

Doktori (PhD) értekezés tézisei

Látható fényben aktív réz-alapú félvezetők előállítása és jellemzése

Mihálydeákpál (Fodor) Szilvia

TÉMAVEZETŐK:

Prof. Dr. K Hernadi (egyetemi tanár)

Dr. Zs Pap (tudományos munkatárs)



Környezettudományi Doktori Iskola

Szegedi Tudományegyetem, Természettudományi és Informatikai Kar

Szeged

2021

1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK

Az eddig ismert és alkalmazott víztisztítási módszerek nem teszik lehetővé bizonyos szerves szennyezők maradéktalan eltávolítását a vizeinkből, ebbe a kategóriába tartoznak a gyógyszermaradványok is. A kimutatható, számos esetben a jogszabályok szerinti határértékeket meghaladó vegyületek eltávolítása kihívást jelent a jelenkori víztisztítási eljárásoknak, de jól alkalmazható és működőképes lehetőségként kapnak egyre nagyobb figyelmet a nagyhatékonyságú oxidációs eljárások.

A nagy hatékonyságú oxidációs eljárások közül egy ilyen technológiai megközelítés a heterogén fotokatalízis, mely során egy félvezető adott hullámhosszúságú fényel történő gerjesztése lehetővé teszi ezeknek a szerves szennyezőknek a lebontását. A legkedvezőbb helyzet akkor állna fenn, ha a gerjesztés a napfény felhasználásával valósulna meg, s így ezzel az eddig még kiaknázatlan alternatív energiaforrásunkkal valósulna meg a víztisztítás.

Bár ez a megoldás első hallásra nem tűnik túl költséghatékonnak, viszont, ha abban a megvilágításban vizsgáljuk, hogy ugyan a félvezetők előállítása költséges lehet, de ezt követően a technológia működtetése csekély költségeket igényel, akkor már nem tűnik annyira ellenszenvesnek ez a lehetőség.

Mindemellett azt gondolom, hogy a valós megoldás talán abban rejlik, hogy a már alkalmazás alatt álló, klasszikus víztisztítási folyamatok és a fotokatalízis előnyeit egybekovácsolva alkalmazzák a módszereket, s ezáltal a fotokatalízis lehetne az i-n a pont.

A doktori munkám célja olyan réz-alapú félvezetők előállítása és fejlesztése volt, melyek látható fényben történő gerjesztés során fotokatalitikus aktivitást mutatnak.

2. KÍSÉRLETI MÓDSZEREK, ELJÁRÁSOK

A vizsgálni kívánt réz-alapú félvezetőket két különböző módszerrel állítottuk elő (redukció, szolvotermális előállítás). A minták megnevezése során a kialakult részecske megjelölését követően jelöltük az alkalmazott prekuzort (Cl / Ac), stabilizálószer (EDTA / PVP), valamint az előállítás hőmérsékletét (60 °C / 70 °C / 80 °C / 180°C). Az előállított félvezetőket széleskörű anyagtudományi jellemzésnek vetettük alá, továbbá vizsgáltuk fotokatalitikus aktivitásukat is.

Pásztázó elektronmikroszkópia (SEM) segítségével vizsgáltuk a minták morfológiai sajátosságait, valamint egyes mintákban az elemtérkép rögzítésével vizsgáltuk a minta homogenitását. A minták morfológiai jellemzésének pontosítására transzmissziós elektronmikroszkópiás (TEM) méréseket végeztünk.

A kristályfázis, a kristályossági fok, a részecskeméret, valamint az utólagos hőkezelés hatásának vizsgálatára röntgendiffraktometriás (XRD) méréseket végeztünk. A röntgendiffraktogramokból a Scherrer-egyenlet segítségével kiszámoltuk a minták primer részecskeméreteit. Az előállított részecskék további szerkezeti jellemzésre infravörös spektroszkópiát (IR) is alkalmaztunk.

A szilárd halmazállapotú minták fényvisszaverő, valamint fényelnyelő képességének felderítésére diffúz reflexiós spektroszkópiát (DRS) alkalmaztunk. A diffúz reflexiós spektrumokból a Kubelka-Munk összefüggéssel kiszámoltuk a fotokatalizátorok tiltottsáv-szélesség értékeit, valamint az elsőrendű deriválással megkaptuk a minták fényelnyelési maximumát.

Dinamikus fényszórás (DLS): A minták részecskeméret eloszlását vizes közegben dinamikus fényszórás méréssel követtük. A méréseket kétórás ultrahangos kezelés előzte meg, a homogén szuszpenzió biztosítása érdekében.

N₂ adszorpció: Az előállított minták fajlagos felületének a meghatározására nitrogén adszorpciós mérések szolgáltak, a kapott eredmények kiértékeléshez a Brunnauer-Emmett-Teller (BET) összefüggést használtuk.

A fotokatalitikus aktivitás mérését látható fénnel történő besugárzás mellett végeztük. A kísérleti körülmények stabilizálására, valamint a fényforrás által generált hő csökkentésére szolgált a reaktorköpenyben keringtetett 1 M-os nátrium-nitrit vizes oldat, mely egyúttal a fényforrásból származó kis mennyiségű UV fotonok kizárását is biztosította.

A szuszpenziótöménység minden esetben 1 mg·mL⁻¹ volt, modellszennyezőként pedig metilnarancs (30 mM) és rodamin B (0,02 mM) vizes oldatát használtunk. A teszt első lépését 10 percen át történő homogenizáló lépés (ultrahangos kád, sötét) előzte meg, az adszorpciós egyensúly beállása érdekében. A minta reaktorba jutását követően folyamatos levegőbuborékolatással és keverővel történő kevertetéssel is biztosítottuk a homogén eloszlást és az oxigénnel való telítettséget.

A teszt időtartama minden esetben 120 perc volt, melynek során az első órában 10 percenként, a második órában pedig 20 percenként vettünk mintát. A levett minták centrifugálását és szűrését követően az alkalmazott modellvegyület (metilnarancs, rodamin B) koncentrációjának változását spektrofotométerrel követtük nyomon.

Az eredmények feldolgozása során konverzió értékeket (%) számoltunk, melyek megmutatják, hogy adott mérés során, a modellszennyező kezdeti koncentrációjának hány százaléka bomlott el a 120 perces teszt folyamán.

3. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

T1. Igazoltuk, hogy az előállított Cu_2O részecskék az alkalmazott stabilizálószer hatására különböző morfológiai sajátosságokat mutattak. Etilén-diamin-tetraecetsavat (EDTA) jelenlétében izomorf, homogén méreteloszlású, mikrokockák alakultak ki, polivinilpirrolidon (PVP) jelenlétében azonban izomorf, rombukuboktaéderes morfológiájú mikrokristályok jöttek létre. Ebben az esetben a szintézis hőmérsékletének növelésével a mikrokristályok mellett Cu nanorészecskék jelentek meg.

A PVP szelektív adszorpciót mutat a réz-oxid felületén, stabilizálja az újonnan képződő kristályokat. A részecskék előállítása során kinetikusán szabályozza a Cu_2O különféle kristályoldal növekedésének ütemét, a felületekre történő adszorpción keresztül. Ezzel szemben az EDTA kelátképző ligandum tulajdonságainak köszönhetően komplexálja a Cu^{2+} iont, meggátolva a Cu^0 -ra történő redukálódását.

Stabilizálószerként PVP-t alkalmazva a Cu_2O -ra jellemző összes reflexió mellett megjelent a réz jelenlétét igazoló jelek a mintában. Bizonyos mennyiségű Cu nanorészecske növelheti is a fotokatalitikus aktivitást hatékonyságát. Bizonyítottuk, hogy a szintézis hőmérsékletének a növelésével a megjelenő Cu mennyisége szintén növekszik. Abban az esetben amikor stabilizálószerként EDTA-t alkalmaztunk az így kapott sorozat röntgendiffraktometriás vizsgálata során nem detektálhatók a rézre jellemző reflexiók.

T2. Megállapítottuk, hogy az előállítás során alkalmazott hőmérséklet növelésével szabályozható a Cu_2O részecskék mérete és az alkalmazott prekursor sótól függően változik a hidrodinamikai átmérője. Igazoltuk, hogy a részecskeméret és a hidrodinamikai átmérő szabályozásával növelhető a rendelkezésre álló felület, ezzel alátámasztottuk a fokozott a fotokatalitikus folyamatok kimenetelét.

A fotokatalizátorok szintézishőmérsékletének növelésével a hidrodinamikai részecskeméret csökkent, abban az esetben, ha $\text{Cu}(\text{Ac})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ -t alkalmazunk prekuzorként. Ez azt jelenti, hogy a fotokatalízis folyamatára rendelkezésre álló felület megnövekedik, így fokozódhatnak a vizes szuszpenziókban a fotokatalitikus folyamatok, ahogy a fotokatalitikus aktivitás is.

T3. Bebizonyítottuk, hogy az alkalmazott redukáló cukrok hatására a Cu_2O mintákban szabályozható a fotogenerált lyukak (h^+) koncentrációja, amely kapcsolatban áll a minták kristályossági fokával is.

A jelentkező lokalizált felületi plazmon rezonancia, amely a réz hibahelyek megjelenést igazolja, összefüggésben áll a minták kristályossági fokával. Az erre utaló csúcs a diffúz reflexiós spektrumok elsődleges deriváltjait esetén a $\text{Cu}_2\text{O_XY}$ és a $\text{Cu}_2\text{O_AR}$ mintákban mutatkozik meg, amelyek az XRD spektrumok kiértékelése során a legnagyobb kristályossági fokot mutatták.

A különböző redukáló cukrok jelenlétében előállított Cu_2O fotokatalizátorok aktivitása függ a minta fajlagos felületétől és a különböző réz spécieszek optikai megnyilvánulásaitól. A vezetés sáv (639 nm) és az exciton sáv (595 nm) arányának változása, valamint a részecskék fajlagos felületének változása magyarázza a fotokatalitikus gerjeszthetőség nagyságát.

T4. Réz-szulfid minták előállítása során a keletkező hibahelyek megjelenését a Cu-S kötés rezgési csúcs (270 cm^{-1}), valamint a $\text{Cu}_{\text{vac}}\text{S}$ rezgési csúcs (322 cm^{-1}) igazolja. Megállapítottuk, hogy ennek az aránynak az értéke az alkalmazott prekursor só függvényében változik, így a fotokatalitikus aktivitást befolyásoló hibahelyek megjelenése szabályozhatóvá válik.

A kristályos szerkezet transzformációinak tanulmányozására során ($150\text{--}1500\text{ cm}^{-1}$ tartomány) 476 cm^{-1} -nél a kovalens S-S kötések rezgésére (nyújtására) vonatkozó jelet észleltünk, amelynek intenzitása nagyobb a $\text{Cu}_x\text{S}^{\text{Ac}}$ mintasorozat esetében. Ezenkívül megjelenik a Cu-S kötés rezgéséért felelős csúcs (270 cm^{-1}) és 322 cm^{-1} -nél, a hibahelyek ($\text{Cu}_{\text{vac}}\text{S}$) megjelenését magyarázó csúcs is.

A CuCl_2 -ből nyert minták esetében a hibahelyekhez társítható csúcs intenzitása magasabb értéket mutat. Mivel a hibahelyek jelenléte javíthatja a fotokatalitikus teljesítményt, ezek a megfigyelések pozitív előrejelzések lehetnek az aktivitási tesztek kiértékelése során.

T5. Az alkalmazott stabilizálószer függvényében különböző morfológiai sajátosságú Cu_xS részecskék kialakulása figyelhető meg: EDTA jelenlétében előállított a mikrorészecskék morfológiája lemezes, PVP alkalmazása mellett a lemezes morfológiájú részecskék hierarchikus struktúrákat építenek fel - mely gömb alakú morfológiát mutat.

A PVP-vel stabilizált részecskék előállításának előnye, hogy szabályozható a részecskeméretet és fenntartani az állandó részecskék morfológiája. Ahogy azt a Cu_xO minták esetén is bebizonyítottuk, az EDTA a Cu^{2+} komplex vegyületet (kelátot) képezhet, ami megakadályozhatja a Cu^{2+} teljes redukcióját Cu-re.

A stabilizálószer hatása szoros összefüggésben áll a minták kristályossági fokának változásával is. A $\text{Cu}_x\text{S}^{\text{Cl}}$ mintasorozat kristályossági foka eltér a $\text{Cu}_x\text{S}^{\text{Ac}}$ mintasorozathoz viszonyított értékektől, a CuCl_2 -ből kiindult minták esetén ez az érték magasabb. Ezekben a mintákban megfigyelhető továbbá, hogy a (008) kristálylapért felelős reflexió intenzitása jelentősen nagyobb, a $\text{Cu}_x\text{S}^{\text{Ac}}$ sorozathoz viszonyítva.

T6. Utólagos hőkezeléssel a katalizátorok fajlagos felülete növekszik, mely a hierarchikus felépítések átrendeződésével magyarázható. Ez a jelenség befolyásolja a minták fotokatalitikus aktivitását és adszorpciós képességét. Igazoltuk, hogy a stabilizálószer függvényében morfológiai roncsolódás (PVP), vagy gömbszerű hierarchikus részecskék kialakulása valósul meg (EDTA).

A hőkezelés hatására több változás is megfigyelhető: a $\text{Cu}_x\text{S}^{\text{Cl}}$ mintasorozat esetén a PVP-vel stabilizált mintán a hőkezelés hatására a morfológia roncsolódás történik, $\text{Cu}_x\text{S}^{\text{Cl}}$ mintasorozat EDTA-val stabilizált minta esetén ezzel ellentétesen, a hőkezelés hatására gömbszerű szabályos, lapokból felépülő csillagszerű struktúrák alakulnak ki.

$\text{Cu}_x\text{S}^{\text{Ac}}$ minták esetén a hőkezelés hatására nem figyelhető meg számottevő változás; az alap katalizátorok vizsgálata során tapasztalt értékek nem változnak említésre méltó mértékben.

4. AZ EREDMÉNYEK HASZNOSÍTHATÓSÁGA

Doktori munkám céljaul tűztük ki olyan réz-alapú félvezetők előállítását, melyek látható fényben mutatnak fotokatalitikus aktivitást, s ezáltal lehetőséget nyújtanak az újkori víztisztítási folyamatok korszerűsítéséhez.

Eredményeim remélem, hogy a doktori dolgozat és a követelményekként megfogalmazott tudományos közlemények megírásán túl, ha csak egy kicsit is, de előre viszik a tudomány ezen területén kutató társaimat.

Számomra mind tudományos, mind emberi hasznosulása a doktori kutatásomnak, hogy egy-egy konferencián sikerült megvitatni a tapasztalataimat olyan kutatókkal, akik hasonló témakörben, a Világ másik szögletéből, ugyanazokba a problémákba ütköztek, de a különböző szempontoknak köszönhetően előre lendíthettek ezek a tudományos tapasztalatcserék.

Jelen doktori dolgozat során is beigazolódott, hogy a réz-alapú vegyületek számos lehetőséget tartogatnak és azt gondolom, hogy ezzel a dolgozattal sikerült igazolni azt, hogy az előállítási paraméterek (hőmérséklet, redukálószer, stabilizálószer, prekursor só) finom változtatásai jelentős különbségeket eredményezhetnek, mind a részecskék szerkezeti, morfológiai, optikai, mind pedig a fotokatalitikus aktivitási mutatóikban.

5. AZ ÉRTEKEZÉS ALAPJÁUL SZOLGÁLÓ KÖZLEMÉNYEK

5.1. A DISSZERTÁCIÓ ALAPJÁT KÉPEZŐ KÖZLEMÉNYEK

1. **Sz Fodor**, K Mucsi, Zs Pap, K Hernádi, L Baia, Hőmérséklet hatása a réz-alapú fotokatalizátorok előállításában és hőkezelésében, *Proceedings of the 23rd International Symposium on Analytical and Environmental Problems 23* (2017) 401-405. (ISBN:978-963-306-563-1)

2. **Sz Fodor**, L Baia, M Focşan, K Hernádi, Zs Pap, Designed and controlled synthesis of visible light active copper(I)oxide photocatalyst: From cubes towards the polyhedrons - with Cu nanoparticles, *Applied Surface Science* 484 (2019) 175–183.

(I.F. 4,439)

3. **Sz Fodor**, L Baia, K Hernádi Zs Pap, Controlled Synthesis of Visible Light Active CuxS Photocatalyst: The Effect of Heat Treatment on Their Adsorption Capacity and Photoactivity, *Materials* 13 (2020) 3665.

(I.F. 3,057)

4. **Sz Fodor**, L Baia, K Baán, G Kovács, Zs Pap, K Hernadi, The Effect of the Reducing Sugars in the Synthesis of Visible-Light-Active Copper(I) Oxide Photocatalyst, *Molecules* 26 (2021) 1149.

(I.F. 3.267)

Σ I.F.=10,763

5.2. A DISSZERTÁCIÓ TÉMÁJÁHOZ NEM SZOROSAN KAPCSOLÓDÓ KÖZLEMÉNYEK

1. G Kovács, **Sz Fodor**, A Vulpoi, K Schrantz, A Dombi, K Hernádi, V Danciu, Zs Pap, L Baia, Polyhedral Pt vs. spherical Pt nanoparticles on commercial titanias: Is shape tailoring a guarantee of achieving high activity?, *Journal of Catalysis* 325 (2015) 156–167.

(I.F. 7,354)

2. L Baia, E Orbán, **Sz Fodor**, B Hampel, E Zs Kedves, K Saszet, I Székely, É Karácsonyi, B Réti, P Berki, A Vulpoi, K Magyar, A Csavdári, Cs Bolla, V

Coşoveanu, K Hernádi, M Baia, A Dombi, V Danciu, G Kovács, Zs Pap, Preparation of TiO₂/WO₃ composite photocatalysts by the adjustment of the semiconductors' surface charge, *Materials Science in Semiconductor Processing* 42 (2016) 66–7.

(I.F. 1,955)

3. **Sz Fodor**, Zs Pap, K Hernádi, G Kovács, L Baia, Pd és Pt nanorészecskék alakjának hatása fotokatalitikus hidrogénfejlesztés során, *Acta Scientiarum Transylvanica - Chimica* 25 (2017) 7-16. (ISBN/ISSN: 1842-5089)

4. **Sz Fodor**, G Kovács, K Hernádi, D Virginia, L Baia, Zs Pap, Shape tailored Pd nanoparticles' effect on the photocatalytic activity of commercial TiO₂, *Catalysis Today* 284 (2017) 137–145.

(I.F. 4,312)

5. E Bárdos, V A Márta, **Sz Fodor**, E-Zs Kedves, K Hernadi, Zs Pap, Hydrothermal crystallization of the bismuth oxychlorides (BiOCl) using different shape control reagents, *Materials* (2021).

(I.F. 3,057)

Σ I.F.= 27,441

5.3. ELŐADÁSOK, POSZTEREK, KONFERENCIARÉSZVETELEK

Nemzetközi/Idegen nyelvű elsőszerzős előadás

1. **Sz Fodor**, G Kovács, Zs Pap, D Virginia, V Adriana, M Klára, A Dombi, K

- Hernadi, L Baia: *Kereskedelmi TiO₂ módosítása Pt nanokockákkal/gömbökkel: Pt nanorészecske alakjának hatása a szennyezők fotokatalitikus bontására, illetve a H₂ fejlesztésre*, XIX. Nemzetközi Vegyészkonferencia, Nagybánya, Romania, 2013. november 21-24.
2. **Sz Fodor**, Zs R Tóth, Zs Pap, L Baia, D Virginia, A Vulpoi, K Magyar, A Dombi K Hernadi, G Kovács: *The influence of Pt/Au nanoparticles' shape on activity of commercial TiO₂ photocatalysts*, E-MRS Spring Meeting, Lille, France, 26-30 May 2014.
 3. G Kovács & Zs R Tóth & **Sz Fodor**, Zs Pap, D Virginia, A Dombi, K Hernadi, L Baia: *Differently shaped Pt/Au nanoparticles: activity enhancement of commercial TiO₂ photocatalysts*, 8th European Meeting on Solar Chemistry and Photocatalysis: Environmental Applications, Thessaloniki, Greece, 25- 28 June 2014.
 4. **Sz Fodor**, Zs Pap, G Kovács, L Baia, D Virginia, A Vulpoi, A Dombi, K Hernadi: *Pd nanorészecske alakjának hatása a szennyezők fotokatalitikus bontására, illetve H₂ fejlesztésre*, XX. Nemzetközi Vegyészkonferencia, Kolozsvár, Románia, 2014. november 6-8.
 5. **Sz Fodor**, K Saszet, B Hampel, T Makó, M Abrudbányai, H Vadas, D Virginia, L Baia, E Gál, G Kovács, Zs Pap, *Solar light activated photocatalysts in the service of the society: the synergy of photocatalysis and sociology*, E-MRS Spring Meeting, Lille, France, 11-16 May 2015.
 6. **Sz Fodor**, A Csavdári, Zs Pap: *Investigation of photocatalytic activity of Pd, Pt modified TiO₂*, XIIIth edition of International Conference Students for Students, Cluj-Napoca, Romania, 13-17 April 2016.
 7. **Sz Fodor**, Zs Pap, K Hernadi, G Kovács, L Baia: *Különböző alakú nemesfémekkel módosított TiO₂ fotokatalizátorok hatékonysága fotokatalitikus hidrogénfejlesztésben*, 22nd International Symposium on

- Analytical and Environmental Problems, Szeged, Magyarország, 2016. október 10.
8. **Sz Fodor**, Zs Pap, K Hernadi, G Kovács, L Baia: *Pd és Pt nanorészecskék alakjának hatása TiO₂ fotokatalitikus aktivitására*, XXII. Nemzetközi Vegyészkonferencia, Temesvár, Románia, 2016. november 3-6.
 9. **Sz Fodor**, Zs Pap, K Hernadi, G Kovács, L Baia: *Különböző alakú nemesfémekkel módosított TiO₂ fotokatalizátorok hatékonysága fotokatalitikus hidrogénfejlesztésben*, XV. Erdélyi Természettudományi Konferencia, Kolozsvár, Románia, 2016. november 26.
 10. **Sz Fodor**, K Mucsi, Zs Pap K Hernadi, L Baia: *Synthesis and characterization of different shape Cu_xO and Cu_xS nanocrystals*, 5th European Conference on Environmental Applications of Advanced Oxidation Processes, Prague, Czech Republic, 25-29 June 2017.
 11. **Sz Fodor**, M Kata, Zs Pap, K Hernadi, L Baia: *Hőmérséklet hatása a réz-alapú fotokatalizátorok előállításában és hőkezelésében*, 23rd International Symposium on Analytical and Environmental Problems, Szeged, Hungary, 2017 október 9-10.
 12. **Sz Fodor**, M Kata, Zs Pap, L Baia, K Hernadi: *Réz-alapú félvezetők előállításának és kalcinálásának befolyásolása hőmérséklet szabályozással*, XXIII. Nemzetközi Vegyészkonferencia, Déva, Románia, 2017. október 25-28.
 13. **Sz Fodor**, Zs Pap, L Baia, K Hernadi: *Investigation of photocatalytic activity of Pd, Pt modified TiO₂*, 3rd International Symposium on Nanoparticles-Nanomaterials and Applications, Caparica, Portugal, 22-25 January 2018.
 14. **Sz Fodor**, Zs Pap, L Baia, K Hernadi: *effect of the precursor and the temperature in synthesis of Cu₂O*, 12th International Conference on Physics of Advanced Materials, Heraklion, Greece, 22-28 September 2018.

15. **Sz Fodor**, Zs Pap, L Baia, K Hernadi: *Réz-alapú félvezetők előállítási paramétereinek szabályozása*, XXIV. Nemzetközi Vegyészkonferencia, Szováta, Románia, 2018 október 24-27.
16. **Sz Fodor**, Zs Pap, L Baia, K Hernadi: *Synthesys and characterization of visible light active Cu₂S crystals*, 6th European Conference on Environmental Applications of Advanced Oxidation Processes, 26-30 June 2019, Portorose, Slovenia.
17. D Dusnoki, **Sz Fodor**, Zs Pap, K Hernadi: *Photocatalytic efficiency of copper(I) oxide-noble metal composite systems*, 6th European Conference on Environmental Applications of Advanced Oxidation Processes, Portorose, Slovenia, 26-30 June 2019.
18. **Sz Fodor**, Zs Pap, L Baia, K Hernadi: *Redukáló cukrok szerepe a réz(I)-oxid előállításában*, XXV. Nemzetközi Vegyészkonferencia, Kolozsvár, Románia, 2019 október 24-26.

Nemzetközi/Idegen nyelvű társszerzős előadás

1. E Orbán, E Zs Kedves, K Saszet, **Sz Fodor**, B Hampel, Zs R Tóth, I Székely, G Kovács, Zs Pap, D Virginia, L Baia: *TiO₂/WO₃ kompozit fotokatalizátorok előállítása a félvezetők felületi töltésének módosításával*, XX. Nemzetközi Vegyészkonferencia, Kolozsvár, Románia, 2014. november 6-8.
2. Zs Pap, G Kovács, I Székely, E Zs Kedves, K Saszet, B Hampel, **Sz Fodor**, Zs R Tóth, E Orbán, Z Kovács, K Hernadi, A Dombi, Zs Kása, K Vajda, É Karácsonyi, D Virginia, A Vulpoi, V Coşoveanu, L Baia: *Nanoszerkezetű fotokatalizátorok és kompozitjaik-alakszobrászat és aktivitás*, XX. Nemzetközi Vegyészkonferencia, Kolozsvár, Románia, 2014. november 6-8.
3. Zs Pap, G Kovács, Zs R Tóth, K Vajda, É Karácsonyi, Zs Kása, **Sz Fodor**, E

- Zs Kedves, I Székely, K Saszet, B Hampel, Zs Czekes, E Orbán, Z Kovács, D Virginia, L Baia, A Dombi: *The Functioning Mechanism of Photocatalytic Systems from the Charge Transfer Point of View. "The Adventure of the Electron"*, XXI. Nemzetközi Vegyészkonferencia, Csíksomlyó, Románia, 2015. november 23-25.
4. Zs Pap, **Sz Fodor**, T Gyulavári, G Kovács, Ys R Tóth, Kása Zsolt, E Bárdos, G Rózsa, G Simon, Zs Kozmér, M Rusu, K Hernadi, L Baia, M Baia, I Székely, E Zs Kedves, B Boga, A Ravasz, B Hampel, Z Kovács, K Saszet, D Virginia, V Coşoveanu, K Vajda, É Karácsonyi, L C Pop, Zs Czekes, Zs Nagy, K Magyarai, T Milica, A Vulpoi, G Veréb, E Orbán, A Dombi: *Új nanokompozitok és nanoszerkezetek a víztisztításban*, XXII. Nemzetközi Vegyészkonferencia, Temesvár, Románia, 2016. november 3-6.
 5. D Dusnoki, **Sz Fodor**, Zs Pap, K Hernadi: *Réz(I)oxid-nemesfém rendszerek előállítása és jellemzése*, XXIV. Nemzetközi Vegyészkonferencia, Szováta, Románia, 2018 október 24-27.
 6. Z Kovács, **Sz Fodor**, L C Pop, Zs Pap: *A ZnO/Pt/redukált grafit-oxid hármaskompozit fotokatalizátorok előállítása és összehasonlítása kémiai redukációs és impregnálás módszerrel*, XXIV. Nemzetközi Vegyészkonferencia, Szováta, Románia, 2018 október 24-27.
 7. A Ravasz, E Zs Kedves, Zs R Tóth, E Bárdos, **Sz Fodor**, Z Kovács, Zs Pap, K Hernadi, L Baia: *MoO₃ hatása az AgBr, BiOI, Cu₂O és ZnO fotokatalizátorok aktivitására*, XXIV. Nemzetközi Vegyészkonferencia, Szováta, Románia, 2018 október 24-27.
 8. D Dusnoki, **Sz Fodor**, Zs Pap, K Hernadi: *Réz(I)-oxid-titán dioxid kompozitok fotokatalitikus aktivitásának vizsgálata*, XXV. Nemzetközi Vegyészkonferencia, Kolozsvár, Románia 2019 október 24-26.

9. A Ravasz, E Zs Kedves, Zs R Tóth, E Bárdos, **Sz Fodor**, Z Kovács, Zs Pap, K Hernadi, L Baia: *α -MoO₃ tartalmú bináris kompozitrendszer*ek fotokatalitikus aktivitásának vizsgálata, XXV. Nemzetközi Vegyészkonferencia, Kolozsvár, Románia, 2019 október 24-26.

Hazai/Magyar nyelvű elsőszerzős előadás

1. **Sz Fodor**: *Pd-al módosított TiO₂ nanokompozitok előállítása, jellemzése és szerepük környezetünk tisztaságának megőrzésében*, Balassi Intézet, Márton Áron Szakkollégiumi Zárókonferencia, Budapest, Magyarország, 2016. május 27-29.
2. **Sz Fodor** & Zs R Tóth: *Különböző geometriájú nemesfém nanorészecskékkel módosított TiO₂ fotokatalizátorok hatása fenol bontásában*, V. Környezetkémiai Szimpózium, Tihany, Magyarország, 2016. október 6-7.
3. **Sz Fodor**, K Mucsi, Zs Pap, K Hernadi: *Cu_xS félvezető katalizátorok előállítása és anyagszerkezeti vizsgálata*, PhD – konferencia - Külgazdasági és Külügyminisztérium - Szegedi Tudományegyetem, Szeged, Magyarország, 2017. március 4.
4. **Sz Fodor**: *Cu_xO félvezetők előállítása, anyagszerkezeti vizsgálata és fotokatalitikus aktivitásának vizsgálata*, Külgazdasági és Külügyminisztérium - Márton Áron Kutatói Program Zárókonferencia, Budapest, Magyarország, 2017 június 16.
5. **Sz Fodor**, Zs Pap, K Hernadi: *Cu₂O/CuO mikrorendszerek morfológiai szobrászata*, ELTE MÁSZ PhD-konferencia, Debrecen, Magyarország, 2018. április 6.