

EZÜST-TARTALMÚ ANYAGOK ELŐÁLLÍTÁSA, JELLEMZÉSE, AZOK STABILITÁSÁNAK ÉS FOTOKATALITIKUS AKTIVITÁSÁNAK VIZSGÁLATA

Doktori (Ph.D.) értekezés tézisei

TÓTH ZSEJKE-RÉKA

Témavezetők

Dr. Hernádi Klára, egyetemi tanár

Dr. Pap Zsolt, tudományos munkatárs



Kémia Doktori Iskola

Szegedi Tudományegyetem

Természettudományi és Informatikai Kar

Alkalmazott és Környezeti Kémiai Tanszék

Szeged

2021

1. Bevezetés és célkitűzés

A Föld lakossága az elmúlt 120 évben ötszörösére növekedett, így a víz- és élelemfogyasztás is ugrásszerűen megnövekedett. Ahhoz, hogy elegendő mennyiségű és minőségű víz álljon a rendelkezésünkre, a víztisztítási és kezelési technológiák is jelentősen hozzájárultak. Az 1950-es évek derekára azonban a hagyományos eljárások elavultnak bizonyultak. Áttörést jelentett a nagyhatékonyságú oxidációs eljárások elterjedése, melyek egyik legismertebb technológiája a heterogén fotokatalízis, melynek alapja egy félvezető, amely meghatározott hullámhosszúságú fényvel gerjeszthető.

Doktori munkám során célul tűztem ki félvezető Ag-vegyületek előállítását, jellemzését, fotokatalitikus aktivitásának és stabilitásának vizsgálatát. Különböző előállítási módszerek (szolvotermális, csapadékképző és kémiai redukcióval történő előállítási módszerek) és különböző paraméterek (kiindulási prekursorok és reakció körülmények) együttes hatását tanulmányoztuk. A kutatás egyik legfontosabb kérdése lett a félvezetők felületére kiváló Ag nanorészecskék keletkezésének vizsgálata akár a katalizátorszintézis, akár a fotokatalitikus reakció során és azok hatása félvezetők aktivitására és stabilitására. Céljaink között szerepelt három ezüsttartalmú katalizátorcsalád előállítása, jellemzése és fotokatalitikus aktivitásának a vizsgálata: ezüst-halogenidek, ezüst oxosavakkal alkotott sói, illetve a TiO_2 Ag-tartalmú nanorészecskékkel alkotott kompozitjai.

Vizsgálni kívántuk különböző alakformáló reagensek (anionos, kationos és nem-ionos polimer) és különböző halogenidforrások hatását a keletkező AgX fotokatalitikus aktivitására és stabilitására. Emellett tanulmányozni kívántuk a kiindulási anyag hatásának vizsgálatát az Ag_2CO_3 és Ag_3PO_4 keletkezésére. Előbbi esetben vizsgáltuk a szintézis hőmérsékletének, utóbbi esetben pedig a foszfátforrás koncentrációjának ($0,1 \leftrightarrow 0,2$ M) hatását. Az Ag/ TiO_2 kompozitok vizsgálata során tanulmányoztuk az Ag és a TiO_2 különböző kristályfázisainak egymásra gyakorolt hatását a kompozitok felületén kialakuló Ag/ Ag_xO megjelenésére.

2. Kísérleti módszerek és eljárások

Kísérleteim során ezüst vegyületeket állítottam elő különböző prekursorok felhasználásával. Az ezüst-halogenideket szolvotermálisan állítottam elő különböző típusú alakformáló ágensek (polivinilpirrolidon (PVP); cetil-trimetilammónium bromid (CTAB) és nátrium-dodecil-szulfát (SDS)) és különböző halogenid források (Cl^- esetében: H^+ ; Na^+ ; K^+ ; Br^- esetében: H^+ ; Li^+ ; Na^+ ; K^+ ; Rb^+ ; Cs^+ ; I^- esetében: Na^+ ; K^+) alkalmazásával. Az ezüst oxosavakkal alkotott sói esetében az előállított mintacsoport csapadékképző reakció alkalmazásával történt. Az Ag/TiO_2 kompozitoknál az Ag -tartalmú nanorészecskék előállításához szükséges kiindulási anyagokat a TiO_2 kompozithoz (rutil és anatáz) adagoltam. Az Ag nanorészecskéket NaBH_4 -del történő redukcióval állítottam elő.

A keletkező minták kristályosságát *Rigaku MiniFlex II* típusú por-röntgendiffraktométer (**XRD**) alkalmazásával határoztuk meg. A Scherrer egyenlet segítségével megállapítottuk az elsődleges krisztallitméreteket, továbbá vizsgáltuk a különböző Miller-indexű reflexiók intenzitásarányát.

A félvezetők morfológiai tulajdonságainak meghatározásához és a felületre kivált $\text{Ag}/\text{Ag}_x\text{O}$ nanorészecskék vizsgálatához pásztázó és transzmissziós elektronmikroszkópot (**SEM**: *Hitachi S-4700 Type II* és **TEM**: *FEI Technai G2 20 X-TWIN*) alkalmaztunk.

JASCO 6200 típusú infravörös spektrofotométert (**IR**) használtunk a minták felületére adszorbeálódott alakformáló reagens maradványok jelenlétének, a pirofoszfátok megjelenésének az Ag_3PO_4 mintákban és a fotokatalitikus reakcióban a reaktáns adszorpciójának követésére.

A felületi atomok oxidációs állapotának meghatározására egy *SPECS PHOIBOS 150 MCD* röntgen fotoelektron spektroszkópot (**XPS**) használtuk.

A minták optikai tulajdonságainak vizsgálatára egy *JASCO-V650* típusú UV-látható spektrofotométert alkalmaztunk, amelyhez egy *ILV-724* integratív modult kapcsolunk (**DRS**). Kiszámoltuk a felvett spektrumok elsőrendű

deriváltjait ($dR/d\lambda$), a különböző kristályfázis keverékek fényelnyelési képességeinek meghatározására. Vizsgáltuk továbbá az Ag részecskék lokalizált felületi plazmon rezonancia sávjainak és az Ag_2O karakterisztikus elnyeléseinek megjelenését. A Kubelka-Munk féle megközelítést felhasználva kiszámoltuk a minták tiltotsáv-szélesség értékeit.

JASCO LP-6500 spektrofluorimétert (epifluoreszcencia-tartozékkal: EFA 383 modul) alkalmaztunk a minták gerjeszthetőségének meghatározására 325 nm-es hullámhosszon.

A minták vízzel való kapcsolatát pedig *peremszög mérések* segítségével határoztuk meg; egy Dataphysics OCA 15EC típusú optikai nedvesítési peremszögmérőt alkalmaztunk.

A katalizátorok fotokatalitikus hatékonyságát metilnarancs, fenol vagy oxálsav vizes oldatának bontásával tanulmányoztuk. A fotokatalitikus mérést egy dupla falú üvegreaktorban végeztük, folyamatos kevertetés és termosztálás mellett 25 °C-on. A szuszpenzió töménysége minden esetben $1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ volt és az a teljes folyamat alatt levegővel buborékolattuk. A mérések során $6 \times 6 \text{ W}$ ($\lambda_{\text{max}} = 365 \text{ nm}$) UV és $4 \times 24 \text{ W}$ (DÜVI 25920/R7S, $\lambda_{\text{max}} = 545 \text{ nm}$) látható fénytartományú lámpákkal dolgoztunk. A fenol és oxálsav koncentrációjának csökkenését *Merck-Hitachi L-7100* nagyhatékonyságú folyadékkromatográf segítségével határoztuk meg és a metilnarancs koncentrációjának csökkenését pedig egy *Agilent 8453* spektrofotométert alkalmazva vizsgáltuk, 484 nm hullámhosszon.

A katalizátorokat felhasználás után újabb anyagszerkezeti vizsgálatoknak vetettük alá a szerkezeti stabilitásuk meghatározása céljából. A minták újrafelhasználhatóságának ellenőrzésére további fotokatalitikus tesztek végeztünk két módszert alkalmazva: a szekvenciális és a regenerált katalizátor módszerét.

3. Új tudományos eredmények

T1. Bizonyítottuk, hogy a halogenid forrás anionja hatással van az ezüst-halogenidek fotokatalitikus aktivitására és stabilitására

T1.1 Bizonyítottuk, hogy az ezüst-halogenidek fotokatalitikus aktivitása között egyértelmű sorrend állítható fel, annak ellenére, hogy viszonylag széles tartományban változtattuk a különböző halogenid-prekursorok (alkáli- és hidrogén-halogenidek), illetve különböző alakformáló ágensek alkalmazásával az ezüst-halogenidek szintézisét. Amíg az AgCl 0-33 % közötti hatékonysággal bontotta a metilnarancsot, addig az AgBr minták 44-92 % közötti konverziókat eredményeztek, az AgI mikrokristályok viszont nem mutattak fotokatalitikus aktivitást azonos körülmények között.

T1.2 Megállapítottuk, hogy az ezüst-halogenidek felületén kiváló Ag-tartalmú részecskék összetétele függ az AgX típusától, hiszen amíg az ezüst-klorid esetén már a szintézis során kialakul az Ag vagy Ag₂O, addig az ezüst-bromid esetében csak a fotokatalitikus folyamatok közben. Az AgI vizsgálatok pedig egyáltalán nem tapasztaltunk ilyen átalakulást. Továbbá megállapítottuk, hogy az AgI mikrokristályok szintézise minden esetben β -AgI és γ -AgI kompozitokat eredményezett.

T1.3 Feltártuk, hogy az AgBr és AgCl alkalmazhatósága kétséges a felületükön kivált egyéb Ag-tartalmú spécieszek gátló hatása miatt.

T2. Igazoltuk, hogy a szintézisben alkalmazott alakformáló ágens szabályozza az AgCl és AgBr morfológiáját és fotokatalitikus aktivitását

T2.1 Megállapítottuk, hogy a polivinilpirrolidonnal módosított minták fotokatalitikus aktivitása nagyobb, mint az ionos cetil-trimetil-ammónium bromid, illetve nátrium-dodecil-szulfát alakformálók hozzáadásával készülték, hiszen a PVP sorozat mintái rendelkeznek a legnagyobb bontási hatásokkal, függetlenül az ezüst-halogenid minőségétől. Ez utóbbi összefüggésbe hozható a

PVP módosító hatása következtében kialakult kisebb részecskemérettel és poliéderez morfológiával.

T2.2 Megállapítottuk, hogy a nátrium-dodecil-szulfáttal történő módosítás eredményeként a minták alacsonyabb vagy megegyező bontási hatékonysággal rendelkeznek, mint az alakformáló ágenst nem tartalmazó szintézisekben kapott ezüst-halogenidek, annak ellenére, hogy a nátrium-dodecil-szulfát alkalmazásával kezdetlegesen poliéderez részecskék nyerhetők.

T2.3 Bizonyítottuk, hogy a cetil-trimetil-ammónium bromid alkalmazásával előállított AgBr minták fotokatalitikus aktivitására hatással vannak az alkalmazott különböző alkálifém-bromidok. Kimutattuk, hogy az alkálifém só kation és a metilnarancs bontása során kapott konverzió értékek között vulkán görbe típusú összefüggés található a kationok növekvő mérete függvényében, amely a NaBr esetében mutat maximumot.

T2.4 Kimutattuk, hogy a szintézis során alkalmazott PVP mennyisége is hatással van az ezüst-halogenidek fotokatalitikus aktivitására. Ag:PVP= 1:1,63 molarány alkalmazásakor értünk el olyan módosítást, amely a leghatékonyabb mintákat eredményezi (az Ag:PVP arányban, a PVP a következő értékeket vette fel 0,27; 0,546; 1,09; 1,63; 2,18; 2,72 és 3,27 egységnyi ezüsthöz viszonyítva).

T3. Kimutattuk, hogy a halogénprekurzor só kationja indirekt módon is befolyásolja a keletkező anyag optikai tulajdonságait. A K^+ tartalmú sók – függetlenül mind az alkalmazott alakformáló ágenstől, mind az ezüst-halogenidről – megegyező tiltottsáv-szélesség értékeket eredményeztek

T4. Megállapítottuk, hogy az alkalmazott foszfátforrás és annak koncentrációja befolyásolja az előállított Ag_3PO_4 fotokatalitikus aktivitását és stabilitását

T4.1 Bebizonyítottuk, hogy NaH_2PO_4 prekursor alkalmazása, szemben a Na_2HPO_4 és $Na_3PO_4 \cdot 12 H_2O$ prekursorokéval ezüst-pirofoszfát ($Ag_4P_2O_7$)

megjelenését eredményezi, amely hozzájárulhat a minták alacsony fotokatalitikus aktivitásához.

T4.2 Igazoltuk, hogy az Ag_3PO_4 fotokatalitikus felhasználása során $\text{Ag}/\text{Ag}_x\text{O}$ nanorészecskék válnak ki a felületre, amelyek deaktiváló hatása csekélyebb az ezüst-halogenidek esetében tapasztaltnál. Az ismételt fotokatalitikus reakciókban az Ag_3PO_4 sokkal kisebb mértékű aktivitáscsökkenést mutatott, mint az AgBr .

T5. Bizonyítottuk, hogy a TiO_2 különböző kristályfázisai szabályozzák az Ag-tartalmú nanorészecskék minőségét és stabilitását

T5.1 Bizonyítottuk, hogy a titán-dioxid felületén az ezüsttel történő módosítás nyomán kialakuló $\text{Ag}/\text{Ag}_x\text{O}$ aránya befolyásolható a hordozó anatóz:rutil arányával. XPS, XRD és DRS alkalmazásával kimutattuk, hogy amíg az AgO az anatóz felületén, addig az Ag nanorészecskék a rutil felületén jelennek meg, függetlenül az alkalmazott TiO_2 kristályfázis arányoktól (AA:AR = 0:100, 10:90, 25:75, 50:50, 75:25, 90:10 és 100:0 m/m%).

T5.2 Megállapítottuk, az Ag-tartalmú kompozitok valamelyest hatékonyabbnak bizonyultak az oxálsav és fenol modellvegyületek bontásakor (UV fény megvilágítása mellett) a kereskedelmi TiO_2 kompozitokhoz viszonyítva, amennyiben azok anatóz és rutil kristályfázist együttesen tartalmaztak. Az Ag-tartalmú kompozitok esetében oxálsav bontása során 19-50 %-os konverziót értünk el, amíg a fenol bontásakor 36,7-50 % közötti értékeket, ezzel szemben a kereskedelmi kompozitok esetében az oxálsav bontásakor csak 6,8-24 %-os konverzió érték között helyezkedett el, és fenol esetében pedig 32,5-43 % közöttieket tapasztaltunk. Az 75% anatóz és 25% rutil összetételénél tapasztaltunk kiemelkedő aktivitást a fenol, de különösen az oxálsav fotokatalitikus bontásában.

T5.3 Kimutattuk továbbá, hogy a rutil felületén található Ag nanorészecskék az idő múlásával és a fotokatalitikus bontási kísérletet követően Ag_2O -dá alakulnak.

A rutil felületén átalakult Ag_2O nanorészecskék egy újabb fotokatalitikus folyamat után visszaalakulnak Ag nanorészecskévé. Az anatóz felületén levő AgO megőrzi kristályszerkezetét mind időben, mind pedig az oxálsav fotokatalitikus bontását követően.

4. Az eredmények hasznosíthatósága

Doktori munkám során sikeresen állítottam elő különböző típusú ezüst-tartalmú vegyületeket. Mintacsoportokonként meghatározott reakcióparaméterek hatását vizsgáltuk a keletkező kristályok aktivitására és stabilitására. A doktori munka során használt széleskörű vizsgálati módszerek eredményei bebizonyították, hogy az Ag-tartalmú mikrokristályok sok esetben tisztán előállíthatók. A keletkezett anyagok és kompozitok fotokatalitikus felhasználása látható és UV fény megvilágítása mellett széleskörű felhasználási lehetőséget ígér. Az anyagokat felhasználásukat követően is vizsgáltuk, és azt tapasztaltuk, hogy azok több esetben (AgCl , AgBr és Ag_2CO_3) elveszítik eredeti hatékonyságukat és átalakulást szenvednek a fotokatalitikus tesztek során, de önmagukban is átalakulást szenvedhetnek, ami befolyásolja alkalmazhatóságukat. Az AgI és az Ag_3PO_4 megőrzik stabilitásukat, így akár egyéb területeken is felhasználhatók. Az Ag_3PO_4 mindamelllett, hogy többször alkalmazható fotokatalizátor, felhasználásnak további előnye, hogy fény hatására $\text{Ag}/\text{Ag}_x\text{O}$ keletkezik a félvezető felületén, amely tovább növelheti annak hatékonyságát. Megállapítottuk, hogy meghatározott arányú, különböző kristályfázist tartalmazó titán-dioxidok felületén meghatározott arányú $\text{Ag}/\text{Ag}_x\text{O}$ keletkezik, amely a TiO_2 egy új típusú felhasználása is lehet.

5. Az értekezés alapjául szolgáló közlemények

Magyar Tudományos Művek Tára (MTMT) azonosító: 10062468

Az értekezés témájához tartozó közlemények:

[1] **Zs.-R. Tóth**, K. Hernadi, L. Baia, G. Kovács, Zs. Pap: *Controlled formation of Ag-Ag_xO nanoparticles on the surface of commercial TiO₂ based composites for enhanced photocatalytic degradation of oxalic acid and phenol*,

Catalysis Today, in press, 2020 (DOI: 10.1016/j.cattod.2020.06.051)

IF=5,825

[2] **Zs.-R. Tóth**, Zs. Pap, J. Kiss, L. Baia, T. Gyulavári, Zs. Czekes, M. Todea, K. Magyari, G. Kovács, K. Hernadi, *Shape tailoring of AgBr microstructures: effect of the cations of different bromide sources and the applied surfactants*,

RSC Advances, 2021, 11, 9709-9720 (DOI: 10.1039/D0RA09144H)

IF=3,119

[3] **Zs.-R. Tóth**, S. K. Maity, T. Gyulavári, E. Bárdos, L. Baia, G. Kovács, S. Garg, Zs. Pap, K. Hernadi, *Solvothermal crystallization of Ag@AgCl microcrystals: the effect of different chloride sources/shape-tailoring agents*,

Catalysts, 2021, 11(3), 379 (DOI: 10.3390/catal11030379)

IF=3,520

[4] **Zs.-R. Tóth**, D. Debreczeni, T. Gyulavári, I. Székely, M. Todea, G. Kovács, K. Magyar, L. Baia, Zs. Pap, K. Hernadi, *Rapid synthesis method of Ag₃PO₄ re-usable semiconductor*

kézirat előkészületben

$$\sum \text{IF} = 12,464$$

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

[1] Zs. Pap, **Zs. R. Tóth**, V. Danciu, L. Baia, G. Kovács, *Differently shaped Au nanoparticles: A case study on the enhancement of the photocatalytic activity of commercial TiO₂*,

Materials, 8 (2015) 162-180.

IF=2,788

[2] **Zs.-R. Tóth**, G. Kovács, K. Hernadi, L. Baia, Zs. Pap, *The investigation of the photocatalytic efficiency of spherical gold nanocages/TiO₂ and silver nanospheres/TiO₂ composites*,

Separation and Purification Technology 183 (2017) 216–225.

IF=3,927

[3] **Zs.-R. Tóth**, Zs. Pap, V. Danciu, V. Cosoveanu, L. Baia, G. Kovács, *Detailed investigation of phenol degradation on Au/TiO₂ composite materials*,

Journal of Nanoscience and Nanotechnology 19 (2019) 407-413.

IF=1,134

[4] K. Magyari, **Z. R. Tóth**, Zs. Pap, E. Licarete, D.C. Vodnar, M. Todea, T. Gyulavári, K. Hernadi, L. Baia, *The impact of copper oxide nanoparticles on the structure and applicability of bioactive glasses*,

Journal of Sol-Gel Science and Technology, 91 (2019) 634–643

IF=2,008

[5] A. Szabó, L. P. Bakos, D. Karajz, T. Gyulavári, **Zs.-R. Tóth**, Zs. Pap, I. M. Szilágyi, T. Igricz, B. Párditka, Z. Erdélyi, K. Hernadi, *Decoration of Vertically Aligned Carbon Nanotubes with Semiconductor Nanoparticles Using Atomic Layer Deposition*, Materials, 12 (2019) 1095

IF=3,057

[6] K. Magyari, Zs. Pap, **Z. R. Tóth**, Zs. Kása, E. Licarete, D. C. Vodnar, K. Hernadi L. Baia, *Insights into the effect of gold nanospheres, nanotriangles and spherical nanocages on the structural, morphological and biological properties of bioactive glasses*, Journal of Non-Crystalline Solids, 522 (2019) 119552

IF=2,929

[7] A. Feraru, **Zs.-R. Tóth**, K. Magyari, Zs. Pap, M. Todea, M. Mureşan-Pop, D.C. Vodnar, E. Licarete, K. Hernadi, L. Baia, *Composites based on silicate bioactive glasses and silver iodide microcrystals for tissue engineering applications*, Journal of Non-Crystalline Solids, 547 (2020) 120293

IF=2,929

[8] A. Szabó, T. Gyulavári, **Zs.-R. Tóth**, Zs. Pápa, J. Budai, K. Hernadi, *The effect of various substrates and catalyst layer deposition on the incorporation of nitrogen into carbon nanotube forest structures*,

Thin Solid Films, 709 (2020) 138194

IF=2,03

[9] A. Dreanca, M. Muresan-Pop, M. Taulescu, **Zs.-R. Tóth**, S. Bogdan, C. Pestean, S. Oren, C. Toma, A. Popescu, E. Páll, B. Sevastre, L. Baia, K. Magyari, *Bioactive glass-biopolymers-gold nanoparticle based composites for tissue engineering application*, Materials Science & Engineering C, 123, 112006

IF=5,880

[10] A. Szabó, L. Nánai, **Zs. R. Tóth**, K. Hernadi, *Simplification of the CCVD method used in the growth of carbon nanotube forests on titanium substrate*, Solid State Sciences, in press, <https://doi.org/10.1016/j.solidstatesciences.2021.106648>

IF=2,434

[11] Z. Kovács, Cs. Molnár, T. Gyulavári, K. Magyari, **Zs. Toth**, L. Baia; K. Hernadi, Zs. Pap, *Solvothermal synthesis of ZnO spheres: tuning the structure and morphology from nano- to micro-meter range and its impact on their photocatalytic activity*, Catalysis Today,

benyújtott kézirat

IF=5,825

$$\sum \text{IF} = 29,116$$

$$\sum \sum_{\text{össz}} \text{IF} = 41,58$$

$$\sum \text{Idézetttség} = 31 \text{ (független 15)}$$

Nemzetközi és hazai konferencia-részvételek

- [1] **Tóth Zsejke Réka**, Kovács Gábor, Pap Zsolt, Danciu Virginia, Vulpoi Adriana, Magyari Klára, Dombi András, Hernádi Klára, Baia Lucian: *Különböző formájú arany nanorészecskék hatása kereskedelmi fotokatalizátorok aktivitására*
XIX. Nemzetközi Vegyészkonferencia, Nagybánya, Románia (2013) – magyar nyelvű poszter
- [2] **Tóth Zsejke Réka**: *Különböző alakú arany nanorészecskék hatása kereskedelmi fotokatalizátorok aktivitására*
XVII. Erdélyi Tudományos Diákköri Konferencia,
Kolozsvár, Románia (2014) – Dicséret – magyar nyelvű előadás
- [3] **Tóth Zsejke Réka**, Kovács Gábor, Pap Zsolt, Virginia Danciu, Dombi András, Hernádi Klára, Lucian Baia: *Kereskedelmi TiO₂ és különböző alakú arany nanorészecskék által alkotott kompozitok fotokatalitikus aktivitása modell szennyezők lebontására és a keletkező közti-termékek vizsgálata*
XX. Nemzetközi Vegyészkonferencia, Kolozsvár, Románia (2014) – magyar nyelvű poszter
- [4] **Tóth Zsejke-Réka**: *Különböző alakú arany nanorészecskék hatása kereskedelmi fotokatalizátorok aktivitására*
XXXII. Országos Tudományos Diákköri Konferencia, Kémiai és Vegyipari Szekció, Veszprém, Magyarország (2015) – magyar nyelvű előadás
- [5] **Tóth Zsejke Réka**, Kovács Gábor, Pap Zsolt, Virginia Danciu, Dombi András, Hernádi Klára, Lucian Baia: *Kereskedelmi TiO₂ és különböző alakú arany és ezüst nanorészecskék által alkotott kompozitok fotokatalitikus aktivitásának vizsgálata*
XXI. Nemzetközi Vegyészkonferencia, Csíksomlyó, Románia (2015) – magyar nyelvű poszter
- [6] **Tóth Zsejke-Réka**: *The influence of Ag and Au nanoparticles shapes on the activity of commercial TiO₂ photocatalysts*
13th International Conference „Student for Students”
Kolozsvár, Románia (2016) – angol nyelvű előadás
- [7] **Tóth Zsejke Réka**: *Au- és Ag-TiO₂ nanokompozitok fotokatalitikus hatékonyságának vizsgálata*
XIX. Erdélyi Tudományos Diákköri Konferencia,
Kolozsvár, Románia (2016) – Dicséret – magyar nyelvű előadás
- [8] **Tóth Zsejke-Réka**, Pap Zsolt, Hernádi Klára, Baia Lucian, Kovács Gábor
Kereskedelmi TiO₂ fotokatalizátorok, arany nanoketrecékkel való módosítása és aktivitására való hatása
22nd International Symposium on Analytical and Environmental Problems
Szeged, Magyarország (2016) – magyar nyelvű poszter
- [9] Fodor Szilvia & **Tóth Zsejke-Réka**, Pap Zsolt, Hernádi Klára, Kovács Gábor, Baia Lucian:
Különböző geometriájú nemesfém nanorészecskékkel módosított TiO₂ fotokatalizátorok hatása fenol bontásában
V. Környezetkémiai Szimpózium, Tihany, Magyarország (2016) – magyar nyelvű előadás
- [10] **Tóth Zsejke-Réka**, Pap Zsolt, Hernádi Klára, Baia Lucian, Kovács Gábor:

Nemesfém/TiO₂ kompozitok alkalmazása szerves szennyezők lebontására és fotokatalitikus H₂ fejlesztésre

XXII. Nemzetközi Vegyészkonferencia, Temesvár, Románia (2016) – magyar nyelvű előadás

[11] **Tóth Zsejke-Réka**, Pap Zsolt, Hernádi Klára, Lucian Baia, Kovács Gábor: *TiO₂ aktivitásának befolyásolása Au és Ag nanorészecskékkel és a keletkezett kompozitok fotokatalitikus aktivitásának vizsgálata*

XV. Erdélyi Természettudományi Konferencia

Kolozsvár, Románia (2016) – magyar nyelvű poszter

[12] **Zsejke-Réka Tóth**, Péter-Szabó Márk, Klára Hernádi, Lucian Baia, Zsolt Pap

Synthesis and photocatalytic activity of silver-halide nanoparticles

5th European Conference on Environmental Applications of Advanced Oxidation Processes

Pága, Csehország (2017) – angol nyelvű poszter

[13] Eszter Orbán, **Zsejke-Réka Tóth**, Zsolt Pap, Gábor Kovács, Klára Hernádi, Virginia Danciu, Lucian Baia: *Application of TiO₂/WO₃ composites in the photocatalytic degradation of dye molecules*

5th European Conference on Environmental Applications of Advanced Oxidation Processes

Pága, Csehország (2017) – angol nyelvű poszter

[14] **Tóth Zsejke-Réka**, Pap Zsolt, Hernádi Klára, Lucian Baia, Kovács Gábor: *Ezüst-halogenid (AgX, X=Cl⁻, Br⁻) látható fényben aktív fotokatalizátorok előállítás, jellemzése és alkalmazása modellszennyezők lebontására*

XXIII. Nemzetközi Vegyészkonferencia, Déva, Románia (2017) – magyar nyelvű előadás

[15] Kovács Zoltán & **Tóth Zsejke-Réka**, Pap Zsolt, Hernádi Klára, Lucian Baia, Kovács Gábor: *AgBr/ZnO fotokatalizátorok jellemzése és fotokatalitikus aktivitásának vizsgálata*

XXIII. Nemzetközi Vegyészkonferencia, Déva, Románia (2017) – magyar nyelvű poszter

[16] **Zsejke-Réka Tóth**, Gábor Kovács, Lucian Baia, Zsolt Pap, Klára Hernádi: *Synthesis, characterization and photocatalytic activity of spherical gold nanocages/TiO₂ and silver nanospheres/TiO₂ composites*

3rd International Symposium on Nanoparticles/Nanomaterials and Applications,

Caprica, Portugália (2018) – angol nyelvű poszter

[17] **Tóth Zsejke-Réka**

Metilnarancs színezék bontása látható fényben aktív Ag alapú katalizátorok felhasználásával

Interdiszciplinaritás a Kárpát – Medencében ELTE MÁSZ PhD-konferencia,

Debrecen, Magyarország (2018) – magyar nyelvű előadás

[18] **Zsejke-Réka Tóth**, János Kiss, Klára Hernádi, Lucian Baia, Gábor Kovács, Enikő Eszter Almási, Zsolt Pap: *Stability investigations of AgBr photoactive materials*

II. Sustainable Raw Materials International Project Week and Scientific Conference,

Szeged, Magyarország (2019) – angol nyelvű előadás

[19] **Zsejke-Réka Tóth**, Zsolt Pap, Emilia Licarete, Klára Hernádi, Lucian Baia, Klára Magyar: *Effect of differently shaped gold nanoparticles on the bioactive glasses*

30th Annual Conference of the European Society for Biomaterials,

Drezda, Németország (2019) – angol nyelvű poszter

[20] **Zsejke-Réka Tóth**, Alexandra Feraru, Zsolt Pap, Milica Todea, Dan C. Vodnar, Klára Hernádi, Lucian Baia, Klára Magyarai: *Optimization of the synthesis of noble metal-based microcrystals and applicability studies bioactive glass-based composites*

30th Annual Conference of the European Society for Biomaterials

Drezda, Németország (2019) – angol nyelvű poszter

[21] **Tóth Zsejke-Réka**, Debreczeni Diána, Pap Zsolt, Hernádi Klára, Milica Todea, Dan. C. Vodnar, Lucian Baia, Magyarai Klára: *Ag₃PO₄ tartalmú bioaktív üveg kompozitok előállítása, jellemzése és antibakteriális hatásának a vizsgálata*

XXVI. Nemzetközi Vegyészkonferencia, online (2020) – magyar nyelvű előadás

Nemzetközi és hazai konferencia-részvételek társszerzőként:

[1] Szilvia Fodor, **Zsejke Réka Tóth**, Zsolt Pap, Lucian Baia, Virginia Danciu, Adriana Vulpoi, Klára Magyarai, András Dombi, Klára Hernádi, Gábor Kovács: *The influence of Pt/Au nanoparticles' shape on activity of commercial TiO₂ photocatalysts*

European Materials Research Society Spring Meeting, Lille, Franciaország (2014) – angol nyelvű poszter

[2] Kovács Gábor, **Tóth Zsejke Réka**, Fodor Szilvia, Pap Zsolt, Danciu Virginia, Dombi András, Hernádi Klára, Baia Lucian: *Differently shaped Pt/Au nanoparticles: activity enhancement of commercial TiO₂ photocatalysts*

8th European Meeting on Solar Chemistry and Photocatalysis: Environmental Applications – Thessaloniki, Görögország (2014) – angol nyelvű poszter

[3] Pap Zsolt, Kovács Gábor, Székely István, Kedves Zsolt, Saszet Kata, Hampel Boglárka, Fodor Szilvia, Orbán Eszter, Kovács Zoltán, Hernádi Klára, Dombi András, Kása Zsolt, **Tóth Zsejke-Réka**, Vajda Krisztina, Karácsony Éva, Virginia Danciu, Adriana Vulpoi, Veronica Coşoveanu, Lucian Baia: *Nano-sized photocatalysts and their composites – shape tailoring and activity*

XX. Nemzetközi Vegyészkonferencia, Kolozsvár, Románia (2014) – magyar nyelvű előadás

[4] Pap Zsolt, Kovács Gábor, **Tóth Zsejke-Réka et al.**: *The Functioning Mechanism of Photocatalytic Systems from the Charge Transfer Point of View. "The Adventure of the Electron"*

XXI. Nemzetközi Vegyészkonferencia, Csíksomlyó, Románia (2015) – magyar nyelvű előadás

[5] Pap Zsolt, Fodor Szilvia, Gyulavári Tamás, Kovács Gábor, **Tóth Zsejke-Réka, et al.**

Új nanokompozitok és nanoszerkezetek a víztisztításban

XXII. Nemzetközi Vegyészkonferencia, Temesvár, Románia (2016) – magyar nyelvű előadás

[6] Péter-Szabó Márk, **Tóth Zsejke-Réka**, Pap Zsolt, Hernádi Klára, Kovács Gábor: *Ezüst-bromidok előállítása és fotokatalitikus aktivitásának vizsgálata*

XXIII. Nemzetközi Vegyészkonferencia, Déva, Románia (2017) – magyar nyelvű poszter

[7] Gombkötő Dániel, **Tóth Zsejke-Réka**, Pap Zsolt, Hernádi Klára, Kovács Gábor, Szöllősi György: *Au-Laponit-alapú kompozitok előállítása, szerkezeti és morfológiai vizsgálata*

XXIII. Nemzetközi Vegyészkonferencia, Déva, Románia (2017) – magyar nyelvű poszter

[8] Magyar Klára, Nagy-Simon Tímea, **Tóth Zsejke-Réka**, Pap Zsolt, Adriana Vulpoi, Emilia Licarete, Radu A. Popescu, Hernádi Klára, Lucian Baia: *Bioaktív üveg-arany nanorészecske kompozitok biokompatibilitási teljesítménye*

XXIII. Nemzetközi Vegyészkonferencia, Déva, Románia (2017) – magyar nyelvű előadás

[9] **Tóth Zsejke-Réka**, Kovács Gábor, Pap Zsolt, Hernádi Klára: *Ezüst-halogenid (AgX, X=Cl, Br, I) látható fényben aktív fotokatalizátorok stabilitásának a vizsgálata*

XXIV. Nemzetközi Vegyészkonferencia,

Szovátafürdő, Románia (2018) – magyar nyelvű poszter

[10] Kiss János, **Tóth Zsejke-Réka**, Kovács Gábor, Pap Zsolt, Hernádi Klára: *AgBr fotokatalizátorok alkalmazhatósága és szerkezetének befolyásolása*

XXIV. Nemzetközi Vegyészkonferencia,

Szovátafürdő, Románia (2018) – magyar nyelvű poszter

[11] Magyar Klára, Radu A. Popescu, Pap Zsolt, Kása Zsolt, **Tóth Zsejke-Réka**, *et al.*: *Csontszövet regenerálódása réz tartalmú bioaktív üvegek felhasználásával*

XXIV. Nemzetközi Vegyészkonferencia, Szovátafürdő, Románia (2018) – magyar nyelvű előadás

[12] Ravasz Alpár, Kedves Endre-Zsolt, **Tóth Zsejke-Réka**, Bárdos Enikő, Fodor Szilvia, Kovács Zoltán, Pap Zsolt, Hernádi Klára, Lucian Baia: *MoO₃ hatása az AgBr, BiOI, Cu₂O és ZnO fotokatalizátorok aktivitására*

XXIV. Nemzetközi Vegyészkonferencia, Szovátafürdő, Románia (2018) – magyar nyelvű poszter

[13] **Tóth Zsejke-Réka**, Lucian C. Pop, Pap Zsolt, Hernádi Klára, Lucian Baia: *The synthesis and characterization of bioactive-glass composites with differently shaped gold nanoparticles*

XXIV. Nemzetközi Vegyészkonferencia, Szovátafürdő, Románia (2018) – angol nyelvű poszter

[14] Saurav Kumar Maity, **Zsejke-Réka Tóth**, Gábor Kovács, Zsolt Pap, Klára Hernádi, Seema Garg: *Synthesis, characterization and photocatalytic activity of Ag-based photocatalyst*
16th International Conference “Students for Students”,

Kolozsvár, Románia (2019) – angol nyelvű előadás

[15] Alpár Ravasz, Endre-Zsolt Kedves, **Zsejke-Réka Tóth**, Enikő Bárdos, Szilvia Fodor, Zoltán Kovács, Zsolt Pap, Klára Hernádi, Lucian Baia: *Photocatalytic investigation of AgBr, BiOI, Cu₂O and ZnO semiconductors' binary composites with orthorhombic MoO₃*

6th European Conference on Environmental Applications of Advanced Oxidation Processes
Portorož, Szlovénia (2019) – angol nyelvű poszter

[16] **Zsejke Réka Tóth**, Klára Hernádi, Lucian Baia, Gábor Kovács, Zsolt Pap: *Formation of Ag-AgO nanoparticles on the surface of commercial TiO₂*

6th European Conference on Environmental Applications of Advanced Oxidation Processes
Portorož, Szlovénia (2019) – angol nyelvű poszter

- [17] Alexandra I. Dreanca, Marieta Muresan- Pop, **Zsejke Réka Toth**, Eموke Pall, Bogdan Sevastre, Marian Taulescu, Sidonia Bogdan, Dan C. Vodnar, Lucian Baia, Klara Magyari: *Alginate-pullulan-glass composites with gold nanoparticles content-one step forward for tissue engineering applications*
30th Annual Conference of the European Society for Biomaterials
Drezda, Németország (2019) – angol nyelvű poszter
- [18] Magyari Klára, **Tóth Zsejke-Réka et al.**: *Arany nanorészecskéket tartalmazó bioaktív üveg – biopolimér kompozítok előállítása, jellemzése és alkalmazhatósága*,
XXVI. Nemzetközi Vegyészkonferencia, online (2020) – magyar nyelvű előadás
- [19] **Tóth Zsejke Réka**, Debreczeni Diána, Kiss János, Hernádi Klára, Pap Zsolt, Kovács Gábor: *Ag-alapú fotoaktív anyagok előállítása, jellemzése és alkalmazhatósági vizsgálata*,
XXVI. Nemzetközi Vegyészkonferencia, online (2020) – magyar nyelvű előadás
- [20] Anna Szabó, Lilla Nánai, **Zsejke-Réka Tóth**, Klára Hernádi, *Production of CNT forests by a simple layer building method on a conductive substrate*,
26th International Symposium on Analytical and Environmental Problems, online (2020) – angol nyelvű előadás