

**Bizmut-oxohalogenidek előállítása, vizsgálata és
alkalmazhatóságuk látható fényben aktív
fotokatalizátorként**

Ph. D. értekezés

Bárdos Enikő

Témavezetők:

Dr. Hernádi Klára

Dr. Pap Zsolt

Környezettudományi Doktori Iskola



2021

1. Bevezetés

A jelen és a közeljövő egyik legnagyobb társadalmi, gazdasági és tudományos kihívásai közé tartozik a környezetvédelmi és a globális klímaváltozás során kialakult problémák megoldása, köztük az egyik legfontosabb az emberi fogyasztásra alkalmas ivóvíz előállítása és az ipar által kibocsátott szennyvizek tisztítása úgy, hogy azok a környezetre és az emberi egészségre ártalmatlanok legyenek. Jelenleg is rendelkezésünkre állnak különböző jogszabályi határértékek, amelyek betartásával igyekeznek szabályozni a szennyezőanyagok emisszióját, ám ezek közel sem elégségesek sem a fejlett, sem a fejlődő országokban.

Az elmúlt évtizedekben a hagyományos víztisztítási eljárások mellett teret kapott az alternatív eljárások kutatása és fejlesztése, hiszen vizeinkben egyre nagyobb koncentrációban fordulnak elő nehezen lebomló gyógyszermaradványok, textilipari festékek és a mezőgazdaságban használt peszticidek és herbicidek. Az egyik ilyen alternatív megoldás lehet az ún. "nagyhatékonyságú oxidációs eljárások", amelyek közé tartoznak azok a módszerek, amelyek különböző redoxi reakciókat kihasználva bontják le a szerves szennyezőanyagokat kevésbé mérgező vegyületekké, lehetőleg vízzé és szén-dioxiddá. Ezen folyamatok közé tartozik a heterogén fotokatalízis is, amely során egy félvezető katalizátort megfelelő hullámhosszúságú fényel gerjesztve képesek a vízben lévő szennyezőanyagokat bontani. A legismertebb félvezető fotokatalizátor a titán-dioxid (TiO_2), de a tudományos érdeklődés már régóta olyan félvezetők felé is fordul, mint például a bizmut-oxohalogenidek (BiOX , $\text{X} = \text{Cl}, \text{Br}, \text{I}$), amelyek nemcsak az UV, hanem a látható fény tartományát is kihasználva hatékonyan távolítanak el szerves szennyezőket. Ezek előnye, hogy az előállítást követően nem igényelnek további átalakításokat és nemcsak látható fényű világító berendezésekkel gerjeszthetőek, hanem napfényel is, így a bontási reakciókhoz szükséges energiát természetes úton is biztosíthatjuk, ami nagy mértékben csökkentheti az üzemeltetéshez szükséges költségeket.

2. Célkitűzés

Doktori tanulmányaim során a Dr. Hernádi Klára és Dr. Pap Zsolt által vezetett Környezetkémiai Kutatócsoport munkájához csatlakoztam, azon belül is a Magyar-Indiai TÉT pályázat (TÉT_15_IN-1-2016-0013) témájában folytattam kutatói munkámat. A BiOX anyagok látható fényben is aktív fotokatalizátorok, így céljaim között szerepelt az ilyen típusú anyagok előállítása és a szolvotermális kristályosítás során alkalmazott paraméterek hatásának vizsgálata. Az előállítás során etilén-glikolt, bizmut-nitrát pentahidrátot ($\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) és kálium-halogenideket használtam. Doktori disszertációm fő céljainak a következőket tűztem ki:

C1: Vizsgáltam a **szolvotermális kristályosítás paramétereinek** (hőmérséklet és idő) **hatását a BiOCl, BiOBr és BiOI félvezetők fizikai és kémiai tulajdonságaira**, morfológiájára és fotokatalitikus aktivitására. Ennek jegyében kívántam a fotokatalitikus aktivitásnak leginkább kedvező hőmérsékletet és időt megtalálni több paraméter közül (120 °C, 140 °C és 160 °C; 3 h, 24 h, 48 h).

C2: Az **adalékanyagok hatását** terveztem **vizsgálni a BiOCl, BiOBr és BiOI félvezetők fizikai és kémiai tulajdonságaira**, valamint a fotokatalitikus hatékonyságra. Ennek érdekében az szakirodalomban leggyakrabban előforduló adalékanyagokat választottam (CTAB, CTAC, SDS, PVP, U és TU), és tanulmányozni kívántam ezen adalékanyagok hatását a szintézis oldat felületi feszültségére és annak jelentőségét az előállított katalizátor morfológiai, szerkezeti, optikai és fotokatalitikus tulajdonságainak kialakulásában.

C3: Céljaim között szerepelt a **BiOCl, BiOBr és BiOI környezetre gyakorolt hatásának vizsgálata** is, amely során figyelembe vettem, hogy ipari alkalmazás során ezek a katalizátorok hogyan juthatnak ki a környezetbe és ott akkumulálódhatnak vagy felhígulhatnak. Ezen megfontolásoktól vezérelve egy vízi és egy szárazföldi növényfajt (Apró békalencse – *Lemna minor*, Kerti zsázsa – *Lepidium Sativum*), valamint egy szárazföldi hangyafajt (Kis erdei vöröshangya

– *Formica polyctena*) választottam, mint indikátorok. Továbbá a tápoldatok koncentrációit is úgy választottam meg, hogy figyelembe vettem az erre vonatkozó és elfogadott kísérleti irányelveket, valamint az akkumulációt és felhígulást is.

3. Kísérleti módszerek

Röntgendiffraktometria (XRD): Az elkészült minták kristályosságáról és tisztaságáról röntgendiffraktogrametriás méréssel bizonyosodtunk meg, amelyet egy Rigaku MiniFlex II készülékkel vettünk fel a 20-40 $2\theta^\circ$ tartományban. A kísérleti paraméterek a következők voltak: $\lambda_{\text{Cu-K}\alpha} = 0.15406$ nm, 40 kV, 30 mA, grafit monokromátor. A röntgendiffraktogramok alapján kiszámoltuk a primer krisztallitméretet a Scherrer-egyenlet segítségével.

Pásztázó- és transzmissziós elektronmikroszkópia (SEM): A félvezető katalizátorok morfológiájáról egy Hitachi S-4700 II-es típusú pásztázó elektronmikroszkóppal bizonyosodtunk meg 10 kV gyorsítófeszültséget használva, valamint az anyagok további jellemzéséhez FEI Technai G2 X-TWIN TEM (200 kV) transzmissziós elektronmikroszkópot használtunk.

Diffúz reflexiós spektroszkópia (DRS): A katalizátorok tiltottsáv szélességét ILV-724 DRS modullal felszerelt, JASCO-V650 típusú spektrofotométerrel mértük a 250 és 800 nm hullámhosszak között, 0,5 nm-es felbontással. A kapott diffúz UV-Vis spektrumokból a Kubelka-Munk összefüggéssel kiszámoltuk a tiltottsáv szélesség értékeit, valamint alkalmaztuk a Tauc plot ábrázolást.

N₂ adszorpció: A minták fajlagos felületének meghatározásához nitrogén adszorpciót alkalmaztunk -195.8 °C-on egy BELCAT-A típusú készülék segítségével, majd a Brunnauer-Emmett-Teller izoterma egyenlet alapján határoztuk meg az anyagok fajlagos felületét.

Röntgen-fotoelektron spektroszkópia (XPS): Egyes mintákat felületi elemanalitikai eljárásoknak vetettünk alá, melyhez egy SPECS PHOIBOS 150

MCD röntgenfotoelektron spektroszkópot használtunk a következő mérési paraméterek mellett: Al K α =1486,69 eV, 14 kV, 20 mA, P<10⁻⁹ mbar. A mintákat kétoldalú szénszalag segítségével rögzítettük. A nagyfelbontású spektrumok 0,05 eV felbontással készültek, amelyek kiértékelése a CasaXPS nevű programmal történt.

A felületi feszültség meghatározása: Az anyagok felületi feszültségét egy 3,5 cm³-es sztalagmométerrel, a szintézis oldatok sűrűségét pedig egy 10 cm³-es piknométerrel határoztuk meg.

Raman spektroszkópia: A méréseket egy Thermo Scientific DXR Raman mikroszkóppal készítettük el 532 nm-es lézer alkalmazásával (10 mW). A mintákról „dark field” módban pásztáztuk végig a minta felszínét egy 5×5-ös területen egy 50 μ m-es lyukon keresztül automatikus expozíció beállításban.

4. Fotokatalitikus aktivitás tesztek

A BiOX félvezetők fotokatalitikus aktivitását modell szennyezőanyagok (metilnarancs, rodamin B, fenol) vizes oldatának bontásában határoztuk meg az erre kialakított fotokatalitikus reaktorokban. Az UV bontások során 6 db 6 W-os UV lámpa ($\lambda_{\max} \approx 365$ nm), a látható fényű reakció során 4 db 24 W-os lámpa ($\lambda < 400$ nm) helyezkedik el körbe a Pyrex üvegből készült duplaköpenyes reaktor körül. A duplaköpenyre azért is van szükség mert UV fénnel való bontás során a hőmérsékletszabályozás végett 25 °C-os vizet keringtetünk. A látható fény jelenlétében történő bontás során 1 M-os NaNO₂ (nátrium-nitritet) keringtetünk, nemcsak a hőmérséklet és párolgás szabályozása miatt, hanem hogy kizárólag csak látható fény jusson a reaktorba. A fotokatalitikus bontásokhoz 1 g/L-es szuszpenzió koncentrációt alkalmaztunk folyamatos kevertetés és levegőztetés közben. A folyadék minták koncentrációját és ezzel együtt a bontási hatékonyságot UV-Vis spektrofotométerrel, vagy HPLC-vel követtük nyomon.

5. Új tudományos eredmények tézisekben összefoglalt bemutatása

T.1. Bizonyítottuk, hogy alacsonyabb hőmérséklet és rövidebb kristályosítási idő kedvező a jobb hatékonyságú BiOX katalizátorok előállításához.

1.1. A szolvotermális kristályosítási kezelés hőmérsékletének szisztematikus változtatásával különböző részecskeméretű BiOX mikrorészecskéket állítottam elő. Megállapítottuk, hogy a hőmérséklet növelése a hierarchikus és a primer részecskeméret növekedését okozta, vagyis az alacsony hőmérsékleten (120 °C) előállított mintáknak volt a legkisebb részecskeméretük és a legmagasabb fotokatalitikus hatékonyságuk.

1.2. A szolvotermális kristályosítás idejének növekedésével nőtt az elsődleges és a hierarchikus részecskeméret, valamint a fajlagos felület csökkent vagy egyáltalán nem változott. A nagy fajlagos felület előnyös a fotokatalitikus bontási folyamatokhoz, hiszen növekedhet az aktív centrumok száma is. A rövid (3 óra) kristályosítási idők alatt előállított BiOI félvezető érte el a legmagasabb hatékonyságot metilnarancs színezőanyag bontásával szemben. A szennyező 77,9 %-át távolította el UV és 84,1%-át pedig látható fényű megvilágítást használva.

1.3 Igazoltuk, hogy a magasabb hőmérséklet kedvez a fémes bizmut kialakulásának, ugyanakkor nagyobb mennyiségben hátrányos a fotokatalitikus reakciókhoz. A fémkiválás magasabb kristályosítási hőmérsékleten (160 °C-on) előállított minták esetében volt tapasztalható. Az ezüsttükör próbával bizonyítottuk a szintézis oldatból, hogy az etilén-glikol oxidálódott karbonsavakká és aldehidekké, eközben fémes bizmut redukálódott ki. Megállapítottuk, hogy a kivált fémes bizmut magas mennyisége miatt negatívan hatott a fotokatalitikus aktivitásra a rekombináció elősegítése révén.

T.2. Kimutattuk, hogy a szintézis oldat felületi feszültsége nagymértékben befolyásolja a kialakult BiOX anyagok kristálytani, morfológiai, optikai és fotokatalitikus tulajdonságait. A szintézis oldatok felületi feszültségének hatása az előbb említett tulajdonságokra az elektronegativitással és ionmérettel csökken.

2.1. A különböző adalékanyagok hozzáadásával előállított BiOCl és BiOBr szintézis oldatok felületi feszültségének növekedésével a hierarchikus részecskeméret lecsökkent és a fajlagos felület növekedett. Továbbá, mindkét esetben, ha karbamidot használtunk adalékanyagként, akkor kocka alakú hierarchikus kristályrendszerek jelenlétét igazoltuk. Bizonyítottuk, hogy a szintézis oldat felületi feszültségének változtatása a BiOCl-ra volt a legnagyobb hatással, a BiOBr-nál már csökkent ez a hatás és a BiOI félvezető esetén pedig nem találtunk összefüggést.

2.2. Megállapítottuk, hogy az adalékanyagokkal előállított BiOCl, BiOBr és BiOI félvezetők magasabb vagy legalább nakkora fotokatalitikus hatékonyságot értek el UV és látható fényvel való szennyező bontásában, mint az adalékanyag nélkül kristályosított változatuk. Ezzel bebizonyítottuk, hogy az adalékanyagok olyan anyagi tulajdonságok kialakulását kedvezményezik, amik előnyösek a fotokatalitikus aktivitás szempontjából (kisebb hierarchikus és elsődleges kristallitméret, nagyobb fajlagos felület).

2.3. Igazoltuk, hogy az adalékanyagok nemcsak a részecskeméretre és a fajlagos felületre, hanem a kialakult felületi kristálytani hibákra is hatással voltak. A BiOCl esetén Raman spektroszkópiával bizonyítottuk be a [Bi - * - Bi] klaszterek kialakulását, amit az XPS mérések is alátámasztottak. A BiOBr félvezetőnél szintén XPS méréssel mutattuk ki a Bi⁴⁺ és a Bi⁵⁺ megjelenését. A BiOI esetén

nem találtunk semmilyen felületi összefüggést, ami azt bizonyítja, hogy a felületi feszültség hatása csökken az elektronegativitással és ionmérettel.

T.3. Kimutattuk, hogy az adalékanyagok hatásának trendje a BiOX sorozat esetében megegyezik, valamint, hogy a polivinil-pirrolidon eredményezi a legjobb hatékonyságot.

3.1. Megállapítottuk, hogy a RhB fotokatalitikus eltávolítása során a bontást nagyban segítette a festékérzékenyítés és magas adszorpció. Az adalékanyagok jelenlétében kristályosított BiOX félvezetők közül UV és látható fényvel való megvilágítás alatt a PVP-vel készült minták bizonyultak a leghatékonyabbnak. A második leghatékonyabbnak a tiokarbamid jelenlétében kristályosított minták bizonyultak.

3.2. Bizonyítottuk, hogy valamennyi PVP jelenlétében kristályosított minta kisebb hierarchikus mikrogömböket alkot, mint más adalékanyag jelenlétében. Ezenfelül, PVP jelenlétében az elsődleges részecskeméret csökkent, a fajlagos felületet növekedett, valamint megjelentek a fotokatalitikus hatékonyság szempontjából előnyös kristályhibák.

T.4. Igazoltuk, hogy a BiOX anyagok már kisebb koncentrációban növelik a vízi növények mortalitását, nagyobb koncentrációban pedig a szárazföldi növényekre és állatfajokra is ártalmasak.

4.1. Megállapítottuk, hogy a Kis erdei vöröshangya (*Formica polyctena*) fajra a BiOCl és a BiOBr félvezetők jelenlétében magasabb volt a mortalitás. Ezzel ellentétben a BiOI félvezető jelenléte nem volt számottevő hatással a hangyákra.

4.2. Apró békalencse (*Lemna minor*) ökotoxikológiai vizsgálata során bizonyítottuk, hogy BiOCl és BiOBr alkalmazása esetén magasabb szuszpenzió ($0,75 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ és $1,00 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$) koncentrációk használatakor magasabb az egyedek mortalitási rátája, valamint BiOI jelenlétében már hígabb katalizátor ($0,5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$) szuszpenzió is intenzív egyedpusztulást okozott. Megállapítottuk, hogy a BiOX félvezetők az apró békalencse tápoldatának pH-jára is hatással voltak, hiszen a kontroll csoport enyhén lúgos pH-ját semlegesre toltta el, ami igazolja a nagyobb egyedpusztulást is.

4.3 A kerti zsázsa (*Lepidium Sativum*) ökotoxikológiai vizsgálata esetén, BiOCl félvezető alkalmazása mellett megállapítottuk, hogy alacsonyabb koncentrációk ($1,0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ és $2,5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$) esetén sem nőtt a mortalitás a kontroll csoporthoz képest, viszont magasabb koncentrációban ($5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$) már megnőtt a mortalitás. A BiOBr esetén nem mutattunk ki toxicitást egyik koncentráció mellett sem. A BiOI már 1 g/L -es mennyiségben is csökkentette az egyedszámot a kontroll csoporthoz képest, és növelve a BiOI mennyiségét az egyedek mortalitása is megnőtt.

5. Tudományos közlemények

Az értekezés témájához tartozó közlemények:

(1) **Enikő Bárdos**, Anna Krisztina Király, Zsolt Pap, Lucian Baia, Seema Garg, Klára Hernádi

The effect of the synthesis temperature and duration on the morphology and photocatalytic activity of BiOX (X = Cl, Br, I) materials

Applied Surface Science 479 (2019) 745–756

DOI.: 10.1016/j.apsusc.2019.02.136

IF.: 6,182 Hivatkozás: 17 Független hivatkozás: 10

(2) **Enikő Bárdos**, Viktória Márta, Lucian Baia, Milica Todea, Gábor Kovács, Kornélia Baán, Seema Garg, Zsolt Pap, Klara Hernadi

Hydrothermal crystallization of bismuth oxybromide (BiOBr) in the presence of different shape controlling agents

Applied Surface Science 518 (2020) 146184,

DOI.: 10.1016/j.apsusc.2020.146184

IF.: 6,182 Hivatkozás: 7 Független hivatkozás: 5

(3) **Enikő Bárdos**, Viktória A. Márta, Szilvia Fodor, Endre-Zsolt Kedves, Klara Hernadi, Zsolt Pap

Hydrothermal crystallization of the bismuth oxychlorides (BiOCl) with different shape control reagents

Materials 2021, 14 (9), 2261;

DIO.:doi.org/10.3390/ma14092261

IF.: 3,057 Hivatkozás: 0 Független hivatkozás: 0

Σ IF=15,421

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

(4) **Bárdos Enikő**, Kovács Gábor, Gyulavári Tamás, Németh Krisztián, Kecsenovity Egon, Berki Péter, Baia Lucian, Pap Zsolt, Hernádi Klára

Novel synthesis approaches for WO₃-TiO₂/MWCNT composite photocatalysts-problematic issues of photoactivity enhancement factors

Catalysis Today 300 (2018) 28-38

DOI.:10.1016/j.cattod.2017.03.019

IF.: 4,887 Hivatkozás: 14 Független hivatkozás: 13

(5) Garg Seema; Yadav Mohit; Chandra Amrish; Sapra, Sameer; Gahlawat Soniya; Ingole Pravin; Todea Milica; **Bárdos Enikő**; Pap Zsolt; Hernádi Klára
Facile green synthesis of BiOBr nanostructures with superior visible-light-driven photocatalytic activity

Materials 11, (2018) 1273

DOI:10.3390/ma11081273

IF.: 2,972 Hivatkozás: 16 Független hivatkozás: 6

(6) Mohit Yadav, Seema Garg, Amrish Chandra, Pravin Ingole, **Eniko Bardos**,
Hernadi Klara

Quercetin-mediated 3-D hierarchical BiOI-Q and BiOI-Q-Ag nanostructures with enhanced photodegradation efficiency

Journal of Alloys and Compounds 856, (2021) 156812

DOI: 10.1016/j.jallcom.2020.156812

IF.: 4,650 Hivatkozás: 1 Független hivatkozás: 0

(7) Tamás Gyulavári, Kata Kovács, Zoltán Kovács, **Enikő Bárdos**, Gábor Kovács,
Kornélia Baán, Klára Magyarai, Gábor Veréb, Zsolt Pap, Klara Hernadi

Preparation and characterization of noble metal modified titanium dioxide hollow spheres – new insights concerning the light trapping efficiency

Applied Surface Science 534 (2020) 147327

DOI:10.1016/j.apsusc.2020.147327

IF.: 6,182 Hivatkozás: 0 Független hivatkozás: 0

(8) Zsejke-Réka Tóth, Saurav Kumar Maity, Tamás Gyulavári, **Enikő Bárdos**,
Lucian Baia, Gábor Kovács, Seema Garg, Zsolt Pap, Klara Hernadi;

Solvothermal Crystallization of Ag/AgxO-AgCl Composites: Effect of Different Chloride Sources/Shape-Tailoring Agents

Catalysts 2021, 11(3), 379

DOI.: doi.org/10.3390/catal11030379

IF.: 3,520 Hivatkozás: 0 Független hivatkozás: 0

(9) Endre Zsolt Kedves; **Enikő Bárdos**; Tamás Gyulavári; Klara Hernadi; Lucian Baia. Zsol Pap

Dependence of cationic dyes' adsorption upon α -MoO₃ structural properties

Közlés alatt

Σ IF=37,632

Részvétel nemzetközi és hazai konferenciákon:

Poszter prezentációk:

(1) Nano India 2017 Conference

2017.03.15-16., Delhi, India

Enhanced Visible Light Photocatalytic Activity of Green BiOBr Using Plant Extract

Seema Garg, Sameer Sapra, Amrisha Chandra, Mohit Yadav, Schrantz Krisztina, **Bárdos Enikő**, Hernádi Klára

(2) XXIII. Nemzetközi Vegyészkonferencia

2017.10.25-28 Déva, Románia

Preparation and characterization of bismuth-oxyhalide composites

Bizmut-oxohalogenid kompozitok előállítása és anyagvizsgálata

Király Anna Krisztina, **Bárdos Enikő**, Schrantz Krisztina, Alapi Tünde, Pap Zsolt, Lucian Baia, Samir Sapra, Amrisha Chandra, Seema Garg, Hernádi Klára

- (3) 5th European Conference on Environmental Applications of Advanced Oxidation Processes (5-EAAOP)
2017.06. 25-29., Prága, Csehország
The synthesis and photocatalytic properties of novel BiOX materials
E. Bárdos, A. Király, K. Schrantz, T. Alapi, Zs. Pap, S. Sapra, A. Chandra, S. Garg, K. Hernádi
- (4) 12th International Conference on Physics of Advanced Materials (ICPAM-12)
2018.09.22. – 2018.09.28. Heraklion, Görögország
Synthesis and photocatalytic properties of novel BiOX nanomaterials
E. Bárdos, A. Király, Zs. Pap, K. Hernádi
- (5) 6th European Conference on Environmental Applications of Advanced Oxidation Processes
2019.06.26-30. Portorose, Szlovénia
Hydrothermal synthesis of bismuth oxyhalide materials using different cationic salts
E. Bárdos, S.S. Rai, Zs. Pap, L. Baia, K. Hernádi
- (6) 6th European Conference on Environmental Applications of Advanced Oxidation Processes
2019.06.26-30. Portorose, Szlovénia
Surfactant assisted hydrothermal synthesis of bismuth oxyhalide materials and their photocatalytic activity
E. Bárdos, V. Márta, Zs. Pap, Gábor Kovács, Lucian Baia, K. Hernádi
- (7) 6th European Conference on Environmental Applications of Advanced Oxidation Processes

2019.06.26-30. Portorose, Szlovénia

Photocatalytic investigation of AgBr, BiOI, Cu₂O AND ZnO semiconductors' binary composites with orthorhombic MoO₃

Ravasz, Alpár; Kedves, Endre Zsolt; Tóth, Zsejke-Réka; **Bárdos, Enikő**; Fodor, Szilvia; Kovács, Zoltán; Pap, Zsolt; Hernádi, Klára; Baia, Lucian

(8) XXII. Nemzetközi Vegyészkonferencia

2016.11. 3-6., Temesvár, Románia

Preparation, characterization, and photocatalytic activity of WO₃-TiO₂/MWCNT nanocomposites

WO₃-TiO₂/MWCNT nanokompozitok előállítása, vizsgálata és fotokatalitikus aktivitása

Bárdos Enikő, Kovács Gábor, Gyulavári Tamás, Németh Krisztián, Kecsenovity Egon, Berki Péter, Baia Lucian, Pap Zsolt, Hernádi Klára

(9) XXIII. Nemzetközi Vegyészkonferencia

2017.10.25-28 Déva, Románia

BiOX anyagok előállítása, vizsgálatuk és fotokatalitikus aktivitásuk

Synthesis and photocatalytic properties of novel BiOX nanomaterials

Bárdos Enikő, Király Anna Krisztina¹, Schrantz Krisztina, Alapi Tünde, Pap Zsolt, Lucian Baia, Samir Sapra, Amrish Chandra, Seema Garg, Hernádi Klára

(10) XXIV. Nemzetközi Vegyészkonferencia

2018.10.24-27 Szováta, Románia

A szintézis idő módosításának hatása BiOX (X = Cl, Br, I) anyagok morfológiájára és fotokatalitikus aktivitására

The effect of the synthesis duration on the morphology and photocatalytic activity of BiOX (X = Cl, Br, I) materials

Bárdos Enikő, Király Anna Krisztina, Pap Zsolt, Lucian Baia, Seema Garg, Hernádi Klára

Idegen nyelvű elsőszerzős előadás:

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

2019.05.06-10, Szeged, Hungary

The effect of the synthesis temperature, duration on the BiOX (X = Cl, Br, I) morphology and photocatalytic activity

E. Bárdos, A. Király, Zs. Pap, L. Baia, K. Hernádi

Hazai, magyar nyelvű elsőszerzős előadás

(12) 5. Környezatkémiai Szimpózium

2016.10.6-7., Tihany, Magyarország

Szerves modellszennyezők lebontása TiO₂-WO₃ alapú nanokompozitok segítségével

Bárdos Enikő & Kovács Gábor, Orbán Eszter, Gyulavári Tamás, Németh Krisztián, Kecsenovity Egon, Berki Péter, Baia Lucian, Pap Zsolt, Hernádi Klára

(13) 8. Környezatkémiai Szimpózium

2019.10.10-11., Siófok, Magyarország

Adalékanyagok hatása a BiOBr anyagok morfológiájára és fotokatalitikus aktivitására

Bárdos Enikő, Márta Viktória, Pap Zsolt, Baia Lucian, Garg Seema, Hernádi Klára

Nemzetközi /Idegen nyelvű társszerzős előadás

(14) XXII. Nemzetközi Vegyészkonferencia

2016.11. 3-6., Temesvár, Románia

Új nanokompozitok és nanoszerkezetek a víztisztításban

Pap Zsolt, Fodor Szilvia, Gyulavári Tamás, Kovács Gábor, Tóth Zsejke-Réka, Kása Zsolt, **Bárdos Enikő**, Rózsa Georgina, Simon Gergő, Kozmér Zsuzsanna, Rusu Mihai, Hernádi Klára, Baia Lucian, Baia Monica, Székely István, Kedves Zsolt, Boga Bíborka, Ravasz Alpár, Hampel Boglárka, Kovács Zoltán, Saszet Kata, Danciu Virginia, Co oveau Veronica, Vajda Krisztina, Karácsonyi Éva, Pop ş Lucian Cristian, Czekes Zsolt, Nagy Zsuzsanna, Magyar Klára, Todea Milica, Vulpoi Adriana, Veréb Gábor, Orbán Eszter, Dombi András

(15) XXIII. Nemzetközi Vegyészkonferencia

2017.10.25-28 Déva, Románia

Bizmut-oxid tartalmú vegyesoxidok előállítása és stabilitásának vizsgálata
Synthesis and stability investigations of bismuth oxide containing mixed oxides

Kása Zsolt, **Bárdos Enikő**, Pap Zsolt, Hernádi Klára, Baia Lucian

(16) New Photocatalytic Materials for Environment, Energy and Sustainability
(NPM-4)

2019.04.23-25. Antwerpen, Belgium

BiOX – the visible light photocatalyst

Klara Hernadi, **Enikő Bárdos**, Nikita Sharma, Zsolt Kása, Zsolt Pap, Seema Garg