfázis-összetételéről és a

kristálylapok arányáról. A mikromorfológiai sajátosságokat pásztázó elektronmikroszkóppal, míg az optikai tulajdonságokat diffúz reflexiós spektroszkóppal (DRS) vizsgáltam meg. A diffúz reflexiós spektrumokból a Kubelka-Munk összefüggéssel számoltam ki a fotokatalizátorok tiltottsáv-szélesség értékeit, valamint hullámhossz szerinti elsőrendű deriválással megkaptam a minták fényelnyelési maximumát.

Infravörös spektroszkópiát (IR) alkalmaztam a felület tisztaságának ellenőrzésére. Egyes mintákat elemanalitikai vizsgálatoknak vetettünk alá (XPS), hogy még több információt szerezzünk a felületi elemek oxidációs állapotáról és a felületen visszamaradt anyagokról. Nitrogén-adszorpciót és a Brunnauer-Emmet-Teller (BET) egyenletet használtuk a minták fajlagos felületének meghatározásához.

A bizmut-vanadáton történő lapszelektív réz leválasztását követő strukturális változásokat Raman spektroszkópiával, míg a leválasztott réz mennyiségét röntgenfluoreszcens spektroszkópiával (XRF) követtük nyomon. A bizmut-vanadát minták részecskeméret eloszlását dinamikus fényszórás spektroszkópiával követtük nyomon (DLS).

A minták fotokatalitikus aktivitását két modellszennyező (rodamin B és oxálsav) fotokatalitikus degradációja során vizsgáltam egy duplafalú pyrex üvegből készült reaktorban, folyamatos kevertetés mellett, levegőbevezetéssel és 25 °C-on. Az UV fényvel történő gerjesztést 6 db 6 W-os fluoreszcens lámpa biztosította ($\lambda_{\max} = 365$ nm), míg a látható fényforrás 4 db 24 W-os hagyományos energiatakarékos izzó volt ($\lambda > 400$ nm). A visszamaradt rodamín B festékanyag koncentrációját UV-Vis spektrofotométerrel ($\lambda_{\det.} = 553$ nm), míg a visszamaradt oxálsav koncentrációját nagyhatékonyságú folyadékkromatográffal követtem nyomon.

3. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

T. 1. A bizmut-volframát hidrotermális kristályosítási paraméterei (kristályosítási időtartam, Triton X-100 jelenléte) befolyásolják a részecskék tulajdonságait (morfológia, felületi tisztaság) és ezek által a fotokatalitikus aktivitásukat.

- 1.1. A reakciókörülmények szisztematikus változtatásával különböző morfológiájú bizmut-volframát mikrorészecskéket állítottunk elő, mellyel bizonyítottuk, hogy a kontrollált szintézissel képesek lehetünk olyan stabil részecskéket előállítani, melyek kiemelkedően magas fotokatalitikus aktivitással rendelkeznek UV- és látható fény megvilágítása alatt egyaránt.
 - 1.2. Az adalékanyagoknak kitüntetett szerepe van a szintézis során a fotokatalitikus szempontból előnyös morfológia kialakításában, s ezáltal hatással van az aktivitásra. Megállapítottam, hogy az alkalmazott tiokarbamid nem csak a rendezett morfológia kialakításáért, hanem a hatékonyabb fényelnyelés kialakításáért felelős, míg a felületaktív anyagként használt Triton X-100 az anizotropikus lapok feltekeredéséért és a szabad hézag térfogatának növeléséért felelős. Mindkét adalékanyag együttes alkalmazása szükséges a megfelelő morfológia kialakításához.
 - 1.3. Infravörös spektroszkópiával vizsgálva igazoltam, hogy a felületen visszamaradó tiokarbamid nem befolyásolja a fotokatalízis hatékonyságát. A visszamaradt tiokarbamid szimultán, fotokatalitikus úton lebomlik a rodamin B-vel. Röntgenfotoelektron spektroszkópiával a felületen visszamarad tiokarbamid és a fotokatalizátor kapcsolatát vizsgáltuk meg. Megállapítottuk, hogy tiokarbamid bomlásterméke a ditio-oxamid a szintézisidő növelésével a bizmut-volframát felületén halmozódik fel, ami a C-C kötések kialakulását eredményezi, s ezzel megnöveli a felületi Bi^{5+} arányát a Bi^{3+} -hoz képest.
- T. 2. A nem felületaktív anyagok szerkezete (kvantifikálva a Hückel féle polaritás által) jelentős befolyással bír a kialakult bizmut-volframát tulajdonságaira (morfológia – rózsasforma kvantifikálása által, optikai tulajdonságuk) és fotokatalitikus aktivitására.**
- 2.1. A nem felületaktív anyagok szisztematikus megválasztásával előállítottam két bizmut-volframát morfológiai sorozatot, s

vizsgáltam az így létrehozott fotokatalizátorok fizikai-kémiai tulajdonságait. Az adalékanyagok csoportosításának az alapja a Hückel-féle polaritásérték volt, melyet közvetlen kapcsolatba sikerült hoznom a fotokatalizátorok fényelnyelés maximumaival, tehát a növekvő Hückel-féle polaritásértékkel nő az előállított fotokatalizátorok fényelnyelési maximuma. Vizsgáltam az anyagok fotokatalitikus aktivitását, mind látható, mind UV megvilágítás alatt, s kimutattam, hogy az aktivitási trendek szoros kapcsolatban állnak a használt adalékanyagok Hückel-féle polaritásértékével, miszerint a növekvő értékkel csökken az aktivitással UV- és látható fény megvilágítása alatt egyaránt. Ezt a trendet azonban a szintéziselegyhez adott Triton X-100 megszünteti, de ennek eredményeképp jobban definiált, azaz rendezettebb morfológiát sikerült létrehoznom.

- 2.2. Sikeresen kidolgoztam egy eljárást, s megalkottam egy egyenletet, mellyel a morfológiai sajátosságok, azaz a rendezettségi szint számszerűsíthető. Az egyenlet a bemeneti feltételek teljesülése esetén képes megmondani, hogy az adott részecske mennyire közelíti meg a (szakirodalom által is használt) tökéletes rózsafarmát. Az R_{SDC} („Rose Similarity Decay Constant”) egyenlet alapja a periodicitás, avagy felületi érdesség, melyet a pásztázó elektronmikroszkópos felvételek transzformálásából határoztam meg számos katalizátorrészecske, négy tengelyprofilja mentén, átlagolva.
- 2.3. Egyértelmű kapcsolatot találtam a TRX mentes minták periodicitásértékei és a használt nem felületaktív adalékanyagok Hückel-féle polaritásértékei között, mellyel bizonyítottam, hogy egy jól megválasztott adalékanyaggal remekül finomhangolhatók a keletkező részecskék morfológiai tulajdonságai. A Triton X-100 segítségével előállított mintákra alkalmazott R_{SDC} egyenlettel elsőként bizonyítottam és számszerűsítettem, hogy a rózsafarma, azaz az anizotropikus lapokból felépülő, periodikusan ismétlődő, a

lehető legtökéletesebb gömb formába rendeződött részecskék fotokatalitikus aktivitása a legnagyobb.

T. 3. Bizmut-vanadát fotokatalizátorok előállítása és a (040)-ás kristálylap-arány összekapcsolható és kulcsszerepe van a fotokatalitikus aktivitás definiálására különböző modellszennyezők bontása során.

- 3.1. Sikeresen előállítottam változó (040)-ás kristálylap aránnyal rendelkező bizmut-vanadát részecskéket a szintéziselegy pH-jának változtatásával. Megállapítottam, hogy a szintéziselegy pH értékének változtatása jelentős hatást gyakorol a kialakult részecskék morfológiájára. Ez a változás a röntgendiffraktogramok reflexióintenzitás-arányán követhető a legjobban. Vizsgáltam az anyagok fotokatalitikus aktivitását látható fény megvilágítása alatt, két eltérő szerkezetű modellszennyező, a rodamin B és az oxálsav fotokatalitikus degradációja során. Egyértelmű kapcsolatot találtam a (040)-ás kristálylap mennyisége és az oxálsav bomlási trendje között. Az oxálsav bomlása és fotokémiai átalakulása a (040)-ás kristálylap függő, ami az oxálsav direkt lyukas reakcióját erősíti meg. Ilyen összefüggés a rodamin B bomlási trendjénél nem volt megfigyelhető.
- 3.2. Kristálylapselektív rézleválasztással bizonyítottam, hogy a (040)-ás kristálylap nem csak a fotokatalízisben, hanem más kémiai reakciókban is kulcsszerepet játszik. A (040)-ás kristálylapfüggő rézleválasztásának ismeretében XRF mérésekkel igazoltam, hogy a leválasztott réz mennyisége szintén egyenes arányban növekszik a (040)-ás kristálylappal, ami a fenti megállapítást erősíti. Raman spektroszkópiás mérésekkel és a fotokatalitikus bomlási eredményekkel közvetlenül igazoltam, hogy a (040)-ás kristálylap a legfontosabb kristálytani paraméter a bizmut-vanadát esetében, mely nem csak a fotokatalízisben, hanem a réz redukciója során is megnyilvánul.

3.3. A DLS mérések eredményeiből megállapítottam, hogy a magasabb aggregálódási fokkal rendelkező minták fotokatalitikus aktivitása nagyobb a rodamin B degradációja során, mint a több, egyedi részecskét alkotó mintáké. A hidrodinamikai részecskeméret növekedésével együtt nő a rodamin B fotokatalitikus konverziója. Ezek fényében megállapítottam, hogy azoknál a szennyező anyagoknál, melyeknél a gyökös degradációs folyamatok a meghatározóbbak, ott a (040)-ás kristálytani síknak ugyan szerepe van, de nem ez a legfontosabb aktívásbefolyásoló részecsketulajdonság.

4. AZ EREDMÉNYEK HASZNOSÍTHATÓSÁGA

A doktori kutatásom során kétféle bizmut-oxid alapú fotokatalizátor előállításával foglalkoztam, s az itt bemutatott eredményekkel – reményeim szerint – hozzájárultam a látható fényre aktív fotokatalizátorok fejlesztéséhez, s ezzel kijelölve az utat a későbbi kutatók és persze saját magam számára is.

Az eredményeim alapján a bizmut-volframát jó eséllyel használható összetettebb, több komponensű szennyezett víz fotokatalitikus tisztítása során is, hiszen igazoltam, hogy a két szennyező anyag egyszerre képes degradálódni. A szakirodalomnak mindeddig nem sikerült a morfológiai sajátosságokat kvantifikálni, melyet jelen kutatás során igyekeztem pótolni egy egyenlet megalkotásával, mely remek alapot nyújthat egy későbbi, komplexebb egyenlet megalkotásához. Jó eséllyel ezt az egyenletet adaptálni lehet más fotokatalizátor esetében is, mely hasonló struktúrával rendelkezik. Rávilágítottam arra, hogy a bizmut-volframát potenciálisan használható lehet optikai elven működő szenzorként is, mely kellő szelektivitással rendelkezhet.

A kutatási eredményeimnek köszönhetően többet megtudhattunk a bizmut-vanadát kristálytani sajátosságairól, amely új kompozitok előállítási

lehetőségét feltételezi. Ezen új kompozitok jó eséllyel növelhetik a kiindulási fotokatalizátorok fotokémiai stabilitását is.

5. AZ ÉRTEKEZÉS ALAPJÁUL SZOLGÁLÓ KÖZLEMÉNYEK

Magyar Tudományos Művek Tára (MTMT) azonosító: 10052552

Az értekezés témájához szorosan kapcsolódó közlemények:

- [1] **Kása Zs.**; Saszet K.; Dombi A.; Hernádi K.; Baia L.; Magyar K.; Pap Zs.: *Thiourea and Triton X-100 as shape manipulating tools or more for Bi₂WO₆ photocatalysts?*

MATERIALS SCIENCE IN SEMICONDUCTOR PROCESSING 74 pp. 21-30., 10 p. (2018); DOI: 10.1016/j.mssp.2017.10.001

Hivatkozások: 1 (1) I.F.₂₀₁₇: 2,593

- [2] **Kása Zs.**; Baia, L.; Magyar K.; Hernadi K.; Pap Zs.: *Innovative visualization of crystal morphology effects on semiconductor photocatalysts. Tuning the Hückel polarity of the shape-tailoring agents: the case of Bi₂WO₆*; CRYSTENGCOMM 21 pp. 1267-1278. 12 p. (2019); DOI: 10.1039/C8CE01744A

Hivatkozások: 0 (0) I.F.₂₀₁₇: 3,304

- [3] **Kása Zs.**; Almási E. E.; Hernádi K.; Gyulavári T.; Baia L.; Veréb G.; László Zs.; Pap Zs.: *New insights into the photoactivity of shape-tailored BiVO₄ semiconductors via photocatalytic degradation reactions and classical reduction processes*

KÖZLÉSRE BENYÚJTVA- SCIENTIFIC REPORTS

(I.F.₂₀₁₇: 4,122)

- [4] **Kása Zs.**; Gyulavári T.; Veréb G.; Kovács G.; Baia L.; Pap Zs.; Hernádi K.: *Novel Applications and Future Perspectives of Nanocomposites* In: Khan M. M.; Pradhan D.; Sohn Y.: *Nanocomposites for Visible Light-induced Photocatalysis*. Heidelberg: Springer International Publishing, 2017. pp. 333-398. (ISBN:978-3-319-62446-4) (Könyvfejezet)

Hivatkozások 3 (3)

Σ I.F.₂₀₁₇: 10,019

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

- [5] Vajda K.; **Kása Zs.**; Dombi A.; Németh Z.; Kovács G.; Danciu V.; Radu T.; Ghica C.; Baia L.; Hernádi K.; Pap Zs.: *"Crystallographic" holes: new insights for a beneficial structural feature for photocatalytic applications* NANOSCALE 7 : 13 pp. 5776-5786. , 11 p. (2015); DOI: 10.1039/C4NR07157C

Hivatkozások: 7 (4) I.F.₂₀₁₇: 7,233

- [6] Vajda K.; Saszet K.; Kedves E. Zs.; **Kása Zs.**; Danciu V.; Baia L.; Magyar K.; Hernádi K.; Kovács G.; Pap Zs.: *Shape-controlled agglomeration of TiO₂ nanoparticles. New insights on polycrystallinity vs. single crystals in photocatalysis* CERAMICS INTERNATIONAL 42 : 2 pp. 3077-3087. , 11 p. (2016); DOI: 10.1016/j.ceramint.2015.10.095

Hivatkozások: 19 (13)

I.F.2017: 3,057

- [7] Magyar K.; Pap Zs.; Tóth Zs. R.; **Kása Zs.**; Emilia L.; Vodnar D. C.; Hernadi K.; Baia L.: *The impact of copper oxide nanoparticles on the structure and applicability of bioactive glasses*
KÖZLÉSRE BENYÚJTVA - JOURNAL OF SOL-GEL SCIENCE AND TECHNOLOGY

I.F.2017: 1,745

Σ I.F.2017: 12,035

Σ Σ I.F.2017: 22,054

ELŐADÁSOK, POSZTEREK, KONFERENCIARÉSZVETELEK

1. **Kása Zsolt**: *Szén nanocsövön növesztett titán-dioxidok jellemzése fotokatalitikus tulajdonságainak vizsgálata*; SZTE-TTIK- Környezettudományi Diákköri Konferencia (2014) (II. helyezés)
2. **Kása Zsolt**: *Szén nanocsövön növesztett titán-dioxidok jellemzése fotokatalitikus tulajdonságainak vizsgálata*; XIV. Országos Felsőoktatási Környezettudományi Diákkonferencia; Pécs, Magyarország, (2014)
3. **Zsolt Kása**; Krisztina Vajda; Zsolt Pap; András Dombi; Klára Hernádi ; Gábor Kovács; Virginia Danciu; Lucian Baia: *TiO₂ mikrokristályok alakjának finomhangolása különböző szénfajták segítségével*: XX. Nemzetközi Vegyészkonferencia; Kolozsvár, Románia (2014)
4. **Kása Zsolt** ; Pap Zsolt; Gábor Kovács; Székely István ; Kedves Zsolt ; Kata Saszet ; Hampel Boglárka ; Szilvia Fodor ; Zsejke-Réka Tóth ; Eszter Orbán et al.: *Nanoszerkezetű fotokatalizátorok és kompozitjaik - alakszobrászat és aktivitás*; XX. Nemzetközi Vegyészkonferencia; Kolozsvár, Románia (2014)
5. **Kása Zsolt**; Hernádi Klára; Zsolt Pap; András Dombi; Vajda Krisztina; Gábor Kovács; Virginia Danciu; Lucian Baia: *Különböző morfológiájú TiO₂ nanokristályok előállítás és fotokatalitikus aktivitásuk vizsgálata*: XX. Nemzetközi Vegyészkonferencia; Kolozsvár, Románia (2014)
6. **Kása Zsolt**; Kata Saszet; Zsolt Pap; Gábor Kovács; András Dombi; Klára Hernádi; Lucian Baia; Virginia Danciu: *Examination of the Photocatalytic*

Activity of Differently Shaped Bismuth Tungstate Microcrystals - Proceedings of the 21st International Symposium on Analytical and Environmental Problems; Szeged, Magyarország (2015)

7. **Kása Zsolt**; Kata Saszet; Zsolt Pap; Gábor Kovács; András Dombi; Klára Hernádi; Lucian Baia; Virginia Danciu: *The crystallization pathway and photocatalytic activity of Bi₂WO₆ microflowers*; EYEC monograph: 4th European Young Engineers Conference, Varsó, Lengyelország (2015)
8. **Kása Zsolt**; Hernádi Klára; Zsolt Pap; András Dombi; Krisztina Vajda; Lucian Baia; Virginia Danciu: *TiO₂ – C composite materials for photocatalytic applications*; 18th International Symposium in Intercalation Compounds Strasbourg Franciaország (2015)
9. **Kása Zsolt**; Kata Saszet; Zsolt Pap; Gábor Kovács; András Dombi; Klára Hernádi; Virginia Danciu; Lucian Baia: *Bizmut-volframát mikrokristályok alakjának finomhangolása és fotokatalitikus aktivitásának vizsgálata, [Morphological fine tuning of bismuth tungstate microcrystals and the evaluation of their photocatalytic activity]*; IV. Interdiszciplináris Doktorandusz Konferencia Pécs, Magyarország (2015)
10. **Kása Zsolt**; Kata Saszet; Zsolt Pap; Gábor Kovács; András Dombi; Klára Hernádi; Lucian Baia; Virginia Danciu: *Morphology controlled synthesis and characterization of Bi₂WO₆ photocatalysts with advanced visible light photocatalytic activity*; European Materials Research Society, Spring Meeting Lille, Franciaország (2015)
11. **Kása Zsolt**; Saszet Kata, Pap Zsolt; Kovács Gábor; Dombi András; Hernádi Klára; Baia Lucian; Virginia Danciu: *Examination of the Photocatalytic Activity of Differently Shaped Bismuth Tungstate Microcrystals*; The First International Conference on New Photocatalytic Materials for Environment Energy and Sustainability, Göttingen, Németország (2016)
12. **Kása Zsolt**; Kata Saszet; Zsolt Pap; András Dombi; Klára Hernádi; Lucian Baia: *Különböző funkciós csoportokkal rendelkező adalékanyagok hatása a bizmut-volframát tulajdonságaira és a fotokatalitikus aktivitására*; XXII. Nemzetközi Vegyészkonferencia; Temesvár, Románia (2016)
13. **Kása Zsolt**; Kata Saszet; Zsolt Pap; Gábor Kovács; András Dombi; Klára Hernádi; Lucian Baia; Virginia Danciu: *Különböző polaritású adalékanyaggal előállított nagy fotokatalitikus aktivitású bizmut-volframát előállítás és vizsgálata*; Proceedings of the 22nd International Symposium on Analytical and Environmental Problems, Szeged, Magyarország (2016)

14. Gyulavári Tamás és **Kása Zsolt**; Veréb Gábor; Saszet Kata; Pap Zsolt; Dombi András; Baia Lucian; Hernádi Klára: *Vízkezelés látható fényre aktív titán-dioxid és bizmut-volframát fotokatalizátorokkal*; Ötödik Környezetkémiai Szimpózium, Tihany, Magyarország (2016)
15. **Kása Zsolt**; Pap Zsolt; Dombi András; Hernádi Klára; Baia Lucian: *Synthesis of morphology controlled bismuth vanadate microcrystals and their photocatalytic activity – The effect of the matrix pH*; 5th European Conference on Environmental Applications of Advanced Oxidation Processes (EAAOP5); Prága, Csehország (2017)
16. **Kása Zsolt**; Bárdos Enikő; Pap Zsolt; Hernádi Klára; Baia Lucian: *Bizmut-oxid tartalmú vegyesoxidok előállítása és stabilitásának vizsgálata - Synthesis and stability investigations of bismuth oxide containing mixed oxides*; XXIII. Nemzetközi Vegyészkonferencia; Déva, Románia (2017)
17. **Kása Zsolt**; Pap Zsolt; Hernádi Klára; Baia Lucian: *Bizmut-vanadát fotokatalizátorok előállítása és stabilitásvizsgálata*; Proceedings of the 23rd International Symposium on Analytical and Environmental Problems; Szeged, Magyarország (2017)

TÁRSZERZŐS KONFERENCIARÉSZVÉTELEK

18. Pap Zsolt; Krisztina Vajda; Klára Hernadi; András Dombi; Zoltán Németh; Gábor Kovács; Virginia Danciu; Lucian Baia; **Zsolt Kása**; Teodora Radu: *Shaping of titania nanocrystals with carbon materials for photocatalytic applications – XXVIII. International Winterschool on Electronic Properties of Novel Materials*, Kirckberg, Ausztria (2014)
19. Pap Zsolt; Kovács Gábor; István Székely; Kedves Zsolt; Saszet Kata; Hampel Boglárka; Fodor Szilvia; Tóth Zsejke-Réka; Orbán Eszter; Kovács Zoltán; **Kása Zsolt** et al.: *Nano-sized photocatalysts and their composites – shape tailoring and activity*, Kolozsvár, Románia (2014)
20. Kedves Zsolt; Saszet Kata; Vajda Krisztina; **Kása Zsolt**; Kovács Gábor; Pap Zsolt; Dombi András; Hernádi Klára; Danciu Virginia; Vulpoi Adriana et al.: *Synthesis of differently shaped TiO₂ nanocrystallines with hidrothermal treatment and the analysis of their photocatalytic activity*; XX. Nemzetközi Vegyészkonferencia, Kolozsvár, Románia (2014)
21. Zsolt Pap; Gábor Kovács; Zsejke-Réka Tóth; Krisztina Vajda; Éva Karácsonyi; **Zsolt Kása**; Szilvia Fodor; Zsolt Endre Kedves; István Székely; Kata Saszet; et al.: *The Functioning Mechanism of Photocatalytic Systems from the Charge Transfer Point of View. “The Adventure of the Electron*, Csíksomlyó, Románia (2015)

22. Saszet Kata; **Kása Zsolt**; Gábor Kovács; Zsolt Pap; Danciu Virginia; Adriana Vulpoi; Klára Magyar; András Dombi; Klára Hernádi; Lucian Baia: *Bi₂WO₆ nanovirágok hidrotermális előállítási paramétereinek finomhangolása és alkalmazhatósági spektrumának vizsgálata*, XXI. Nemzetközi Vegyészkonferencia Csíksomlyó, Románia (2015)
23. Gábor Veréb; Tünde Alapi; Krisztina Schrantz; Krisztina Vajda; Gergő Simon; Éva Karácsonyi; Eszter Arany; Emese Szabó; Ákos Kmetykó; Erzsébet Illés; Károly Mogyorósi; Georgina Rózsa; Tamás Gyulavári; **Zsolt Kása**; Balázs Réti; Péter Berki; Zsolt Pap; Gábor Kovács; Virginia Danciu: *New challenges in water purification: Innovative methods for the elimination of oily contaminants pesticides and pharmaceuticals: Víz- és szennyvízkezelés az iparban: II. Soós Ernő Tudományos Konferencia, Nagykanizsa, Magyarország (2015) pp.*
24. Zsolt Pap; Szilvia Fodor; Tamás Gyulavári; Gábor Kovács; Zsejke-Réka Tóth; **Zsolt Kása**; Enikő Bárdos; Georgina Rózsa; Gergő Simon; Zsuzsanna Kozmér; et al.: *New nanocomposites and nanostructures in water cleaning: XXII. Nemzetközi Vegyészkonferencia, Temesvár, Románia (2016)*
25. Ravasz Alpár; Kedves Zsolt; **Kása Zsolt**; Kovács Gábor; Pap Zsolt; Magyar Klára; Hernádi Klára; Lucian Baia: *BiVO₄ „TiO₂ és WO₃ ternáris kompozitrendszerek előállítása és fotokatalitikus aktivitásának vizsgálata*, XXII. Nemzetközi Vegyészkonferencia Temesvár, Románia (2016)
26. Pap Zsolt; Fodor Szilvia; Gyulavári Tamás; Kovács Gábor; Tóth Zsejke; **Kása Zsolt**; Bárdos Enikő; Rózsa Georgina; Simon Gergő; Kozmér Zsuzsanna et al.: *New nanocomposites and nanostructures in water cleaning II.*, XXIII. Nemzetközi Vegyészkonferencia, Déva, Románia (2017)
27. K. Saszet; Zs. Kedves; Zs. Pap; **Zs. Kása**; G. Kovács ; V. Danciu; K. Magyar ; A. Dombi; K. Hernádi; L. Baia: *Study of photodegradation intermediated using specific TiO₂-based nanostructures*; 5th European Conference on Environmental Applications of Advanced Oxidation Processes (EAAOP5), Prága Csehország (2017)
28. Gábor Veréb; Krisztina Vajda; **Zsolt Kása**; Zsolt Kedves; Kata Saszet; Klára Hernádi; Zsolt Pap: *Preparation and characterisation of „TiO₂-C“ hybride materials*, European Conference on Environmental Applications of Advanced Oxidation Processes (EAAOP5), Prága, Csehország (2017)
29. Alpár Ravasz; Endre-Zsolt Kedves; **Zsolt Kása**; Lucian Baia; Zsolt Pap: *Hydrothermal synthesis and photocatalytic activity of ternary BiVO₄, TiO₂ and WO₃ composite systems*, European Conference on Environmental Applications of Advanced Oxidation Processes (EAAOP5), Prága, Csehország (2017)

Társszerzői lemondó nyilatkozat

Alulírott nyilatkozom, hogy **Kása Zsolt** „Bizmut-volframát és bizmut-vanadát alakformált fotokatalizátorok előállítása és alkalmazhatóságának vizsgálata” című Ph. D. értekezését ismerem, a tézisekben foglalt tudományos eredményeket tudományos fokozat megszerzéséhez nem használtam fel, s tudomásul veszem, hogy azokat ilyen célból a jövőben sem használom majd fel. Kijelentem, hogy a tézisekben, az értekezésben és a közösen publikált eredményekben **Kása Zsolt** szerepe meghatározó fontosságú volt.



Saszet Kata



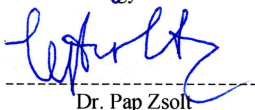
Dr. Dombi András



Dr. Hernádi Klára



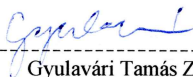
Dr. Magyar Klára



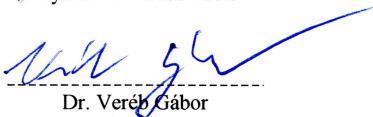
Dr. Pap Zsolt



Dr. Almási Enikő Eszter



Gyulavári Tamás Zsolt



Dr. Veréb Gábor



Dr. László Zsuzsanna