

Doktori (*Ph. D.*) értekezés tézisei

Szerkezeti tényezők hatása a vezető polimerek termoelektromos tulajdonságaira

ENDRŐDI BALÁZS

TÉMAVEZETŐK:

Dr. Visy Csaba

professor emeritus

Dr. Janáky Csaba

egyetemi adjunktus

Kémia Doktori Iskola



Szegedi Tudományegyetem

Természettudományi és Informatikai Kar

Fizikai Kémiai és Anyagtudományi Tanszék

Szeged, 2015

I. Bevezetés, célkitűzések

Felfedezésüket követően hamar felmerült a termoelektromos jelenségek gyakorlati alkalmazásának lehetősége. A Peltier-elemeket napjainkban döntően a mikroelektronikai hőmérséklet-szabályozásban alkalmazzák, míg a Seebeck-effektust például műholdak és űrszondák hajtóművében, úgynevezett radioizotópos termoelektromos generátorokban használják ki (pl. a korábbi Apollo és az aktuális Mars küldetés során). Tömeges elterjedésüknek – így esetleges alkalmazásuknak a kommunális vagy ipari hulladékhő direkt elektromos energiává való alakításában – azonban a mai napig gátat szab nagy előállítási költségük, illetve kis hatásfokuk. Az általánosságban alkalmazott, döntően Pb, Bi, Te, Sn, Si, Se elemeket tartalmazó, szervesetlen félvezetők vizsgálata mellett így napjainkra előtérbe kerültek az új termoelektromos anyagok keresésére irányuló kutatások. Így többek között jelentős tudományos figyelem irányul az ígéretesnek mutatkozó szerves vezető polimerek termoelektromos tulajdonságainak vizsgálatára.

A vezető polimerek számos előnyös tulajdonsággal bírnak a szervesetlen félvezetőkkel szemben: előállításuk jelentősen olcsóbb, megmunkálhatóságuk – az általában rideg, sérülékeny szervesetlen anyagokkal szemben – könnyű, akár oldatfázisban megvalósítható, hővezetésük kicsi, valamint redukált állapotukban nagy Seebeck-együtthatóval rendelkezhetnek. Termoelektromos alkalmazásuknak azonban határt szab redukált állapotukra jellemző kis elektromos vezetőségük. A vezető polimerek oxidációs állapotának változtatásával, a kialakuló szabad töltéshordozók számának növelésével (a polimer fokozatos oxidációjával) az elektromos vezetés növelhető, ez azonban a Seebeck-együttható csökkenését és a hővezetés termoelektromos szempontból kedvezőtlen változását (növekedését) hozza maga után. Így az oxidációs állapot finomhangolása mellett a szakirodalomban elterjedten vizsgálják valamely jól vezető (nano)részecske vezető polimer mátrixba való beépítésével képzett kompozitok termoelektromos tulajdonságait. Végül megemlítem, hogy az utóbbi évek intenzív kutatómunkája nyomán kimutatták, hogy a polimerek szupramolekuláris szerkezetének, morfológiájának is döntő befolyása van a termoelektromos tulajdonságokra.

Kutatócsoportunkban az 1980-as évek vége óta folynak a vezető polimerekkel kapcsolatos kutatások. Ezek kezdetben a vezető polimerek redoxi átalakulásaival, annak mechanizmusával foglalkoztak. Az elmúlt évtizedben előtérbe kerültek a vezető polimer alapú kompozitok előállítását és azok alkalmazását célzó kutatások. Doktori munkám során egy lehetséges alkalmazásként a vezető polimerek termoelektromos tulajdonságainak vizsgálatába kapcsolódtam be.

A vezető polimerek termoelektromos alkalmazása során felmerülő általános probléma azok rossz elektromos vezetése. Ennek kiküszöbölésére két alapvetően eltérő stratégiát dolgoztunk ki, melyeket vizsgálatához a szakirodalomban jól ismert, semleges állapotában kiemelkedően nagy Seebeck-együtthatójú polimert, a poli(3-hexiltiofén)-t (P3HT) alkalmaztunk. Konkrét célul tűztük ki, kihasználva a P3HT önszerveződő hajlamát, abból nagy molekuláris rendezettségű nanoszálak készítését, és az így kialakított szerkeze termoelektromos tulajdonságokra gyakorolt hatásának vizsgálatát (összehasonlítva a kezeletlen, tömbfázisú P3HT-vel). Mivel a nanoszálak az egyedi polimer láncok alkiloldalláncjai között kialakuló kölcsönhatás révén alakulnak ki, így további célul tűztük ki az oldallánchosszúság és a termoelektromos tulajdonságok között fennálló esetleges szerkezeti hatás összefüggéseinek szisztematikus vizsgálatát. Ennek érdekében a nanoszálás szerkezetű P3HT-re kapott eredményekből kiindulva vizsgálatainkat kiterjesztettük más oldallánchosszúságú poli(3-alkiltiofén)-ekre (P3ATk) is.

Munkám másik jelentős részeként elektrokémiai úton előállított, rendezett szerkezetű vezető polimer kompozitok termoelektromos tulajdonságait vizsgáltam. A P3HT makroszkopikus méretű, nagy rendezettséget mutató szénnanocső szőnyegbe (MWCNTA) való beépítésével olyan kompozitok kialakítását tűztük ki célul, melyben a redukált polimerre jellemző nagy Seebeck-együttható a vázként használt szénnanocső szőnyeg jó elektromos vezetésével ötvöződik.

II. Kísérleti módszerek, eljárások

A felhasznált vegyszerek mindegyike analitikai tisztaságú volt. A felhasznált szerves oldószerek (nitrobenzol, kloroform, anizol) víztartalmát 3A zeolit molekulaszita segítségével 50 ppm alatt tartottuk, amit coulombmetriás Karl-Fischer titrálással, Metrohm 684 KF Coulometer készülék segítségével ellenőriztünk. A vizes oldatokat Merck Millipore Direct Q3 víztisztító berendezésben tisztított, 18,2 MΩ cm fajlagos ellenállású ioncserélt vízzel készítettük. Az anilin monomert a felhasználást megelőzően vákuumdesztilláció útján tisztítottuk. A munka során használt, 1-2 mm közötti magasságú szénnanocső szőnyegeket Prof. Forró László csoportjában, az École Polytechnique Fédérale de Lausanne intézetben (EPFL, Svájc, Lausanne) Fejes Dóra állította elő.

Az elektrokémiai méréseket klasszikus, 3 elektródos elrendezésben, nyitott edényben, levegőn végeztük, Metrohm PGSTAT302 típusú készülékkel. A vizes közegű mérések során Ag/AgCl/3M NaCl ($E=200$ mV vs. SHE) referencia elektródot, a szerves közegű méréseknél AgCl bevonatú Ag szál kvázi-referencia elektródot, míg ellenelektródként minden esetben egy Pt-lemezt használtunk.

A polimerek oxidációs állapotának és elektronszerkezetének változását UV-látható spektroszkópiai segítségével vizsgáltuk egy Agilent 8453 típusú diódasoros spektrofotométer segítségével. A spektrumokat minden esetben $\lambda=190-1100$ nm között rögzítettük, 1 cm-es kvarcküvetta használatával. A kompozitok és a polimer szerkezetének, illetve annak változásának felderítésére irányuló infravörös spektroszkópiás méréseinket egy gyengített teljes reflexiós (ATR) feltétellel (Harrick Median® SplitPea Single Reflection Diamond) ellátott Bio-Rad Digilab Division FTS-65A/896 FT-IR spektrométer segítségével végeztük, $4000-400$ cm⁻¹ között, 4 cm⁻¹ felbontással, míg a Raman spektrumok felvételéhez egy $\lambda=780$ nm-es (vörös) lézer fényforrással üzemelő Thermo Scientific™ DXR Raman mikroszkópot használtunk.

A poli(3-alkiltiofén) vékonyrétegek szupramolekuláris szerkezetének felderítésére végzett röntgendiffrakciós méréseket egy Cu K α_1 sugárforrással ($\lambda=0,1541$ nm) működő Rigaku Miniflex II típusú készülékkel végeztük. A transzmissziós elektron-

mikroszkópos (TEM) felvételeket egy FEI Tecnai G² 20 X-Twin típusú, 200 kV gyorsító feszültséggel üzemelő készülékkel vettük fel. A mintákat minden esetben szénhártyával bevont réz rácsra (gridre) vittük fel. A pásztázó elektronmikroszkópos (SEM) felvételeket egy Hitachi S-4700 típusú téremissziós pásztázó elektronmikroszkóppal, 10 kV gyorsító feszültség alkalmazásával készítettük. A minták elemi összetételét energiadiszipatív röntgen spektroszkópia (EDX) segítségével vizsgáltuk. Az EDX méréseket a SEM készülékbe szerelt Röntec EDX detektorral végeztük, szintén 10 kV gyorsító feszültség mellett.

A poli(3-alkiltiofén) vékonyrétegek oxidációs állapotának változását egyidejű elektromos vezetési és UV-látható spektroszkópiai mérésekkel követtük a kutatócsoportunkban korábban kialakított elrendezésben. A mérések során Agilent 8453 típusú diódasoros spektrofotométert, valamint egy SR830 típusú fázisérzékeny erősítőt alkalmaztunk. A polimerrétegek váltóáramú elektromos vezetését 130 Hz frekvenciájú, 10 mV amplitúdójú gerjesztő jel segítségével határoztuk meg.

A termoelektromos tulajdonságok – így az elektromos vezetés és a Seebeck-együttható – meghatározására szolgáló elrendezéseket (mind tömbi anyagok, mind vékonyrétegek vizsgálatára) a Szegedi Tudományegyetem Zaj és Nemlinearitás kutatócsoportjának két munkatársa, Dr. Gingl Zoltán és Mellár János segítségével alakítottuk ki. A Seebeck együttható, azaz a hőmérséklet-gradiens hatására létrejövő feszültségkülönbség-érték gyűjtéséhez egy FES24 típusú 4 csatornás adatgyűjtő készüléket használtunk, melyet a NI LabVIEW program segítségével vezéreltünk.

A többfalú szénnanocső-szőnyeg/vezető polimer kompozitok elektromos és hővezetését Prof. Forró László csoportjában, az École Polytechnique Fédérale de Lausanne intézetben (Svájc, Lausanne) Matus Péter és Andrea Pisoni határozta meg. Az elektromos vezetés mérését 4 pontos mérés alkalmazásával, a Montgomery elrendezésben valósították meg mind a nanocsövekkel párhuzamos, mind azokra merőleges irányban. A minták hővezetését a laboratóriumukban korábban hitelesített kvázi-stacionárius eljárás alkalmazásával vizsgálták.

III. Új tudományos eredmények tézisszerű bemutatása

T1. Nanoszálás szerkezetű poli(3-alkiltiofén)ek oxidációja AgClO_4 -vel

- 1.1. Vizsgáltam a különböző alkiloldallánc-hosszúságú P3ATk átkristályosíthatóságát kloroform/anizol 1:9 arányú elegyében. Ennek során a butil- vagy annál hosszabb csoportot tartalmazó P3ATk esetén nanoszálás szerkezet kialakulását tapasztaltam, amit mind spektroszkópiai (UV-látható spektroszkópia), mind elektronmikroszkópiai (TEM) úton igazoltam. Kimutattam, hogy az átkristályosított polimerek oldatait szilárd hordozóra cseppentve, majd szárítva azokból a nanoszálak véletlenszerű elrendeződésével hálószerű struktúra alakul ki.
- 1.2. A nitrobenzol oldószerben oldott AgClO_4 -val a P3AT vékonyrétegek redoxi-reakcióba lépnek, mely során a polimerek oxidálódnak, amit ezüstrészecskék képződése és leválása követ. A reakció sebessége, valamint a polimerek oxidációs állapota (így elektromos vezetése) is nő az oxidálószer koncentrációjával. Telített oxidálószer esetén a polimer jelentős mértékben oxidált állapotban van.

T2. A nanoszálás szerkezetű poli(3-hexiltiofén) termoelektromos tulajdonságai

- 2.1. A P3HT vékonyrétegek és az AgClO_4 között lejátszódó reakció előrehaladtával a polimer elektromos vezetése folyamatosan nő, míg Seebeck-együtthatója hátrértékhez tartva csökken. A Seebeck-együttható értéke a vizsgált tartományon csaknem független az oxidálószer koncentrációjától, így a nagyobb koncentrációk esetén kialakuló jobb elektromos vezetés nagyobb termoelektromos teljesítménytényező kialakulásához vezet. A nanoszálás szerkezetű polimer legjobb teljesítménytényezője mintegy 50-szer nagyobb, mint a szakirodalomban korábban közölt legnagyobb érték.
- 2.2. A nem átkristályosított P3HT termoelektromos tulajdonságait vizsgálva megállapítottam, hogy a nanoszálás szerkezet kialakulása nincs hatással a Seebeck-együttható értékére, de jobb elektromos vezetéshez és ebből kifolyólag nagyobb teljesítménytényező kialakulásához vezet. A P3HT termoelektromos tu-

lajdonságai jelentősen javulnak az átkristályosítás, a nanoszálás szerkezet kialakítása révén.

T3. Nanoszálás szerkezetű poli(3-alkiltiofén)ek oldallánchosszúságtól függő termoelektromos tulajdonságai és az oxidálószer hatása

- 3.1. A különböző oldallánchosszúságú P3ATk termoelektromos teljesítménytényezője minden esetben a leginkább oxidált állapotában maximális. Az oldallánc rövidülésével a polimerláncok közelebb kerülnek egymáshoz, ami jobb elektromos vezetés kialakulásához vezet, míg a Seebeck-együttható értéke csaknem független ettől. A vizsgált P3ATk közül a legjobb teljesítménytényezőt, $P \sim 10 \mu\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-2}$ -t a legrövidebb oldalláncú átkristályosítható polimer, a P3BT esetén tapasztaltam.
- 3.2. Az AgClO_4 és FeCl_3 oxidálószerek hatását összehasonlítva megállapítottam, hogy sem a polimer szerkezetének, sem pedig termoelektromos tulajdonságainak változásában nincs különbség. Ezek alapján elmondható, hogy az ezüst-perkloráttal való oxidáció során kialakuló ezüstrészecskék nem vagy csak elenyésző mértékben járulnak hozzá a rétegek elektromos vezetésének javulásához.

T4. Makroszkopikus méretű MWCNTA/P3HT kompozitok elektrokémiai szintézise

- 4.1. A MWCNTA-t a polimerizáció során használt oldószerek (acetonitril, víz) jól nedvesítik. A MWCNTA rétegek a hordozóról leválasztva, majd két végükön vezető réteggel bevont üveglapokkal biztosítva az elektromos érintkezésüket, munkaelektrodként alkalmazhatók. A polimerizáció során alkalmazott potenciáltartományban a MWCNTA rétegek stabil, döntően kapacitív viselkedést mutatnak.
- 4.2. Kimutattam, hogy a MWCNTA/P3HT kompozitok pontenciodinamikus szintézise során a réteg elektroaktivitása, így a leválasztott polimer mennyisége a kezdeti ciklusok során egyenletesen növekszik. A ciklusok számának növekedésével ez az ütem azonban lassul, majd a polimerizáció abbamarad, a réteg nem nő tovább. Raman spektroszkópiai vizsgálatok szerint a polimer növeke-

dése egyenetlen, az oldatfázissal közvetlenül érintkező kötegrészben leváló polimerréteg jelentősen vastagabb.

- 4.3. Lassú potenciosztatikus elektrokémiai szintézist alkalmazva a réteg folyamatos növekedését tapasztaltam. A kompozit szerkezetét megvizsgálva megállapítottam, hogy a kialakuló polimerbevonat egyenletes vastagságú, homogén az egyedi nanocsövek mentén. A kompozitokról készült SEM felvételekkel bizonyítottam, hogy azok összetétele a polimerizáció idejével, így az átvitt töltés mennyiségével jól szabályozható. Megfelelően hosszú szintézisidőt alkalmazva a MWCNTA csaknem teljes kitöltöttsége is elérhető.

T5. Az MWCNTA/vezető polimer kompozitok termoelektromos teljesítménye

- 5.1. A potenciosztatikus elektrokémiai eljárással előállított MWCNTA/P3HT kompozitok összetételüktől függő termoelektromos tulajdonságait vizsgálva a Seebeck-együttható mérsékelt növekedését tapasztaltam a szénnanocső-szőnyeg kitöltöttségének növekedésével. A Seebeck együttható értéke azonban a MWCNTA teljes kitöltöttsége esetén is lényegesen elmarad a redukált állapotú polimereket jellemző irodalmi adatoktól.
- 5.2. A kísérleteket (így a szintézis körülmények optimalizálását, valamint a kompozitok szerkezetének spektroszkópiai és elektronmikroszkópiai vizsgálatát) egy másik vezető polimer, a PEDOT leválasztásával is elvégezve, a Seebeck együttható hasonló mértékű változását tapasztaltam. A két különböző polimerrel végzett vizsgálatok alapján megállapítottam, hogy ebben az elrendezésben nem valósul meg a termoelektromos alkalmazás szempontjából fontos paraméterek (elektromos vezetés, Seebeck-együttható) kedvező összegződése, még a teljes polimerkitöltöttség esetén is a szénnanocső-szőnyeg tulajdonságai dominálnak.

T6. Makroszkopikus méretű MWCNTA/PANI kompozitok töltéstárolási tulajdonságai

- 6.1. Szem előtt tartva a szénnanocső-szőnyegek nagy elektroaktív felületét, valamint a vezető polimerek szakirodalomban jól ismert pszeudokapacitív tulajdonságait MWCNTA/PANI kompozitokat állítottam elő potenciodynamikus el-

járás útján. Az elektrokémiai polimerizáció során az elektroaktivitás folyamatos növekedését tapasztaltam, ami a SEM felvételek alapján a szénnanocső-szőnyeg kitöltöttségének folyamatos növekedésével járt együtt.

- 6.2. Galvanosztikus feltöltés/kisütési méréseim során megállapítottam, hogy a MWCNTA/PANI kompozitok fajlagos töltéskapacitása jelentősen változik az elektrokémiai polimerizációs ciklusok számával, így a leválasztott polimer mennyiségével. A kompozit fajlagos kapacitása a szénnanocső-szőnyeg közepes kitöltöttsége mellett maximális (a polimer tömegére normálva 650 F g^{-1}) értéket vesz fel, amely összemérhető a szakirodalomban eddig közölt, mikroszkopikus méretű anyagokra meghatározott értékekkel. Jelentősnek tartom, hogy a kapacitást a kompozitok geometriai felületére normálva a kapott érték ($1\text{-}3 \text{ F cm}^{-2}$), meghaladja a szakirodalomban hasonló rendszerekre közölteket, ami jól hangsúlyozza a minták makroszkópikus méretét.

IV. Tudományos közlemények

Magyar Tudományos Művek Tára (MTMT) azonosító: 10030827

Az értekezéshez kapcsolódó tudományos közlemények

- [1] **B. Endrődi**, J. Mellár, Z. Gingl, C. Visy, C. Janáky: *Reasons behind the improved thermoelectric properties of poly(3-hexylthiophene) nanofiber networks*
RSC Advances, 4:55328-55333 (2014)
IF=3,840
- [2] **B. Endrődi**, J. Mellár, Z. Gingl, C. Visy, C. Janáky: *Molecular and Supramolecular Parameters Dictating the Thermoelectric Performance of Conducting Polymers: A Case Study Using Poly(3-alkylthiophene)s*
The Journal of Physical Chemistry C, 119: 8472-8479 (2015)
IF₂₀₁₄=4,772
- [3] **B. Endrődi**, G. F. Samu, D. Fejes, Z. Németh, E. Horváth, A. Pisoni, P. Matus, K. Hernádi, C. Visy, L. Forró, C. Janáky: *Challenges and Rewards of the Electrosynthesis of Macroscopic Aligned Carbon Nanotube Array / Conducting Polymer Hybrid Assemblies*
Journal of Polymer Science, Part B: Polymer Physics, *közlésre elfogadva*, DOI: 10.1002/polb.20150173
IF₂₀₁₄=3,830

ΣIF=12,442

Az értekezés témájához nem kapcsolódó, nemzetközi folyóiratban megjelent tudományos közlemények

- [4] G. Bencsik, C. Janáky, E. Kriván, Z. Lukács, **B. Endrődi**, C. Visy: *Conducting polymer based multifunctional composite electrodes*
Reaction Kinetics and Catalysis Letters, 96(2):421-428 (2009)
IF= 0,557
- [5] C. Janáky, **B. Endrődi**, A. Hajdú, C. Visy: *Synthesis and characterization of polypyrrole-magnetite-vitamin B12 hybrid composite electrodes*
Journal of Solid State Electrochemistry, 14(2):339-346 (2010)
IF=2,234
- [6] C. Janáky, **B. Endrődi**, K. Kovács, M. Timko, A. Sápi, C. Visy: *Chemical Synthesis of Poly(3-thiophene-acetic acid) / Magnetite Nanocomposites with Tunable Magnetic Behaviour*
Synthetic Metals, 160(1-2):65-71 (2010)
IF=1,871
- [7] C. Janáky, **B. Endrődi**, O. Berkesi, C. Visy: *Visible-Light-Enhanced Electrocatalytic Activity of a Polypyrrole/Magnetite Hybrid Electrode toward the Reduction of Dissolved Dioxigen*
The Journal of Physical Chemistry C, 114(45):19338-19344 (2010)
IF=4,520

- [8] G. Bencsik, C. Janáky, **B. Endrődi**, C. Visy: *Electrocatalytic properties of the polypyrrole/magnetite hybrid modified electrode towards the reduction of hydrogen peroxide in the presence of dissolved oxygen*
Electrochimica Acta, 73:53–58 (2012)
IF=3,777
- [9] T. Szabó, M. Magyar, Z. Németh, K. Hernádi, **B. Endrődi**, G. Bencsik, C. Visy, E. Horváth, A. Magrez, L. Forró, L. Nagy: *Charge stabilization by reaction center protein immobilized to carbon nanotubes functionalized by amine groups and poly(3-thiophene acetic acid) conducting polymer*
Physica Status Solidi B, 249(12):2386–2389 (2012)
IF=1,489
- [10] PS. Tóth, G. F. Samu, **B. Endrődi**, C. Visy: *Hyphenated in situ conductance and spectroelectrochemical studies of polyaniline films in strongly acidic solutions*
Electrochimica Acta, 110:446–451 (2013)
IF=4,086
- [11] **B. Endrődi**, A. Bíró, I. Tóth, C. Janáky, C. Visy: *Layer by Layer Growth of Electroactive Conducting Polymer/Magnetite Hybrid Assemblies*
Synthetic Metals, 171:62–68 (2013)
IF=2,222
- [12] M. Magyar, K. Hajdu, T. Szabó, **B. Endrődi**, K. Hernádi, E. Horváth, A. Magrez, L. Forró, C. Visy, L. Nagy: *Sensing hydrogen peroxide by carbon nanotube/horseradish peroxidase bio-nanocomposite*
Physica Status Solidi B, 250(12):2559:2563 (2013)
IF=1,605
- [13] **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*
Electrochimica Acta, 122:282–288 (2014)
IF=4,504
- [14] **B. Endrődi**, D. Hursán, L. Petrilla, G. Bencsik, C. Visy, A. Chams, N. Maslah, C. Perruchot, M. Jouini: *Incorporation of cobalt-ferrite nanoparticles into a conducting polymer in aqueous micellar medium: strategy to get photocatalytic composites*
Acta Chimica Slovenica, 61(2):376–381 (2014)
IF=0,686
- [15] PS. Tóth, **B. Endrődi**, C. Janáky, C. Visy: *Development of polymer - dopant interactions during electropolymerization, a key factor in determining the redox behaviour of conducting polymers*
Journal of Solid State Electrochemistry, DOI: 10.1007/s10008-015-2791-1 (2015)
IF₂₀₁₄=2,446

Hazai folyóiratban megjelent tudományos közlemények

- [16] **Endrődi Balázs**, Kormányos Attila, Bencsik Gábor, Peintler-Kriván Emese, Janáky Csaba, Visy Csaba: *Polipirrol/magnetit kompozit vékonyrétegek szintézise és elektrokatalitikus tulajdonságaik jellemzése*
Magyar Kémiai Folyóirat 120(2-3):67-71, 2014

ΣΣIF=42,439

Részvétel nemzetközi konferencián

1. **B. Endrődi**, C. Janáky, G. Bencsik, C. Visy: *Electroreduction and Sensing of Dissolved O₂ and H₂O₂ on a Polypyrrole/Magnetite Hybrid Electrode*
9th Spring Meeting of the International Society of Electrochemistry,
2011. Május 8-11., Turku, Finnország – poszter prezentáció
2. **B. Endrődi**, E. Kriván, M. A. Azam, G. F. Samu, A. Varga, C. Visy: *Thermoelectric and electrochemical properties of highly ordered conducting polymer/carbon nanotube structures*
7th Workshop on the Electrochemistry of Electroactive Materials
2012. Június 3-8, Hódmezővásárhely-Szeged, Magyarország – szóbeli előadás
3. **B. Endrődi**, A. Bíró, C. Janáky, C. Visy: *Layer by Layer Growth of Conducting Polymer/Magnetite Hybrid Assemblies and Their Application as Modified Electrodes*
63rd Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry
2012. Augusztus 19-24., Prága, Csehország – poszter prezentáció
4. **B. Endrődi**, A. Kormányos, C. Janáky, O. Berkesi, 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 (Bioelectrochemistry)
2013. Március 17-21, Bochum, Németország – poszter prezentáció
5. **B. Endrődi**, C. Janáky, C. Visy, 2014: *Silver decorated conducting polymer nanofibers: A possible route to form hybrid materials with enhanced thermoelectric properties*
International Conference on Science and Technology of Synthetic Metals
2014. Június 30- Július 5, Turku, Finnország – poszter prezentáció
Wiley Best Poster Award díjazott
6. **B. Endrődi**, J. Mellár, Z. Gingl, C. Visy, C. Janáky: *Effective control over the thermoelectric properties of poly(3-alkylthiophenes) – the role of molecular and supramolecular features*
6th Szeged International Workshop on Advances in Nanoscience (SIWAN)
2014. Október 15-18, Szeged, Magyarország – szóbeli előadás

7. **B. Endrődi**, C. Visy, C. Janáky: *Molecular and Supramolecular Parameters Dictating Thermoelectric Performance of Conducting Polymers: A Case Study Using Poly(3-alkylthiophenes)*
E-MRS 2015 Spring Meeting
2015. Május 11-15, Lille, Franciaország – szóbeli előadás
8. **B. Endrődi**, C. Visy, C. Janáky: *What dictates the thermoelectric performance of conducting polymers: A case study using poly(3-alkylthiophenes)*
34th International Conference on Thermoelectrics & 13th European Conference on Thermoelectrics
2015. Június 28-Július 2, Drezda, Németország – szóbeli előadás

Részvétel nemzetközi konferencián társszerzőként

9. C. Janáky, **B. Endrődi**, C. Visy: *Chemical and electrochemical synthesis of conducting polymer based magnetic nanocomposites*
Frühjahrssymposium, 11th Young Scientists Conference on Chemistry,
2009. Március 11-14, Essen, Németország – poszter prezentáció
10. C. Janáky, G. Bencsik, Z. Lukács, **B. Endrődi**, C. Visy: *Conducting Polymer Based Hybrids for Analytical and Biotechnological Applications*
International Workshop on the Electrochemistry of Electroactive Materials
2009. Július 14-19. Szczyrk Lengyelország – szóbeli előadás
11. C. Janáky, **B. Endrődi**, E. Kriván, C. Visy: *Properties of a polypyrrole/magnete/vitamin B12 hybrid: a conducting polymer based electrode for bioelectrocatalysis*
216th ECS Meeting,
2009. Október 4-9., Bécs, Ausztria – szóbeli előadás
12. C. Janáky, **B. Endrődi**, C. Visy: *Synthesis, characterization and application of conducting polymer based magnetic electrodes*
216th ECS Meeting,
2009. Október 4-9., Bécs, Ausztria – szóbeli előadás
13. C. Janáky, **B. Endrődi**, C. Visy: *Photoelectrocatalytic Reduction and Sensing of O₂ and H₂O₂ on Conjugated Polymer Based Magnetic Electrodes*
219th ECS Meeting,
2011. Május 1-6., Montreal, Kanada – poszter prezentáció
14. D. A. Ungor, E. Kriván, **B. Endrődi**, C. Janáky, C. Visy: *Synthesis and characterization of conducting polymer nanofiber composites*
7th Workshop on the Electrochemistry of Electroactive Materials,
2012. Június 3-8, Hódmezővásárhely, Magyarország – poszter prezentáció
15. D. A. Ungor, A. Varga, E. Kriván, **B. Endrődi**, C. Janáky, C. Visy: *Synthesis, characterization and possible applications of conducting polymer fiber – noble metal nanocomposites*
Third International Conference on Multifunctional, Hybrid and Nanomaterials,
2013. Március 3-7., Sorrento, Olaszország – poszter prezentáció

16. **B. Endrődi**, G. F. Samu, D. Fejes, Z. Németh, C. Janáky, K. Hernádi, L. Forró, C. Visy: *Thermoelectric and supercapacitive properties of self-standing highly-ordered conducting polymer/carbon nanotube structures*
ChemOnTubes 2014
2014. Március 30. – Április 3., Riva del Garda, Olaszország – poszter prezentáció
17. **B. Endrődi**, C. Janáky, C. Visy: *Conducting Polymer Based Thermoelectric Composites: Today and Possible Tomorrow*
Workshop on the Electrochemistry of Electroactive Materials 2015
Május 31 – Június 5, 2015, Bad Herrenalb, Németország – szóbeli előadás
18. A. Varga, **B. Endrődi**, C. Visy, C. Janáky: *Photocatalytic deposition and characterization of CdS/P3HT nanofiber composites*
Workshop on the Electrochemistry of Electroactive Materials 2015
Május 31 – Június 5, 2015, Bad Herrenalb, Németország – poszter prezentáció