

Doktori (Ph.D.) értekezés tézisei

Hursán Dorottya

**SZÉN-DIOXID ELEKTROKÉMIAI REDUKCIÓJA
NITROGÉNNEL ADALÉKOLT SZÉN ELEKTRÓDOKON**

TÉMAVEZETŐ:

Dr. Janáky Csaba

egyetemi docens

Kémia Doktori Iskola



Szegedi Tudományegyetem

Természettudományi és Informatikai Kar

Fizikai Kémiai és Anyagtudományi Tanszék

Szeged, 2019

1. Bevezetés és célkitűzések

Napjaink társadalmának egyik legnagyobb kihívása, hogy a fosszilis energiahordozók használatáról áttérjünk egy megújuló energiaforrásokon alapuló, fenntartható energiagazdaságra. A szén-dioxid elektrokémiai redukciója tüzelőanyagokká és kémiai nyersanyagokká ígéretes módszer lehet ennek elősegítésére. A folyamat előnye, hogy kiindulási anyaga a légkörben az utóbbi évtizedekben jelentősen megnövekedett mennyiségű üvegházhatású gáz, továbbá az energiaszükséglete könnyedén biztosítható az egyre olcsóbbá váló, azonban időszakos megújuló energiák segítségével (pl. napelemek). Így kémiai kötések formájában tárolhatjuk a gyakorlatilag korlátlanul rendelkezésünkre álló napenergiát és egyúttal mérsékelhetünk egy környezetkárosító hatást. Annak érdekében, hogy a CO₂ redukció versenyképes legyen a hagyományos, fosszilis tüzelőanyagokon alapuló módszerekkel, hatékony elektrokatalizátorok fejlesztése szükséges.

A (fém-) és nitrogén adalékolt szenek ((M)–N–C) egy új, igen reményteli csoportja a CO₂ redukciós katalizátoroknak. Számos előnyük van az eddig ismert leghatékonyabb fém elektrokatalizátorokhoz képest:

- Egyszerű szintézismódszerekkel költséghatékonyan előállíthatók;
- Számos tulajdonságuk már a szintézis során hangolható (kémiai összetétel, porozitás);
- A nitrogénatomok jelenléte segíti a reaktáns CO₂ adszorpcióját és aktiválódását;
- Kiváló elektromos vezetők lehetnek;
- A pórusos szerkezet miatt nagy fajlagos felületek érhetők el;
- Jó a kémiai-, mechanikai- és hőstabilitásuk.

Bár igen biztatók az elmúlt évtizedben ezen a területen elért eredmények, számos megválaszolendő kérdés áll fent az (M)–N–C katalizátorok szén-dioxid redukciós teljesítményét meghatározó tényezők terén.

A Szegedi Tudományegyetem Fizikai Kémiai és Anyagtudományi Tanszékén működő Fotoelektrokémiai Kutatócsoport egyik fő kutatási területe a szén-dioxid redukciós elektrokatalizátorok fejlesztése. Doktori tanulmányaim kezdetén új irányvonalként jelöltük ki a nitrogénnel adalékolt szén elektródok vizsgálatát. **Célunk volt, hogy mind a katalizátor anyagi tulajdonságai, mind pedig a folyamat mechanizmusa tekintetében fényt derítsünk a katalitikus aktivitást befolyásoló legfontosabb paraméterekre.**

Első lépésként arra a kérdésre kerestük a választ, hogy **a CO₂ redukcióban mi a közvetlenül reagáló részecske egy nitrogénnel adalékolt szén katalizátor felületén.** Ennek érdekében szelektív izotópjelzéses vizsgálatokat hajtottunk végre, melyeket pH-függő kontroll elektrolízis kísérletekkel egészítettünk ki.

Ezt követően az N–C katalizátorok fizikai-kémiai tulajdonságaira összpontosítottunk. Célunk volt olyan katalizátorokat előállítani, melyek a porozitáson kívül minden egyéb fizikai-kémiai jellemzőikben közel megegyeztek, így modellrendszerként szolgálhattak **a morfológia CO₂ redukcióra gyakorolt hatásának a tanulmányozására.** A legkedvezőbb pórusméret megtalálását követően a katalizátorok kémiai tulajdonságait hangoltuk a szintézis során a prekursorok minőségének megfelelő megválasztásával. Összefüggést kívántunk felállítani a röntgen-fotoelektron spektroszkópia segítségével meghatározott **felületi összetétel és a katalitikus aktivitás** között, segítve ezzel az aktív centrumok azonosítását. Ismert, hogy a fématomok N–C vázba való építésével jelentős aktivitásnövekedés érhető el a CO₂ redukcióban. Ennek fényében különböző - korábban még nem, vagy kevésbé vizsgált - fémeket tartalmazó **M–N–C katalizátorokban a fémcentrumok CO₂ redukcióra és hidrogénfejlesztésre gyakorolt hatását** kívántuk vizsgálni.

2. Kísérleti módszerek és eljárások

A fémmentes N–C katalizátorokat vezető polimer prekursorokból (polianilin, polipirrol, poli(o-feniléndiamin)) magas hőmérsékletű pirolízissel állítottuk elő. A pórusos minták esetén különböző átmérőjű monodiszperz szilika nanorészecskéket használtunk templátként a pórusok kialakításához, melyeket a pirolízist követően hidrogén-fluoriddal oldottunk ki a szénvázból. Az M–N–C katalizátorokat Prof. Plamen Atanassov kutatócsoportjában (University of New Mexico; Center for Micro-Engineered Materials) 4-aminoantipirin prekurból és a megfelelő fém sójából szintén templát módszerrel állították elő.

Az elektrokémiai vizsgálatokhoz a katalizátorokat a megfelelő szuszpenziókból egy Alder AD320 típusú festékszóró pisztollyal és egy egyedi készítésű automata spréző berendezéssel vittük fel előmelegített üvegszén elektródok felületére. A felfújt katalizátorok pontos tömegét egy Mettler Toledo XPE-26 típusú analitikai mikromérleggel ellenőriztük.

Az elektrokémiai méréseket egy Autolab PGSTAT204 típusú potenciosztát-galvanosztáttal végeztük, háromelektrodos elrendezésben. Munkaelektrodként a katalizátorral borított üvegszén lemezeket használtuk, melyek potenciálját egy Ag / AgCl / 3M NaCl másodfajú referenciaelektrodhoz képest mértük. Az ellenelektrod minden esetben egy Pt lemez volt. A ciklikus voltammogramokat – melyekből az elektródok aktív felületét becsültük – egy egyterű, zárt cellában vettük fel. A redukciós folyamatok tanulmányozására szolgáló lineáris voltammeteriás és kronoamperometriás méréseket kétterű zárt elektrokémiai cellákban végeztük a munkaelektrodon és az ellenelektrodon képződő termékek keveredésének elkerülése érdekében. A két cellateret egy üvegfritt (voltammeteria) vagy egy Nafion 117[®] protoncsere membrán (kronoamperometria) választotta el.

A CO₂ redukció folyamán keletkező termékeket gázkromatográfiával (gázfázis) és ¹H NMR spektroszkópiával (folyadékfázis) vizsgáltuk. Az elektrolízis cella katódtere közvetlen összeköttetésben volt a gázkromatográf injektorával egy hatutas szelepen keresztül, így a gáztermékek analízisét *on-line* végezhetjük. Az analízishez egy kisülési ionizációs (BID) detektorral felszerelt Shimadzu Tracera 2010 Plus típusú gázkromatográfot használtunk. A termékek mennyiségi meghatározásához a kalibrációt pontosan ismert koncentrációjú gázkeverékekkel (H₂, CO, CH₄, C₂H₄) a 0,1 – 10 V/V % tartományban végeztük. Az ¹H NMR spektroszkópiás méréseket egy 500 MHz-es Bruker Avance készülékkel végeztük vízelnyomásos

módszerrel. A mennyiségi analízishez belső standardes kalibrációt alkalmaztunk. Az izotópjelzéses kísérletek során egy Shimadzu 2010 S típusú GC-MS készülékkel vizsgáltuk a redukció során keletkező CO izotópösszetételét szelektív ionkövetés módban.

A Raman-spektrumokat egy Senterra II Compact típusú Raman mikroszkóppal (Bruker) vettük fel 532 nm hullámhosszú lézer gerjesztéssel, $\leq 2,5$ mW teljesítménnyel és 50 x objektívvel.

A röntgendiffraktogramok felvételéhez egy Rigaku Miniflex II műszert használtunk $2\Theta = 10^\circ - 80^\circ$ tartományon Cu $K\alpha$ sugárzás alkalmazásával ($\lambda=0,1541$ nm).

A katalizátorok morfológiáját transzmissziós és pásztázó elektronmikroszkópiával vizsgáltuk. A TEM felvételeket egy FEI Tecnai G2 20X-Twin elektronmikroszkóppal készítettük 200 kV gyorsító feszültség mellett, míg a SEM képek felvételéhez egy Hitachi S4700 téremissziós elektronmikroszkópot használtunk 10 kV gyorsítófeszültség alkalmazásával.

A fajlagos felületek és a pórusméret-eloszlások meghatározása céljából felvettük a katalizátorok N_2 adszorpció / deszorpció izotermáit egy Quantachrome Nova 3000e műszerrel, 77,4 K-en. Az izotermák felvétele előtt a mintákat két órán keresztül 200 °C-on vákuumban tartottuk az adszorbeált gázok eltávolítása céljából.

A katalizátorok felületének kémiai összetételét röntgen-fotoelektron spektroszkópiával határoztuk meg. A méréseket és a spektrumok értékelését Prof. Plamen Atanassov csoportjában (University of New Mexico; Center for Micro-Engineered Materials) végezték egy Kratos Axis Ultra DID spektrométerrel monokromatikus Al $K\alpha$ sugárzással (300 W). A spektrumok analízise CasaXPS szoftver segítségével történt.

A katalizátor vékonyrétegek nedvesedési tulajdonságait dinamikus haladó és hátráló peremszögek mérésével vizsgáltuk. Tesztfolyadékként desztillált vizet használtunk, a peremszöget egy Krüss GmbH EasyDrop műszer és DSA100 szoftver segítségével határoztuk meg.

A CO_2 katalizátor felületen történő adszorpciójának erősségét hőmérséklet programozott deszorpció mérésével tanulmányoztuk egy BELCAT-A típusú készülékkel. Az előkezelési lépéseket követően a CO_2 -ot 50 °C-on, 30 percen keresztül adszorbeáltattuk a katalizátorokon. A nem adszorbeált CO_2 -ot héliumos öblítéssel távolítottuk el. A deszorpció lépésben a katalizátor mintákat He áramban 500 °C-ra fűtöttük és a deszorbeált CO_2 -ot egy hővezetőképességi detektorral analizáltuk.

A CO₂ redukció során az elektród felületén képződő gázbuborékok (CO₂ és H₂) távozási méretét és tartózkodási idejét egy digitális mikroszkóp (500x nagyítás) és az ImageJ képanalízis szoftver segítségével határoztuk meg.

3. Új tudományos eredmények tézisszerű bemutatása

CO₂ redukció mechanizmusának vizsgálata izotópjelzéses kísérletekkel

T1. Megfelelő geometriájú zárt elektrokémiai cellában a gázfázisú CO₂ és az oldott HCO₃⁻ ionok közötti dinamikus egyensúlyi állapot kialakulása nem pillanatszerű, esetünkben mintegy két óra volt szükséges ennek eléréséhez.

Ennek megfelelően, ha egy CO₂ / HCO₃⁻ rendszerben szelektív izotópjelzéses körülmények között végezzük a CO₂ redukciót (vagy csak a CO_{2,g} vagy csak a HCO₃⁻,aq a ¹³C jelzett), és követjük a keletkező CO izotópösszetételét a hidrogén-karbonát só oldásától számított kb. egy órában, információt kaphatunk arról, hogy a CO az oldott CO₂ vagy a hidrogén-karbonát ionok közvetlen redukciójából keletkezett-e.

T2. Egy fémentes N–C elektródon végrehajtott CO₂ redukció során az elektród felületén közvetlenül reagáló részecske az oldott CO₂ molekula, azonban az oldatban lévő hidrogén-karbonát ionok kulcsszerepet játszanak a szelektív CO-képződés elérésében.

A szelektív izotópjelzéses vizsgálatok során a redukcióban képződő CO izotópösszetétele a hidrogén-karbonát ionokét tükrözte. A különböző pH-jú elektrolitokban végzett kontroll kísérletek eredménye viszont a CO_{2,aq} közvetlen redukcióját valószínűsítette. Összegezve ezeket az eredményeket azt állapítottuk meg, hogy közvetlenül a CO_{2,aq} alakul át az elektród felületén, azonban a hidrogén-karbonát elektrolit kulcsfontosságú a nagy szelektivitás elérésében. A hidrogén-karbonát ionok mintegy CO₂ pufferként pótolják a fogyó CO_{2,aq}-t a reakciózónában a gyors $\text{HCO}_3\text{,aq}^- + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{CO}_2\text{,aq} + \text{H}_2\text{O}$ egyensúly által.

Nitrogénnel adalékolt szén elektródok pórusszerkezetének hatása a CO₂ redukcióban

T3. Szisztematikus vizsgálatokkal megmutattuk, hogy egy nitrogénnel adalékolt szén katalizátor CO₂ redukciós szelektivitásában mintegy háromszoros növekmény érhető el csupán azáltal, hogy pórusokat alakítunk ki a szén struktúrában. A vizsgált pórusméret-tartományban a CO₂ redukció szempontjából legkedvezőbb pórusátmérő 27 nm volt.

Előállítottunk egy modellkatalizátor-családot, melyben az egyes N–C katalizátorok a pórusméret kivételével egyéb fizikai-kémiai jellemzőikben közel azonosak voltak. Ez lehetőséget nyújtott a morfológia hatásának szisztematikus tanulmányozására a CO₂ redukcióban. Mindegyik vizsgált

katalizátoron CO képződött fő CO₂ redukciós termékként. A pórusok létrehozása a szén struktúrában mintegy háromszorosára növelte a CO képződésre vonatkozó Faraday-hatásfokot a 27 nm pórusátmérő esetén. A pórusos minták között a CO₂ redukciós áram és szelektivitás egyaránt a 90 nm < 13 nm < 27 nm pórusátmérő sorrendben növekedett.

T4. A nitrogénnel adalékolt szén katalizátorok CO₂ redukciós teljesítményének kedvez a katalizátor rétegek szuperhidrofób jellege, az erősebb CO₂ adszorpció és a pórusátmérő csökkenésével együtt járó nagyobb görbületű felületek megjelenése.

A pórusos minták szuperhidrofób jellege kedvezett a CO₂ redukciónak, mivel ez csökkentette a pórusok vízzel való telítődésének lehetőségét és visszaszorította a hidrogénfejlődést. A kisebb pórusátmérők esetén (13 és 27 nm) a képződő buborékok kisebb mérete és nagyobb gyakoriságú távozása által előidézett konvekció is hozzájárult a nagyobb redukciós aktivitáshoz. A 27 nm pórusátmérőjű minta legjobb CO₂ redukciós teljesítményét az ebben az esetben legerősebb CO₂ adszorpcióval magyaráztuk. Végül a kisebb pórusok esetén a nagyobb görbület és a nagyobb arányú éleken (vs. síkban) előforduló hibahelyek is szerepet játszhattak a CO₂ redukció sebességének növekedésében.

Felületi funkciós csoportok szerepe nitrogénnel adalékolt szén elektródok CO₂ redukciós aktivitásában

T5. A különböző prekursorokból a templát módszerrel előállított N–C katalizátorok kémiai összetételükben különböztek, amivel párhuzamosan a CO₂ redukcióban mutatott aktivitás is változott. A CO képződés parciális árama a növekvő teljes nitrogéntartalommal növekedett, kivéve az ammóniával kezelt katalizátor esetén.

A különböző vezető polimerekből előállított N–C katalizátorok N-tartalma 4 és 8 atom% között változott és összhangban volt a kiindulási monomerek N-tartalmával. Azok a minták mutatták a nagyobb CO₂ redukciós aktivitást és szelektivitást, melyek szintézise során a prekursor tartalmazott poli(o-feniléndiamint) is. Ennek oka a nitrogéntartalom növekedése volt. Az ammóniás kezelés kismértékben növelte a PoPD-C aktivitását és szelektivitását, míg a KOH-os kezelés hatására mindkettő drasztikusan visszaesett.

T6. A vizsgált katalizátorok esetén a CO₂ termikus hidrogénezési reakciójában ugyanazok a termékek keletkeztek (CO és CH₄), mint az elektrokémiai CO₂ redukció során. Az egyes katalizátorok CO-fejlesztésben mutatott aktivitásának sorrendje azonos volt az elektrokémiai és a termikus reakció során, így feltételezhető, hogy a két folyamatban az aktív centrumok minősége hasonló.

A különböző prekursorokból előállított katalizátorokat a CO₂ termikus hidrogénezési reakciójában is vizsgáltuk. Ebben az esetben is CO volt a fő termék, míg kisebb mennyiségben CH₄ képződött. A CH₄ / CO arány a termikus reakció során kb. egy nagyságrenddel nagyobb volt az elektrokatalitikus folyamathoz képest. Ezt nagy valószínűséggel a termikus reakció esetén a versengő hidrogénfejlesztés hiánya okozta. A termikus redukcióban ugyanazok a minták bizonyultak aktívabbnak, mint az elektrokémiai redukcióban, vagyis a felületi funkciók csoportok hasonló szerepet töltenek be a két folyamatban.

Fém- és nitrogén adalékolt szén katalizátorok vizsgálata CO₂ redukcióban és H₂ fejlesztésben

T7. Az M–N–C katalizátorok szintézise során a különböző fémionok jelenléte befolyásolta a nitrogén adalékolt szén váz fizikai-kémiai szerkezetét. Ennek következtében az előállított fémtartalmú katalizátorok nitrogéntartalma és elektrokémiaileg aktív felülete is növekedett a fémmentes katalizátorhoz képest.

A különböző prekursor fémsók hatására változott a pirolízis során létrejött N–C váz fizikai- kémiai szerkezete. A teljes N-tartalom 2 és 6 atom% között változott, legkisebb a fémmentes (2,6 %), míg legnagyobb Cu-tartalmú (5,8 %) katalizátor esetén volt. Az elektrokémiai felület mintegy kétszeresére nőtt a fémmentes N–C mintához képest a legnagyobb felületű Mo–N–C esetén.

T8. A fématomok beépítése a nitrogénnel adalékolt szénvázba növelte a teljes redukciós aktivitást, azonban csökkentette a CO₂ redukciós szelektivitást mindegyik vizsgált fém (Cu, Ce, Mo, Pr) esetén.

A fémmentes N–C katalizátorhoz képest a Pr–N–C és a Ce–N–C minták esetén csupán kismértékben nőttek a redukciós áramok, míg a Cu–N–C és a Mo–N–C mintáknál drasztikus növekedést tapasztaltunk. Ez az aktivitás-növekedés a hidrogénfejlődés előtérbe kerüléséhez volt rendelhető, a CO-fejlődésre vonatkozó szelektivitás minden vizsgált fém esetén csökkent a

fémmentes katalizátorhoz képest. A H₂ fejlődésre vonatkozó parciális áramsűrűség a katalizátorok teljes fémtartalmával és piridined nitrogéntartalmával korrelált.

4. Tudományos közlemények

Magyar Tudományos Művek Tára (MTMT) azonosító: 10054957

Az értekezéshez kapcsolódó tudományos közlemények:

D. Hursán, A.A. Samu, L. Janovák, K. Artyushkova, T. Asset, P. Atanassov, C. Janáky: Morphological attributes govern carbon dioxide reduction on N-doped carbon electrodes *Joule*, **2019**, 3, 1719-1733.

A. Roy, **D. Hursán**, K. Artyushkova, P. Atanassov, C. Janáky, A. Serov: Nanostructured metal-N-C electrocatalysts for CO₂ reduction and hydrogen evolution reactions *Appl. Catal. B Environ.*, **2018**, 232, 512–520. **IF₂₀₁₈= 14,229**

D. Hursán, C. Janáky: Electrochemical reduction of carbon dioxide on nitrogen-doped carbons: Insights from isotopic labeling studies *ACS Energy Lett.*, **2018**, 3, 722–723. **IF₂₀₁₈=16,331**

ΣIF=30,560

Az értekezés témájához nem kapcsolódó nemzetközi tudományos folyóiratban megjelent közlemények:

A. Kormányos, **D. Hursán**, C. Janáky; Photoelectrochemical behavior of PEDOT/nanocarbon electrodes: Fundamentals and structure–property relationships *J. Phys. Chem. C.*, **2018**, 122, 13682-13690. **IF₂₀₁₈= 4,309**

D. Hursán, G. London, B. Olasz, C. Janáky; Synthesis , characterization , and electrocatalytic properties of a custom-designed conjugated polymer with pyridine side chain *Electrochim. Acta.*, **2016**, 217, 92–99. **IF₂₀₁₆ = 4,798**

D. Hursán, A. Kormányos, K. Rajeshwar, C. Janáky; Polyaniline films photoelectrochemically reduce CO₂ to alcohols *Chem. Commun.*, **2016**, 52, 8858–8861. **IF₂₀₁₆ = 6,319**

C. Janáky, **D. Hursán**, B. Endrődi, W. Chanmanee, D. Roy, D. Liu, NR De Tacconi, B.H. Dennis, K. Rajeshwar; Electro- and photoreduction of carbon dioxide: The twain shall meet at copper oxide / copper interfaces *ACS Energy Lett.*, **2016**, 1, 332–338. **IF=12,277**

B. Endrődi, **D. Hursán**, L. Petrilla, G. Bencsik, C. Visy; Incorporation of cobalt-ferrite nanoparticles into a conducting polymer in aqueous micellar medium: Strategy to get photocatalytic composites *Acta Chimica Slovenica*, **2014**, 61, 376-381. **IF₂₀₁₄ = 0,686**

ΣΣIF=58,949

Részvétel nemzetközi konferencián

Előadás első szerzőként:

D. Hursán, A.A. Samu, K. Artyushkova, P. Atanassov, C. Janáky: CO₂ conversion on N-doped carbon electrodes: Morphological and mechanistic insights
American Chemical Society National Meeting & Exposition, Orlando (FL, USA), 2019. március 31 - április 4.

D. Hursán, A.A. Samu, C. Janáky: Electrochemical reduction of CO₂ on N-doped carbon electrodes: understanding mechanism and the role of morphology
Szeged International Workshop on Advances in Nanoscience, Szeged (Magyarország), 2018. október 7-10.

D. Hursán, A.A. Samu, C. Janáky: Mechanistic and morphological insights into the CO₂ electroreduction on N-doped carbon electrodes, International Symposium on Electrocatalysis, Szcyrck (Lengyelország), 2018. augusztus 29 - szeptember 1.

D. Hursán, A. Kormányos, T. Kiss, C. Janáky: Solar fuel generation using organic semiconducting polymer photoelectrodes, 68th Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry, Providence (RI, USA), 2017. augusztus 27-szeptember 1.

D. Hursán, A. Kormányos, T. Kiss, G. London, C. Janáky: Photoelectrochemistry of conducting polymers and opportunities in solar fuel generation, 254th American Chemical Society National Meeting & Exposition, Washington DC (USA) 2017. augusztus 20-24.

D. Hursán, A. Kormányos, T. Kiss, G. London C. Janáky: Photoelectrochemistry of organic semiconducting polymers: fundamentals and implications in solar fuel generation, 21st Topical Meeting of the International Society of Electrochemistry, Szeged, (Magyarország), 2017. április 23-26.

Társszerzős előadás:

A. Kormányos, **D. Hursán**, C. Janáky: Photoelectrochemical Reduction of CO₂ on Organic / Inorganic Nanocomposite Photoelectrodes, 21st Topical Meeting of the International Society of Electrochemistry, Szeged (Magyarország), 2017. április 23-26.

A. Kormányos, **D. Hursán**, K. Rajeshwar, C. Janáky: Photoelectrocatalytic reduction of CO₂ on organic/inorganic nanocomposite photoelectrodes, 253rd ACS National Meeting and Exposition, San Francisco (USA), 2017. április 2-6.

B. Endrődi, **D. Hursán**, E. Kecsenovity, K. Rajeshwar, C. Janáky: Nanostructured hybrid electrodes for photoelectrochemical CO₂ conversion: synthetic aspects and structure-property relationships, 5th International Conference from Nanoparticles and Nanomaterials to Nanodevices and Nanosystems, Porto Heli (Görögország), 2016. június 26-30.

C. Janáky, A. Kormányos, **D. Hursán**, K. Rajeshwar: Photoelectrochemical reduction of CO₂ on hybrid organic/inorganic photocathodes, ACS National Meeting and Exhibition, San Francisco (USA), 2014. augusztus 10-14.

Poszter prezentáció:

D. Hursán, G. London, C. Janáky: Electrochemical reduction of carbon dioxide on N-doped carbon electrodes: Morphological and mechanistic aspects, 69th Meeting of the International Society of Electrochemistry, Bologna (Olaszország), 2018. szeptember 2-7.

D. Hursán, A. Kormányos, T. Kiss, G. London, C. Janáky: Photoelectrochemistry of conducting polymers and opportunities in solar fuel generation, 254th American Chemical Society National Meeting & Expo, Sci-Mix, Washington DC (USA) 2017. augusztus 20-24.

D. Hursán, B. Olasz, G. London, C. Janáky: Custom-designed Electroactive Polymers for H₂ evolution and CO₂ Reduction, 67th Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry, Hága (Hollandia), 2016. augusztus 21-26.

D. Hursán, A.A. Samu, C. Janáky: Electrocatalytic CO₂ Reduction on a Copper Decorated Hierarchically Porous Graphitic Carbon, International Conference from Nanoparticles and Nanomaterials to Nanodevices and Nanosystems, Porto Heli (Görögország), 2016. június 26-30.

D. Hursán, B. Olasz, G. London, C. Janáky: Electrodeposition of Molecularly Engineered Conducting Polymers for the electroreduction of CO₂, 11th International Workshop of Electrodeposited Nanostructures, Balatonfüred (Magyarország), 2015. szeptember 10-11.

D. Hursán, B. Olasz, G. London, C. Janáky: Electrochemical Synthesis and Characterization of New Polyaniline-Based Materials for CO₂ Capture and Conversion, Workshop on the Electrochemistry of Electroactive Materials, Bad Herrenalb (Németország), 2015. május 31 - június 5.

Részvétel hazai konferencián

Előadás első szerzőként:

D. Hursán, A. Kormányos, C. Janáky: Photoelectrochemical fuel generation using organic semiconducting polymer photoelectrodes, XL. Kémiai Előadói Napok, Szeged, 2017. október 16-18.

D. Hursán, C. Visy, C. Janáky: CO₂ fotoelektrokémiai átalakítása tüzelőanyagokká vezető polimer elektródokon XXXVII. Kémiai Előadói Napok, Szeged, 2014. november 3-5.

Doktori fokozattal *nem rendelkező* társszerzők lemondó nyilatkozata

D. Hursán, A.A. Samu, L. Janovák, K. Artyushkova, T. Asset, P. Atanassov, C. Janáky:
Morphological attributes govern carbon dioxide reduction on N-doped carbon electrodes
Joule, **2019**, 3, 1719-1733

Alulírott nyilatkozom, hogy a jelölt publikációkhoz kapcsolódó téziseit (T3-T4) 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, 2019. december 6.

.....
Samu Angelika Anita