

Doktori (Ph.D.) értekezés tézisei

Kormányos Attila

**VEZETŐ POLIMER ALAPÚ NANOKOMPOZIT
ELEKTRODOK FOTOELEKTROKÉMIAI VISELKEDÉSE**

TÉMAVEZETŐK:

Dr. Janáky Csaba

Egyetemi Adjunktus

Prof. Visy Csaba

Professor Emeritus



Szegedi Tudományegyetem
Természettudományi és Informatikai Kar
Fizikai Kémiai és Anyagtudományi Tanszék
Kémia Doktori Iskola

2018

1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK

A XXI. század egyik legnagyobb kihívása a fosszilis energiahordozókról a megújuló energiaforrásokra való átállás. A napenergia az egyik legfontosabb forrás az energiaszükséglet fenntartható biztosítására, azonban időszakossága szükségessé teszi a kinyert energia tárolhatóságát. Az egyik ígéretes lehetőség a napenergia fotoelektrokémiai hasznosítása, mely az elmúlt néhány évben egyre intenzívebben kutatott terület. Mind a vízbontás (H₂ fejlesztés), mind pedig a szén-dioxid redukciója nagy lehetőségeket hordoznak magukban, melyek kiaknázása azonban jelentős nehézségekbe ütközik (termodinamikai- és kinetikai gátoltság). Ezek kiküszöböléséhez az alkalmazott fotoelektród számos követelménynek kell, hogy *egyszerre* megfeleljen. Jóllehet nagyszámú szerves félvezetőt kipróbáltak már ezen fotoelektrokémiai folyamatokban, eddig még nem találtak olyan anyagot, mely az összes kritériumot teljesítené.

A vezető polimerek a szerves félvezetők családjába tartozó anyagok, melyek szerves társaikhoz képest egy új alternatívát kínálnak. A vezető polimerek ígéretes fotoelektród alapanyagok számos előnyös sajátosságuknak köszönhetően:

- Könnyű előállíthatóság (pl. elektrodepozícióval), *enyhe szintéziskörülmények*, mely eredményeként gyorsan megtérül a befektetett energia.
- A nagy felületű elektródok előállítása és további feldolgozása *egyszerű és olcsó*.
- A polimer szerkezete az adott alkalmazásnak megfelelően széleskörűen *hangolható* (pl. tiltott sáv szélessége, CO₂ adszorpciós kapacitás).
- Sok N-tartalmú polimer *jelentős katalitikus aktivitást* mutatott a CO₂ elektrokémiai redukciójában, mely arra enged következtetni, hogy a nitrogén atomok a polimer szerkezetben kulcsfontosságú szerepet játszanak ebben a folyamatban (ezt erősíti az a tény, hogy jelenleg a poliimidek a legjobb CO₂ adszorbensek között vannak).

Kutatócsoportunkban és annak elődjében a vezető polimerek előállításával és elektrokémiai sajátosságaik vizsgálatával kapcsolatos kutatások egészen az 1980-as évek végéig nyúlnak vissza. Ezzel szemben, ezen anyagok alkalmazhatósága tüzelőanyagok fotoelektrokémiai előállítására eddig kevésbé kutatott terület. 2013-ban, PhD tanulmányaim megkezdésekor a ***célul tűztük ki vezető polimer elektródok fotoelektrokémiai viselkedésének tanulmányozását, illetve alkalmazhatóságuk vizsgálatát a CO₂ fotoelektrokémiai***

redukciójára. Miután feltártuk és megértettük a fő tényezőket, melyek a CO₂ redukciós aktivitásért felelősek, illetve azonosítottuk a vezető polimerek önmagukban fotoelektrodként történő alkalmazásából fakadó hátrányokat, figyelmünk a vezető polimer alapú nanokompozitok felé fordult. Ezen hibrid anyagok legalább részben kiküszöbölhetik a tapasztalt hátrányokat, jobb fotoelektrokémiai sajátságokat eredményezve. Doktori munkám során két fő irányt vizsgáltunk meg.

Az első esetben célunk **a töltéshordozó transzport sajátságok javítása** volt, ezért vezető polimer/nanoszén elektródokat állítottunk elő. A cél egy olyan szintézismódszer kidolgozása volt, mellyel a nanohibridek összetétele egyszerűen hangolható. Ezt követően tanulmányozni kívántuk az összetétel hatását a fotoelektrokémiai sajátságokra, illetve a nanokompozitok alkalmazhatóságát fotoelektrokémiai CO₂⁻, és H⁺ redukciós folyamatokban. Végül pedig vizsgálni akartuk a nanoszén mátrixok hatását a vezetésre, fényabszorpció sajátságokra, és a keletkező termékek mennyiségére, illetve minőségére.

A második esetben célul tűztük ki **a töltéshordozó transzfer sajátságok javítását**, mégpedig a polianilin ko-katalizátorként történő alkalmazásával a SiC nanorészecskék felületén. Célunk polianilin/SiC nanokompozitok előállítását volt mind fotokatalitikus-, mind pedig elektrokémiai polimerizációs módszerekkel, melyek eredményeképp egy vékony, elektroaktív bevonat képződik a SiC nanorészecskék felületén. Következő lépésben vizsgálni kívántuk a nanokompozitok fotoelektrokémiai viselkedését, illetve fotoelektrodként történő alkalmazhatóságukat a CO₂ fotoelektrokémiai redukciójára.

2. KÍSÉRLETI MÓDSZEREK ÉS ELJÁRÁSOK

A CNT-, és grafén szuszpenziókat az előmelegített üvegszén (GC) elektródfelületre spray-coating technikával vittük fel, egy Alder AD320 típusú airbrush és egy házi készítésű spray-coater robot segítségével. Az alkalmazott gáznyomás 1 bar volt. A felfújt rétegek pontos tömegét egy Mettler Toledo XPE-26 típusú analitikai mérleggel határoztuk meg.

Az (foto)elektrokémiai méréseket egy Metrohm Autolab PGSTAT302 típusú potenciosztáton végeztük. A polimer rétegek szintézisét egy klasszikus három elektródos cellaelrendezésben kiviteleztük. Referencia elektródként egy Ag/AgCl/3M NaCl elektródot használtunk, míg az ellenelektrod minden esetben egy megfelelően nagy felületű Pt lemez volt. Munkaelektrodként pedig vagy Au lemezt, vagy GC elektródot (önmagukban, vagy beborítva a megfelelő nanoszenekkel, illetve SiC nanorészecskékkel) használtunk.

A vezető polimer rétegeket potenciodinamikus (polianilin, poli(N-metilanilin)), galvanosztikus (polipirrol), illetve potenciosztatikus (poli(3,4-etiléndioxitiofén)) polimerizációval választottuk le a csupasz-, illetve a nanoszenekkel, vagy SiC-dal bevont munkaelektrod felületére, klasszikus három elektródos cellaelrendezést használva.

A lineáris fotovoltammetriás méréseket egy saját tervezésű egyterű, zárt, három elektródos kvarc cellában végeztük. A munkaelektrod felülete minden esetben vagy a megfelelő vezető polimerrel, vagy nanokompozittal volt beborítva. Ellenelektrodként Pt lemezt, míg referencia elektródként Ag/AgCl/3M NaCl elektródot alkalmaztunk. Méréseink során két fényforrást használtunk:

- Newport LCS-100 típusú *napfény szimulátor*, maximális fényintenzitás. A fényforrást a munkaelektrod felületétől 5 cm távolságra helyeztük el (200 mW cm^{-2} fluxus), melyet egy kvarc ablakon keresztül világítottunk meg.
- Hamamatsu L8251 300W Hg-Xe lámpa. A fényforrást a munkaelektrod felületétől 5 cm távolságra helyeztük el (180 mW cm^{-2} fluxus), melyet egy kvarc ablakon keresztül világítottunk meg.

Az IPCE méréseket egy Newport Quantum Efficiency Measurement System készülékkel végeztük egy egyterű, zárt, három elektródos kvarc cellában.

A minták elektrokémiai impedancia spektrumait 10 Hz-től 100 kHz-es frekvencia tartományban vettük fel, szinuszos gerjesztési jelet használva (10 mV RMS amplitúdó). A

spektrumok modulus-súlyozott illesztését az Autolab potenciosztát Nova szoftvercsomagja segítségével végeztük.

A hosszú távú fotoelektrokémiai méréseket egy kétterű, zárt, kvarc ablakkal ellátott cellában végeztük. A cellatereket Nafion 117[®] membránnal választottuk el. A reakció során a gáz mintavételt on-line rendszerrel végeztük, mely a cella katódteréhez volt csatlakoztatva. A gáz- és folyadék mintavétel egyszerre történt a cella katódteréből. A gáz minták analíziséhez egy Shimadzu GC-2010 Plus gáz kromatográfot használtunk, mely egy BID detektorral volt felszerelve. A keletkezett termékek mennyiségi analízise előtt kalibrációs méréseket végeztünk H₂, CO, CH₄ és C₂H₄ gázok elegyét használva, 0.1 V/V%-tól 10 V/V%-os koncentrációig. A folyadék minták analízisét egy Shimadzu GC-MS 2010 SE készülékkel végeztük, melyhez egy MS QP2010 típusú detektor volt csatlakoztatva. A szelektív ionkövetés (SIM-MS) biztosította a minták kvalitatív analízisét, a teljes ionkromatogram pedig lehetővé tette a keletkezett metanol és etanol mennyiségi analízisét.

A Raman spektrumokat egy DXR Raman mikroszkóppal (Thermo Scientific, Waltham, USA) vettük fel, $\lambda = 532$ nm-es lézert alkalmazva, 5-10 mW intenzitással.

Az ATR-FT-IR méréseket egy Bio-Rad Digilab Division FTS-65A/896 FT-IR készülékkel végeztük. A CO₂ adszorpciójából eredő spektrális változásokat FT-IR spektroszkópiával követtük egy Agilent 670 FT-IR készüléket alkalmazva, melyhez egy Harrick's Praying Mantis[™] diffúz reflexiós feltét volt csatlakoztatva.

Az egyes alkotók és a nanokompozitok morfológiáját pásztázó-, illetve transzmissziós elektronmikroszkópiával vizsgáltuk (SEM és TEM). A SEM felvételek elkészítéséhez egy Hitachi S-4700 típusú téremissziós pásztázó elektronmikroszkópot használtunk, 10 kV-os gyorsító feszültséget alkalmazva. A TEM mérésekhez pedig egy FEI Tecnai G² X-Twin típusú készüléket, 200 kV-os gyorsító feszültséget alkalmazva.

A CO₂ adszorpcióját a polimer filmekben kvarckristály mikrogravimetriás (QCM) technikával vizsgáltuk egy Stanford Research Systems QCM 200 készüléket alkalmazva.

A termoanalitikai méréseket (TG és dTG) egy TA Q800 TGA készülékkel végeztük. Egy tipikus kísérlet során a 3-5 mg tömegű minta szintetikus levegőben (20.5 % O₂ N₂-ben) szobahőmérsékletről 800 °C-ra került felfűtésre, 10 °C/perces felfűtési sebességet alkalmazva.

A Kelvin-szondával csatolt, légköri nyomáson üzemelő UV fotoelektron spektroszkópiás (APS) méréseket egy KP Technology APS04 készülékkel végeztük. Először az egyensúly beállta után a minta és a Kelvin-szonda között kialakuló kontakt potenciálkülönbséget (CPD) határoztuk meg. Ezt követően az APS méréseket stacionárius Kelvin-szondával végeztük.

3. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK TÉZISSZERŰ BEMUTATÁSA

Vezető polimer elektródok fotoelektrokémiai viselkedése

T1. Redukált állapotban a polianilin, polipirrol, poli(N-metilanilin), illetve a poli(3,4-etiléndioxitifén) p-típusú félvezetőként viselkedik.

Ezt az állítást igazolja mind a mért pozitív fotopotenciál, mind pedig a mért katódos fotoáram. A legnagyobb kinyerhető fotoáram (N_2 -nel telített elektrolit oldatban) $80 \mu A cm^{-2}$ volt a polianilin elektródok esetében, $110 \mu A cm^{-2}$ a poli(3,4-etiléndioxitifén) esetében, míg ezeknél jóval kisebb a másik két tanulmányozott polimer esetében.

T2. A CO_2 fotoelektrokémiai redukciója megvalósítható polianilin elektródokon, 500-700 mV-tal pozitívabb potenciálon CO_2 redukciós folyamatok többségének termodinamikai potenciájához képest (pl. metanol képződés). A hosszú távú fotoelektrolízis során redukciós termékként H_2 , metanol és etanol fejlődött.

A katódos fotoáramok a H^+ ionok, illetve CO_2 polianilin/vezető polimer határfelületen történő redukciójából származnak. CO_2 jelenlétében a mérhető fotoáramokban mintegy kétszeres növekmény volt tapasztalható a N_2 -nel telített oldatokban végzett mérésekhez képest. A GC-BID és GC-MS mérések alapján az áthaladt töltés 20%-a (Faraday hatékonyság) H_2 fejlesztésre fordítódott, a fennmaradó pedig az alkoholok képződésére. A N_2 -nel telített oldatok esetén csak H_2 volt az egyetlen kimutatható termék.

T3. Azonosítottuk azokat az alapvető fizikai-kémiai sajátságokat, amelyekkel egy adott vezető polimer fotoelektródnak rendelkezni kell, hogy azon a CO_2 redukciós folyamatok lejátszódjanak.

A CO_2 fotoelektrokémiai redukciója végbemegy vezető polimer fotoelektródokon, ha: (i) a E_{CB} -nek megfelelően negatívnak kell lenni, hogy a fotogenerált elektronok képesek legyenek redukálni a CO_2 -ot, (ii) E_{VB} -nek megfelelően pozitívnak kell lennie ahhoz, hogy a vezető polimer félvezetőként viselkedjen a fotoelektrokatalitikus folyamat potenciáltartományában, illetve (iii) a polimernek jó CO_2 -adszorpciós kapacitással kell rendelkeznie, melyet a struktúrában jelenlévő N–H csoportok biztosítanak, amelyeken a CO_2 kemisorpciója megvalósulhat.

T4. Mind a polianilin, mind pedig a poli(3,4-etiléndioxitifén) korlátozott fotostabilitást mutatott, mely a fotoáram hosszú távú fotoelektrolízis kísérletek alatt tapasztalt fokozatos csökkenésében mutatkozott meg.

A fotoáram fokozatos csökkenése minden esetben megfigyelhető volt a hosszú távú fotoelektrolízis kísérletek alatt. Ezzel szemben a polimer filmek elektroaktivitása nem változott szignifikánsan. Ebből arra lehet következtetni, hogy a fotoelektrokémiai aktivitás csökkenésének oka nem a polimer molekuláris/szupramolekuláris degradációja. A polianilin esetén a fotoáram gyors csökkenését a felületi töltéshordozó rekombináció eredményeképp fellépő lokális hőeffektusoknak tulajdonítottuk, melyek hatására a polimer réteg felülete megolvadt, így az aktív felület nagymértékű csökkenését eredményezve.

Vezető polimer/nanoszén elektródok előállítása és fotoelektrokémiai viselkedésük vizsgálata

T5. A sima polimerhez képest megnövekedett fotoelektrokémiai aktivitást tapasztaltunk mind a polianilin/nanoszén, mind pedig a poli(3,4-etiléndioxitifén)/nanoszén rendszerek esetén, melynek oka a fotogenerált töltéshordozók hatékonyabb transzportja a nanoszén mátrixon keresztül.

A sima polimerhez képest maximum négyszer nagyobb fotoáramokat mértünk a poli(3,4-etiléndioxitifén)/CNT rendszer esetén, míg ez a növekmény két és félszeres volt a poli(3,4-etiléndioxitifén)/grafén rendszer esetén. Hasonló következtetések vonhatók le a polianilin/nanoszén rendszerekről is, azonban a tapasztalt növekmény nem volt ennyire jelentős. Elektrokémiai impedancia spektroszkópiás mérések alapján elmondható, hogy a nanoszének jelentősen növelték a nanokompozitok elektromos vezetését a tiszta polimerekéhez képest.

T6. A nanoszén jelenléte nem volt hatással a fényelnyelési sajátságokra, a fotostabilitásra és a fejlődő termékekre a poli(3,4-etiléndioxitifén)/nanoszén elektródok esetében.

Az IPCE görbék karakterisztikája mindhárom rendszer esetén azonos volt (a fényelnyelés hullámhossztartományával egyetemben), míg a görbék maximuma követte a fotovoltammetriás méréseknél már megfigyelt trendet (a legnagyobb értékeket a CNT-tartalmú elektródok esetén mértük). Az egyetlen kimutatható termék a H₂ volt mind a sima

polimer, mind pedig a nanokompozitok esetén, mely közel 100%-os Faraday hatékonysággal fejlődött.

Polianilin/SiC elektródok előállítása és fotoelektrokémiai viselkedésük vizsgálata

T7. Polianilin választható le SiC nanorészecskék felületére mind fotokatalitikus-, mind pedig elektrokémiai polimerizációval. A leválasztott polimer réteg vastagsága a megvilágítás-, vagy pedig az elektrokémiai polimerizáció idejének változtatásával szabályozható.

A fotokatalitikus úton leválasztott polianilin rétegek vastagsága a megvilágítás idejének szabályzásával 1,0 – 2,5 nm között változott, míg ez az érték a potenciodynamikusan leválasztott polimer esetében 2 – 10 nm-nek adódott.

T8. A megvilágító fény hullámhossza jelentős hatással bírt a fotokatalitikus úton leválasztott polianilin szerkezetére és elektroaktivására.

Rezgési spektroszkópiás- és elektrokémiai vizsgálataink bebizonyították, hogy kulcsfontosságú a 300 nm alatti hullámhosszúságú fény kiszűrése a szintézis során, ugyanis konjugált elektronszerkezettel rendelkező polianilin leválása csak ebben az esetben volt megfigyelhető.

T9. A sima polimerhez képest nagyobb és stabilabb fotoáramokat mértünk a polianilin/SiC nanokompozit fotoelektródok esetén.

A polimer egyértelműen jelentős hatással bírt a fotoelektrokémiai sajátságokra: mintegy kétszer nagyobb fotoáramokat detektáltunk a sima polimerhez képest az optimális összetételű nanokompozit minta esetén. A hibridek esetén tapasztalt megnövekedett fotoelektrokémiai aktivitás magyarázata: (i) geometriai effektusok, a PANI/SiC rétegek megnövekedett specifikus felülete miatt, (ii) többlet fotogenerált töltéshordozók a kisebb E_{BG} -ű SiC-től, illetve (iii) a PANI katalitikus hatása, mely nagyban elősegíti a töltéstranszfert a SiC-től a szubsztrátum molekulákra.

4. TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK

Magyar Tudományos Művek Tára (MTMT) azonosító: 10039524

Az értekezéshez kapcsolódó tudományos közlemények

1. **A. Kormányos**, B. Endrődi, R. Ondok, A. Sápi, C. Janáky, Controlled photocatalytic synthesis of core-shell SiC/polyaniline hybrid nanostructures, *Materials* 9 (2016) 201-214.
IF₂₀₁₆ = 2.654
2. D. Hursán, **A. Kormányos**, K. Rajeshwar, C. Janáky, Polyaniline films photoelectrochemically reduce CO₂ to alcohols, *Chem. Commun.* 52 (2016) 8858–8861.
IF₂₀₁₆ = 6.319
3. **A. Kormányos**, R. Ondok, C. Janáky, Electrosynthesis and photoelectrochemical properties of polyaniline/SiC nanohybrid electrodes, *Electrochim. Acta* 256 (2017) 73-80.
IF₂₀₁₆ = 4.798
4. **A. Kormányos**, D. Hursán, C. Janáky, Photoelectrochemical behavior of PEDOT/nanocarbon electrodes: fundamentals and structure-property relationships, *J. Phys. Chem. C*. revised version submitted
IF₂₀₁₆ = 4.536

ΣIF = 18.307

Az értekezés témájához nem kapcsolódó, nemzetközi folyóiratban megjelent tudományos közlemények

5. C. Janáky, **A. Kormányos**, C. Visy, Magnetic hybrid modified electrodes, based on magnetite nanoparticle containing polyaniline and poly(3,4-ethylenedioxythiophene), *J. Solid State Electrochem.* 15 (2011) 2351–2359.
IF₂₀₁₁ = 2.131
6. B. Endrődi, **A. Kormányos**, C. Janáky, O. Berkesi, C. Visy, Fixation of laccase enzyme into polypyrrole, assisted by chemical interaction with modified magnetite nanoparticles: A facile route to synthesize stable electroactive bionanocomposite catalysts, *Electrochim. Acta.* 122 (2014) 282–288.
IF₂₀₁₄ = 4.504
7. G. Galbács, H. Szokolai, **A. Kormányos**, A. Metzinger, L. Szekeres, C. Marcu, F. Peter, C. Muntean, A. Negrea, M. Ciopec, Cd(II) capture ability of an immobilized, fluorescent hexapeptide, *Bull. Chem. Soc. Jpn.* 89 (2015) 243–253.
IF₂₀₁₅ = 1.372

8. **A. Kormányos**, A. Thomas, M.N. Huda, P. Sarker, J.P. Liu, N. Poudyal, C. Janáky, K. Rajeshwar, Solution Combustion Synthesis, Characterization, and photoelectrochemistry of CuNb_2O_6 and ZnNb_2O_6 nanoparticles, *J. Phys. Chem. C.* 120 (2016) 16024–16034.
IF₂₀₁₆ = 4.536
9. **A. Kormányos**, M.S. Hossain, G. Ghadimkhani, J.J. Johnson, C. Janáky, N.R. de Tacconi, F.W. Foss, Y. Paz, K. Rajeshwar, Flavin derivatives with tailored redox properties: synthesis, characterization, and electrochemical behavior, *Chem. Eur. J.* 22 (2016) 9209–9217.
IF₂₀₁₆ = 5.317
10. **A. Kormányos**, M.S. Hossain, F.W. Foss, C. Janáky, K. Rajeshwar, Electrocatalytic behavior of freely-diffusing and immobilized synthetic flavins in aqueous media, *Catal. Sci. Technol.* 6 (2016) 8441–8448.
IF₂₀₁₆ = 5.773
11. T. Varga, H. Haspel, **A. Kormányos**, C. Janáky, Á. Kukovecz, Z. Kónya, Nitridation of one-dimensional tungsten oxide nanostructures: Changes in structure and photoactivity, *Electrochim. Acta.* 256 (2017) 299–306.
IF₂₀₁₆ = 4.798

Az értekezés témájához nem kapcsolódó, hazai folyóiratban megjelent tudományos közlemények

12. B. Endrődi, **A. Kormányos**, G. Bencsik, E. Peintler-Kriván, C. Janáky, C. Visy, Polipirrol/magnetit kompozit vékonyrétegek szintézise és elektrokatalitikus tulajdonságaik jellemzése, *Magyar Kémiai Folyóirat – Kémiai Közlemények* 120 (2014) 67–71.
IF = -

ΣΣIF = 46.738

Részvétel nemzetközi konferencián

Első szerzőként

1. **A. Kormányos**, C. Janáky, B. Endrődi, C. Visy Lakkáz-enzim rögzítése vezető polimer mátrixban magnetit nanorészecskék segítségével, *XXXV. Kémiai Előadói Napok*, 2012. október 29 - 31., Szeged, Hungary
2. **A. Kormányos**, C. Janáky, G. Bencsik, Z. Lukács, B. Endrődi, C. Visy Lakkáz-enzim rögzítése vezető polimer mátrixban magnetit nanorészecskék segítségével, *A szenzor kutatás legújabb eredményei workshop V.*, 2013. április 18 - 19., Pécs, Hungary
3. **A. Kormányos**, A. Thomas, K. Rajeshwar, C. Janáky Synthesis and characterization of p-type semiconductor inorganic nanocrystals for photoelectrochemical fuel generation *250th ACS National Meeting* 2015. augusztus 16 - 21., Boston USA

4. **A. Kormányos**, M. S. Hossain, F. W. Foss, K. Rajeshwar, C. Janáky Electrochemistry of Synthetic Flavins in Aqueous Media XXXVIII. *Kémiai Előadói Napok*, 2015. október 26 - 28., Szeged, ACS Hungary section
5. **A. Kormányos**, D. Hursán, C. Janáky, E. Kecsenovity, K. Rajeshwar Photoelectrochemical reduction of CO₂ on organic/inorganic nanocomposite photoelectrodes *253rd ACS National Meeting*, 2017 április 02 - 06. San Francisco, USA
6. **A. Kormányos**, D. Hursán, C. Janáky, E. Kecsenovity, K. Rajeshwar Photoelectrochemical reduction of CO₂ on organic/inorganic nanocomposite photoelectrodes *21st Topical Meeting of ISE*, 2017 április 23 - 26., Szeged, Hungary

Társszerzőként

7. C. Janáky, **A. Kormányos**, D. Hursán, K. Rajeshwar Photoelectrochemical reduction of CO₂ on hybrid organic/inorganic photocathodes *248th ACS National Meeting*, 2014 augusztus 10 - 14. San Francisco, USA
8. C. Janáky, A. Varga, **A. Kormányos**, G. F. Samu, K. Rajeshwar – Hybrid organic/Inorganic assemblies with tailored photoelectrochemical activity: from synthetic aspects to energy applications - *7th Forum on New Materials (CIMTEC)*, 2016 június 5 - 9., Perugia, Italy
9. G. F. Samu, **A. Kormányos**, A. Thomas, K. Rajeshwar, C. Janáky – Rapid and sustainable synthesis of metal oxide photocatalyst nanostructures - *9th European meeting on Solar Chemistry and Photocatalysis: Environmental Applications (SPEA9)*, június 13 - 17, 2016, Strasbourg, France
10. D. Hursán, C. Janáky, T. Kiss, **A. Kormányos**, R. Ondok Photoelectrochemistry of organic semiconducting polymers: fundamentals and implications in solar fuels generation *21st Topical Meeting of ISE*, 2017 április 23 - 26., Szeged, Hungary
11. D. Hursán, C. Janáky, T. Kiss, **A. Kormányos**, R. Ondok Photoelectrochemistry of conducting polymers and opportunities in solar fuel generation *254th ACS National Meeting*, 2017. augusztus 20 - 24., Washington DC, USA
12. D. Hursán, C. Janáky, T. Kiss, **A. Kormányos**, R. Ondok Solar fuel generation using organic semiconducting polymer photoelectrodes *68th Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry*, 2017. augusztus 27 - szeptember 1., Providence, USA,

Poszter prezentáció

1. G. Galbács, **A. Kormányos** Modelling of repetitive optical microstructures for sensor design, 18. *The International Symposium on analytical and environmental problems, with special emphasis on heavy metal ions as contaminants*, 2012. szeptember 24. Szeged, Hungary
2. B. Endrődi, **A. Kormányos**, O. Berkesi, C. Janáky, C. Visy Laccase-enzyme entrapment into a conducting polymer matrix, assisted by magnetite nanoparticles: A simple route to form bionanocomposites for electrochemical oxygen reduction, *12th Topical Meeting of the*

International Society of Electrochemistry, 2013. március 17 - 21., Bochum, Germany

3. **A. Kormányos**, K. Rajeshwar, N. R. de Tacconi, M. S. Hossain, G. Ghadimkhani, J. J. Johnson, C. Janáky, F. W. Foss Jr. Electrochemistry and UV-visible Spectroelectrochemistry of Synthetic Flavins in Aqueous Media *ACS Southwest Regional Meeting*, 2014. november 19 – 22. Fort Worth, TX, USA
4. **A. Kormányos**, A. Thomas, K. Rajeshwar, C. Janáky Synthesis and Characterization of p-type semiconductor inorganic materials for photoelectrochemical fuel generation *Workshop on the Electrochemistry of Electroactive Materials*, 2015. május 31 - június 05. Bad Herrenalb, Germany
5. **A. Kormányos**, A. Thomas, M. N. Huda, P. Sarker, J. Ping Liu, N. Poudyal, K. Rajeshwar, C. Janáky Solution combustion synthesis, characterization and photoelectrochemistry of CuNb_2O_6 and ZnNb_2O_6 nanoparticles, *7th Forum on New Materials (CIMTEC)*, 2016 június 5 - 9, Perugia, Italy
6. **A. Kormányos**, B. Endrődi, R. Ondok, A. Sápi, C. Janáky Controlled Photocatalytic Synthesis of SiC/polyaniline core-shell nanostructures *9th European meeting on Solar Chemistry and Photocatalysis: Environmental Applications (SPEA9)*, június 13 - 17, 2016, Strasbourg, France
7. R. Ondok, **A. Kormányos**, C. Janáky Controlled synthesis and CO_2 photoelectroreduction activity of conducting polymer/SiC hybrid nanostructures *21st Topical Meeting of ISE*, 2017 április 23 - 26., Szeged, Hungary

Doktori fokozattal *nem rendelkező* társszerzők lemondó nyilatkozata

D. Hursán, **A. Kormányos**, K. Rajeshwar, C. Janáky, Polyaniline films photoelectrochemically reduce CO₂ to alcohols, *Chem. Commun.* 52 (2016) 8858–8861.

IF₂₀₁₆ = 6.319

A. Kormányos, D. Hursán, C. Janáky Photoelectrochemical behavior of PEDOT/nanocarbon electrodes: fundamentals and structure-property relationships, *J. Phys. Chem. C.* revised version submitted

IF₂₀₁₆ = 4.536

Alulírott nyilatkozom, hogy a jelölt publikációkhoz kapcsolódó téziseit (T1-T6) ismerem, a tézisekben foglalt tudományos eredményeket tudományos fokozat megszerzéséhez nem használtam fel, s tudomásul veszem, hogy azokat ilyen célból a jövőben sem használhatom fel.

Szeged, 2018. március 8.

.....
Hursán Dorottya

A. Kormányos, B. Endrődi, R. Ondok, A. Sági, C. Janáky, Controlled photocatalytic synthesis of core–shell SiC/polyaniline hybrid nanostructures, *Materials* 9 (2016) 201-214.

IF₂₀₁₆ = 2.654

A. Kormányos, R. Ondok, C. Janáky Electrosynthesis and photoelectrochemical properties of polyaniline/SiC nano hybrid electrodes, *Electrochim. Acta* 256 (2017) 73-80.

IF₂₀₁₆ = 4.798

Alulírott nyilatkozom, hogy a jelölt publikációkhoz kapcsolódó téziseit (T7-T9) ismerem, a tézisekben foglalt tudományos eredményeket tudományos fokozat megszerzéséhez nem használtam fel, s tudomásul veszem, hogy azokat ilyen célból a jövőben sem használhatom fel.

Szeged, 2018. március 8.

.....
Ondok Róbert Csaba

