

Titán-dioxid alapú, többfalú szén nanocső tartalmú kompozitok előállítása, jellemzése és fotokatalitikus aktivitásuk vizsgálata

RÉTI BALÁZS

Doktori (Ph.D.) értekezés tézisei

Témavezető:

Dr. Hernádi Klára

egyetemi tanár

Kémia Doktori Iskola



Szegedi Tudományegyetem

Természettudományi és Informatikai Kar

Alkalmazott és Környezeti Kémiai Tanszék

Szeged, 2015

1. Bevezetés és célkitűzés

A XVIII-XIX. században lezajlott ipari forradalom vívmányai lehetővé tették, hogy az ember (különösen a II. világháború után) mindinkább birtokba vegye a Föld nyersanyagait és erőforrásait, még oly keveset gondolva a későbbi következményekre. Az akkor talán még jelentéktelennek tűnő környezetszennyezés mára globális problémává nőtte ki magát. A vízszennyezés kérdése különösen fontos, hiszen minden élőlény számára nélkülözhetetlen a víz. Ma a Föld lakosságának több, mint 10%-a nem jut megfelelő minőségű ivóvízhez. A Világgazdasági Fórum évente elkészített jelentése szerint az egész népességet érintő problémák közül a vízkérdés jelenti a legnagyobb kockázatot. A víztisztításban már régóta használt és jól bevált technológiák mellett szükség van olyan eljárásokra is, melyek a szokásos módszerek által nem eltávolítható szennyeződésektől is megtisztítják a szennyezett vizet. Az AOP-k (advanced oxidation process – nagyhatékonyságú oxidációs eljárás) a nagy reaktivitású oxidáló gyökök hatását használják ki a tisztítási folyamatban. A heterogén fotokatalízis az AOP technológiák egy igen ígéretes és fejlődő ága, ahol ezen oxidáló gyökök félvezető fém-oxid (nano)részecskék felületén képződnek fénybesugárzás hatására.

A legtöbbet használt és legígéretesebbnek tartott félvezető fém-oxid a titán-dioxid (TiO_2). Ennek az anyagnak az előnye, hogy könnyen hozzáférhető, viszonylag olcsó, nem toxikus, biokompatibilis és fizika/kémiai valamint fotokémiai szempontból stabilis. Igen előnyösen használható fotokatalizátorként a titán-dioxid polimorfjai közül az anatáz UV megvilágítás mellett ($E_g(\text{anatáz}) = 3,2 \text{ eV} \approx \lambda = 388 \text{ nm}$). Megfelelő módosítással már a látható fénnel történő besugárzás is fotokatalitikus aktivitást eredményezhet, illetve a meglévő UV-fotoaktivitás tovább növelhető. Ez lehetőséget nyújt a napsugárzás energiájának hatékony kihasználására.

A szén nanocsövek (CNT – carbon nanotube) 1991-es felfedezésük óta a kutatások középpontjában állnak rendkívüli stabilitásuk, előnyös mechanikai és elektromos tulajdonságaik miatt. Ezen tulajdonságok alapján kitűnő kompozitalkotóknak bizonyulnak. Kihhasználva a CNT-k elektromos vezetőképességét és adszorpciós tulajdonságait fotokatalitikusan aktív TiO_2/CNT kompozitok hozhatók létre, melyek bizonyos esetekben megnövekedett fotokatalitikus aktivitást mutatnak. Egyes kutatók szerint, mint elektronvezető és -tároló csökkentik a fotogenerált töltéshordozók rekombinációjának esélyét, mások szerint a CNT-k, mint fotoérzékenyítők játszanak szerepet. A kiterjedt

kutatások ellenére még nincs egységes elképzelés arról, hogy a CNT-k pontosan miként járulnak hozzá a fotokatalitikus aktivitás növekedéséhez.

Kutatócsoportunkban már 1995-től folynak szén nanocsövek és nanoszerkezetek szintézisével és felhasználásával kapcsolatos kutatások. A felhasználási lehetőségek egy ága kompozit anyagok előállítása és alkalmazása, így a csoportban vizsgálták már a fém-oxid/CNT kompozitokat is. Doktori munkám során a $\text{TiO}_2/\text{MWCNT}$ (multiwall carbon nanotube – többfalú szén nanocső) kompozitok előállításának és fotokatalitikus aktivitásának vizsgálatába kapcsolódtam be.

Kutatómunkám célja volt, hogy behatóbban tanulmányozzam a $\text{TiO}_2/\text{MWCNT}$ kompozitok különböző módszerekkel történő előállítását. Vizsgálni kívántam a szol-gél módszerrel kialakított morfológia hatását a fotokatalitikus aktivitásra. Majd ezen eredményekre építve optimalizálni kívántam az ígéretesnek tűnő előállítási procedúrát, hogy kontrollálható módon állítsak elő $\text{TiO}_2/\text{MWCNT}$ kompozitokat. Tanulmányozni szerettem volna a MWCNT-tartalom hatását a fotokatalitikus aktivitásra két különböző kémiai karakterű modellvegyület (fenol és oxálsav) bomlási reakciójában.

Vizsgálni kívántam továbbá olyan $\text{TiO}_2/\text{MWCNT}$ kompozitok előállítási lehetőségeit, ahol a titán-dioxid különböző arányban tartalmazza az anatáz és a rutil polimorfokat. Irodalmi előzmények alapján két szintézismódszerrel állítottam elő ilyen kompozitokat: hőkezeléssel történő kristályosítással és hidrotermális kezeléssel. Tanulmányozni kívántam a kapott kompozitok kristályszerkezetét, a TiO_2 polimorfok részarányának alakulását és a minták morfológiáját. Célom volt elemezni az előbb említett paraméterek hatását a $\text{TiO}_2/\text{MWCNT}$ minták fotokatalitikus aktivitására.

2. Kísérleti módszerek, eljárások

A kísérleteim során felhasznált vegyszereket további tisztítás nélkül alkalmaztam. A MWCNT-eket Dr. Forró László által vezetett kutatócsoportban, az École Polytechnique Fédérale de Lausanne intézetben (Svájc, Lausanne) állították elő Fe-Co/CaCO_3 katalizátoron CCVD eljárással, acetilén szénforrás és nitrogén vivőgáz segítségével. A terméket sósavas mosással tisztítottam és tömény salétromsavas kezeléssel funkcionalizáltam.

Szol-gél módszerrel – különböző titán prekursorokat, oldószereket és hidrolízis időket választva – előállítottam olyan $\text{TiO}_2/\text{MWCNT}$ kompozitokat, melyek eltérő morfológiával rendelkeznek, ezek eltérő fotokatalitikus aktivitást mutattak. A nagyobb fotokatalitikus aktivitást mutató kompozit előállítási procedúráját továbbfejlesztve újabb kompozitokat készítettem, ahol vizsgáltam a MWCNT-tartalom hatását a minta fotokatalitikus aktivitására két bontandó anyag fotokatalitikus lebontási reakciójában (fenol, oxálsav).

Olyan $\text{TiO}_2/\text{MWCNT}$ kompozitok előállítási lehetőségeit is tanulmányoztam, ahol szabályozható a titán-dioxid anatáz és rutil fázisának aránya. Első alternatívaként a hőkezeléssel történő kristályosítás hatását elemeztem. A hőkezelés hőmérsékletének növelésével különböző $\text{TiO}_2/\text{MWCNT}$ kompozitokat állítottam elő, a kapott termékeket jellemeztem és megvizsgáltam fotokatalitikus aktivitásukat. Másik lehetőségnek a hidrotermális kristályosítás kínálkozott. Ennél a módszernél figyelemmel kísértem a savkoncentráció hatását a keletkező termékekre. Az előállított mintákat anyagszerkezeti vizsgálómódszerekkel jellemeztem és fotokatalitikus tesztreakciókban alkalmaztam.

A minták kristályszerkezetét por-röntgendiffrakciós (XRD) technikával vizsgáltam. A Rigaku Miniflex II típusú diffraktométer réz $K_{\alpha 1}$ ($\lambda = 0,15418$ nm) sugárforrással rendelkezett. A röntgendiffraktogramok elemzésével információt kaptam a mintában lévő kristályformákról, azok részarányáról és egyes esetekben következtetni lehetett a mintában lévő részecskék méretére is.

Transzmissziós elektronmikroszkóp (TEM) segítségével jellemeztem a minták morfológiáját. Előbb egy Philips CM10-es (100 kV) majd egy FEI Technai G² 20 X-TWIN (200 kV) típusú mikroszkóppal dolgoztam. A mintaelőkészítés során a vizsgálandó mintából etanolos szuszpenziót készítettem, amelyet egy réz rostélyra cseppenttem, majd szárítottam.

Termogravimetriás (TG) módszer segítségével képet kaptam a minták termikus viselkedéséről. Meghatároztam a MWCNT-k termikus stabilitását és egyes esetekben a minták MWCNT-tartalmát. A vizsgálatokhoz egy Netzsch STA 409 PC készüléket használtunk.

Raman spektroszkópiát alkalmaztam a MWCNT-k minőségi jellemzésére és a kompozitok esetén a MWCNT jelenlétének igazolására, továbbá a kialakuló TiO_2 és MWCNT-ek közötti kölcsönhatás vizsgálatára. Méréseimet egy Thermo Scientific DXR Raman mikroszkóppal végeztem $\lambda = 562$ nm lézer fényforrást használva.

A minták fajlagos felületéről nitrogénadszorpcióos módszerrel kaptam információt. A méréseket egy BEL Japan BELCAT-A szorpcióos analizátorban végeztük.

A szilárd minták fényelnyelési tulajdonságait egy diódasoros Avantes AvaSpec-ULS2048 száloptikás UV-látható spektrofotométer segítségével jellemeztem.

A $\text{TiO}_2/\text{MWCNT}$ kompozitokat fenol, oxálsav és szalicilsav fotokatalitikus bontási reakcióiban vizsgáltam. A kísérletek során minden esetben fluoreszcens UV-A fényforrást használtam ($\lambda_{\text{max}} = \sim 350 \text{ nm}$). Munkám során terveztem egy új fotoreaktorrendszert is. Ennek előnye, hogy kis teljesítményű megvilágítást használ (6 W), és a gázbevezetést kihasználva keverteti a vizsgálandó fotokatalizátor-szuszpenziót. A fenol és az oxálsav koncentrációját HPLC technikával, míg a szalicilsav koncentrációját UV-látható spektrofotometriás módszerrel követtem.

3. Új tudományos eredmények tézisszerű bemutatása

T1. $\text{TiO}_2/\text{MWCNT}$ kompozitok morfológiájának hatása a fotokatalitikus aktivitásra

- 1.1. Különböző morfológiával rendelkező $\text{TiO}_2/\text{MWCNT}$ kompozitokat állítottam elő szol-gél módszerrel a szintézisparaméterek (prekursor, oldószer, hidrolízis sebessége) változtatásával. A fotokatalizátorokat fotokatalitikus bontási reakcióban tesztelve megállapítottam, hogy olyan morfológia kialakítása hat kedvezőbben a fotokatalitikus aktivitásra, mely esetén a MWCNT-k felületén sűrűn elhelyezkedő, kisméretű TiO_2 részecskék vannak jelen.
- 1.2. Olyan $\text{TiO}_2/\text{MWCNT}$ szol-gél előállítási módszert dolgoztam ki, melynek segítségével MWCNT-tartalomtól függetlenül, fotokatalitikus szempontból kedvező és azonos morfológiával rendelkező $\text{TiO}_2/\text{MWCNT}$ kompozitok alakíthatóak ki, melyben a titán-dioxid részecskék mérete a MWCNT-k felületén 10-14 nm-es. A $\text{TiO}_2/\text{MWCNT}$ kompozitok kapcsán anyagvizsgálati módszerek alkalmazásával bizonyítottam, hogy számottevő eltérés csak a kompozitok fényelnyelési tulajdonságaiban van, melyért a változó MWCNT-tartalom a felelős.
- 1.3. A fotokatalitikus vizsgálatok segítségével igazoltam, hogy amennyiben a TiO_2 és a MWCNT fizikai keveréket alkot, a többfalú szén nanocső jelenléte jelentősen

rontja a fotokatalitikus aktivitást, továbbá, ha a $\text{TiO}_2/\text{MWCNT}$ kompozitban a TiO_2 részecskék mérete nagy ($> \sim 50$ nm), az szintén kedvezőtlenül befolyásolja a kompozit fotokatalitikus aktivitására.

T2. MWCNT-tartalom hatása a $\text{TiO}_2/\text{MWCNT}$ kompozitok fotokatalitikus aktivitására

- 2.1. A különböző MWCNT-tartalmú kompozitokat mind fenol, mind oxálsav fotokatalitikus bontási reakciójában vizsgáltam. Megállapítottam, hogy a fotokatalitikus aktivitás mindkét modellvegyület esetén egy maximumgörbe jellegű változást mutatott a MWCNT-tartalom függvényében. A fenol esetén az 1 m/m%-ban MWCNT-t tartalmazó kompozit, míg az oxálsav esetében az 5 m/m% MWCNT-tartalmú kompozit mutatta a legnagyobb fotokatalitikus aktivitást. A leggyengébb fotokatalitikus aktivitást mindkét vizsgált modellvegyület esetén a 10 m/m%-ban MWCNT-t tartalmazó kompozit mutatta. Ennek okát az anyagvizsgáló módszerek eredményei alapján a minta fényelnyelési tulajdonságában azonosítottam.
- 2.2. Megállapítottam, hogy ugyanazon kompozit fotokatalizátorok jelentősen eltérő fotokatalitikus aktivitást mutattak fenol és oxálsav fotodegradációs reakciójában. A $\text{TiO}_2/\text{MWCNT}$ kompozitok jelentősen nagyobb fotokatalitikus aktivitással rendelkeznek az oxálsav fotokatalitikus lebontási reakciójában, mint a fenol esetén. A nagyobb aktivitás okát, szakirodalmi adatok alapján, az oxálsav titán-dioxidon történő erősebb kemiszorpciók képességében állapítottam meg.

T3. Különböző anatáz/rutil tartalmú $\text{TiO}_2/\text{MWCNT}$ kompozitok előállítása és ezek fotokatalitikus aktivitása

- 3.1. Tiszta titán-dioxid előállítására a szakirodalomból már ismert lehetőséget, az inert atmoszférában történő hőkezelést alkalmaztam $\text{TiO}_2/\text{MWCNT}$ kompozitok előállítására is, az anatáz/rutil arány szabályozása végett. A magasabb hőmérsékleten végzett kristályosítás nagyobb arányú rutil-tartalmat eredményezett. Ezen módszer alkalmazásával a minták morfológiája is drasztikusan változik. A 400 °C-on történő hőkezelés esetén a MWCNT-k felületén még megtalálhatóak a TiO_2 nanorészecskék, azonban a hőkezelés hőmérsékletének emelésével a részecskék szintereződnek és leválnak a MWCNT-k felületéről. A minták

fotokatalitikus aktivitását szalicilsav fotokatalitikus lebontási reakciójában vizsgáltam. A hőkezelés hőmérsékletének emelésével csökkent a minták fotokatalitikus aktivitása. Bizonyítottam, hogy ennek oka a többfalú szén nanocsövek felületéről leváló TiO_2 részecskékhez, a TiO_2 részecskék méretének növekedéséhez és a rutil fázis kialakulásához köthető.

3.2. Kombinált szol-gél/hidrotermális kristályosítás módszerével sikeresen állítottam elő különböző anatáz/rutil tartalmú TiO_2 /MWCNT kompozitokat a hidrotermális eljárás során alkalmazott sósavkoncentráció változtatásával. Semleges és híg savas körülmények között a TiO_2 anatáz formában volt jelen a kompozitokban, azonban megjelent a titán-dioxid brookit fázisa is. Azonosítottam azt a sósavkoncentráció-tartományt ($1 \cdot 10^{-1} - 1 \text{ mol dm}^{-3}$), amelyben az anatáz és a brookit fázis rutillá alakul át. Az elvégzett kísérletek alapján a következő fázisátalakulási sorrendet állapítottam meg: $(a,b) \rightarrow (a,b,r) \rightarrow (b,r) \rightarrow (r)$, ahol az 'a', 'b', 'r', az anatáz, brookit és rutil fázist jelöli. Az előbb említett fázisátalakulási sor jó egyezést mutat a MWCNT nélküli mintákra vonatkozó szakirodalmi eredményekkel. TEM vizsgálatokkal igazoltam, hogy a kompozitok morfológiája a semlegestől a $0,3 \text{ mol dm}^{-3}$ alkalmazott sósavkoncentrációig egységesnek tekinthető: a MWCNT-k felületén és a MWCNT-k között is körülbelül 15-25 nm nagyságú TiO_2 részecskék helyezkednek el.

3.3. A kombinált szol-gél/hidrotermális kristályosítás módszerével előállított TiO_2 /MWCNT kompozit minták fotokatalitikus aktivitását elemezve megállapítottam, hogy a semleges és híg savas körülmények között készült, anatázt (és kis mennyiségű brookitot) tartalmazó minták hasonló, jelentős fotokatalitikus aktivitást mutattak. A legjobb fotokatalitikus aktivitást a $0,3 \text{ mol dm}^{-3}$ sósavoldat alkalmazásával készült TiO_2 /MWCNT minta esetén tapasztaltam. Ez az anyag 11 m/m% rutilt tartalmazott 41 m/m% anatáz és 48 m/m% brookit mellett. A rutil-tartalom további növekedésével a kompozit minták fotokatalitikus aktivitása rohamosan csökkent. Megállapítottam, hogy a hidrotermális kristályosítással készült TiO_2 /MWCNT kompozitok esetén kis mennyiségű rutil jelenléte fokozni képes a kompozit fotokatalitikus aktivitását.

4. Tudományos közlemények

Magyar Tudományos Művek Tára (MTMT) azonosító: 10029605

Az értekezés témájához tartozó közlemények:

- [1] **B. Réti**, K. Németh, Z. Németh, K. Mogyorósi, K. Markó, A. Erdőhelyi, A. Dombi, K. Hernádi: *Photocatalytic measurements of TiO₂/MWCNT catalysts having different surface coverage*
Physica Status Solidi B, 248 (2011) 2475-2479.
IF = 1,316
- [2] **B. Réti**, K. Mogyorósi, A. Dombi, K. Hernádi: *Substrate dependent photocatalytic performance of TiO₂/MWCNT photocatalysts*
Applied Catalysis A: General, 469 (2014) 153-158.
IF = 3,942
- [3] Z. Németh, **B. Reti**, Z. Pallai, P. Berki, J. Major, E. Horvath, A. Magrez, L. Forro, K. Hernádi: *Chemical challenges during the synthesis of MWCNT-based inorganic nanocomposite materials*
Physica Status Solidi B, 251 (2014) 2360–2365.
IF = 1,489
- [4] **B. Réti**, Z. Major, D. Szarka, T. Boldoizsár, E. Horváth, A. Magrez, L. Forró, A. Dombi, K. Hernádi: *Influence of anatase/rutile ratio on the photocatalytic activity of TiO₂/MWCNT composites prepared by combined sol-gel/hydrothermal method*
közlésre benyújtva, Materials & Design
(IF₂₀₁₄ = 3,501)

ΣIF = 6,747

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

- [5] Z. Németh, **B. Réti**, C. Dieker, Á. Kukovecz, D. T. L. Alexander, J. W. Seo, L. Forró, K. Hernádi: *Preparation of homogeneous titania coatings on the surface of MWNTs*
Physica Status Solidi B, 247 (2010) 2683–2686.
IF = 1,349
- [6] B. Korbély, Z. Németh, **B. Réti**, J. W. Seo, A. Magrez, L. Forró, K. Hernádi: *Fabrication of homogeneous titania/MWNT composite materials*
Materials Research Bulletin, 46 (2011) 1991–1996.
IF = 2,105
- [7] K. Németh, Z. Németh, D. Fejes, **B. Reti**, Z. Balogh, K. Hernádi: *The effect of alkaline doped catalysts on the CVD synthesis of carbon nanotubes*
Physica Status Solidi B, 248 (2011) 2471-2474.
IF = 1,316
- [8] K. Németh, **B. Reti**, M. Posa, K. Belina, K. Hernádi: *SiO₂/MgO coated multiwalled carbon nanotubes in polymer composites*
Physica Status Solidi B, 249 (2012) 2333-2336.
IF = 1,489

- [9] P. Berki, Z. Németh, **B. Réti**, O. Berkesi, A. Magrez, V. Aroutiounian, L. Forró, K. Hernádi: *Preparation and characterization of multiwalled carbon nanotube/ In_2O_3 composites* Carbon, 60 (2013) 266-272.
IF = 6,160
- [10] A. Vass, P. Berki, Z. Nemeth, **B. Reti**, K. Hernadi: *Preparation and characterization of multiwalled carbon nanotube/ WO_3 composite materials* Physica Status Solidi B, 250 (2013) 2554–2558.
IF = 1,605
- [11] **B. Réti**, N. Péter, A. Dombi, K. Hernadi: *Preparation of SnO_2 - TiO_2 /MWCNT nanocomposite photocatalysts with different synthesis parameters* Physica Status Solidi B, 250 (2013) 2549–2553.
IF = 1,605
- [12] E. Kecsenovity, D. Fejes, **B. Reti**, K. Hernadi: *Growth and characterization of bamboo-like carbon nanotubes synthesized on Fe-Co-Cu catalysts prepared by high-energy ball milling* Physica Status Solidi B, 250 (2013) 2544–2548.
IF = 1,605
- [13] Z. Németh, Z. Pállai, **B. Réti**, Z. Balogh, O. Berkesi, K. Baán, A. Erdőhelyi, E. Horváth, G. Veréb, A. Dombi, L. Forró, K. Hernádi: *Synthesis, Comparative Characterization and Photocatalytic Application of SnO_2 MWCNT Nanocomposite Materials* Journal of Coating Science and Technology, 1 (2014) 137-150.
IF = 1,298
- [14] P. Berki, **B. Reti**, K. Terzi, I. Bountas, E. Horvath, D. Fejes, A. Magrez, C. Tsakiroglu, L. Forró, K. Hernadi: *The effect of titania precursor on the morphology of prepared TiO_2 /MWCNT nanocomposite materials* Physica Status Solidi B, 251 (2014) 2384–2388.
IF = 1,489
- [15] D. Fejes, Z. Pápa, E. Kecsenovity, **B. Réti**, Z. Toth, K. Hernadi: *Super growth of vertically aligned carbon nanotubes on pulsed laser deposited catalytic thin films* Applied Physics A, 118 (2015) 855-861.
IF₂₀₁₄ = 1,704
- [16] Z. Nemeth, E. Horvath, A. Magrez, **B. Reti**, P. Berki, L. Forro, K. Hernadi: *Preparation of titania covered multi-walled carbon nanotube thin films* Materials & Design, 86 (2015) 198–203.
IF₂₀₁₄ = 3,501
- [17] L. Baia, E. Orbán, S. Fodor, B. Hampel, E.Z. Kedves, K. Saszet, I. Székely, É. Karácsonyi, **B. Réti**, P. Berki, A. Vulpoi, K. Magyari, A. Csavdári, C. Bolla, V. Cosoveanu, K. Hernádi, M. Baia, A. Dombi, V. Danciu, G. Kovács, Z. Pap: *Preparation of TiO_2 / WO_3 composite photocatalysts by the adjustment of the semiconductors' surface charge* Materials Science in Semiconductor Processing, DOI: 10.1016/j.mssp.2015.08.042
IF₂₀₁₄ = 1,955

- [18] G.P. Szekeres, K. Nemeth, A. Kinka, M. Magyar, **B. Réti**, E. Varga, Z. Szegletes, A. Erdohelyi, L. Nagy, K. Hernádi: *Segmental nitrogen doping and carboxyl functionalization of multi-walled carbon nanotubes*
Physica Status Solidi B, 252 (2015) 2472-2478.
IF₂₀₁₄ = 1,489

Hazai folyóiratban megjelent tudományos közlemény:

- [19] Fejes Dóra, **Réti Balázs**, Németh Krisztián, Berki Péter, Németh Zoltán, Hernádi Klára: *Többfalú szén nanocsövek előállítása és széleskörű felhasználása az Alkalmazott Nanocső Technológia kutatócsoportban*
Magyar Kémiai Folyóirat, 120 (2014) 83-88.

ΣΣIF = 35,417

Résztvétel nemzetközi konferencián:

- (1) **B. Réti**, K. Németh, Z. Németh, K. Mogyorósi, K. Markó, A. Erdohelyi, A. Dombi, K. Hernádi: *Photocatalytic measurements of TiO₂/MWCNT catalysts having different surface coverage*
25th International Winterschool on Electronic Properties of Novel Materials
2011.02.26.-03.05. Kirchberg, Ausztria – poszter prezentáció
- (2) **B. Réti**, K. Mogyorósi, A. Dombi, K. Hernádi: *Substrate dependent photocatalytic performance of TiO₂/MWCNT photocatalysts*
E-MRS 2012 Spring Meeting
2012.05.14-18. Strasbourg, Franciaország – poszter prezentáció
- (3) **B. Réti**, N. Péter, A. Dombi, K. Hernádi: *Preparation and photocatalytic measurement of SnO₂-TiO₂/MWCNT nanocomposites*
11th International Conference on Nanostructured Materials
2012.08.26-31. Rodosz, Görögország – poszter prezentáció
- (4) **B. Réti**, K. Mogyorósi, A. Dombi, K. Hernádi: *Comparative investigation of photodegradation of oxalic acid and phenol over TiO₂/MWCNT photocatalysts*
5th Szeged International Workshop on Advances in Nanoscience
2012.10.24-27. Szeged, Magyarország – poszter prezentáció
- (5) **B. Réti**, N. Péter, A. Dombi, K. Hernádi: *Preparation of SnO₂-TiO₂ / MWCNT composite photocatalysts with different synthesis methods*
27th Electronic Properties of Novel Materials
2013.03.02-09. Kirchberg, Ausztria – poszter prezentáció
- (6) **B. Réti**, T. Boldizsár, A. Dombi, K. Hernádi: *Photocatalytic activity of TiO₂/MWCNT nanocomposites with different TiO₂ phase compositions*
14th International Conference on the Science and Application of Nanotubes
2013.06.24-28. Espoo, Finnország – poszter prezentáció
- (7) **B. Réti**: *TiO₂-based MWCNT composites: synthesis and photocatalytic applications*
21th International Conference on Composites/Nano Engineering
2013.07.21-27. Tenerife, Spanyolország – szóbeli előadás

- (8) **B. Réti**, Z. Major, D. Szarka, T. Boldizsár, A. Dombi, K. Hernádi: *TiO₂/MWCNT nanocomposites with different anatase/rutile ratio: preparation and photocatalytic activity*
15th International Conference on Nanotechnology
2015.07.27-30. Róma, Olaszország – poszter prezentáció

Részvétel nemzetközi konferencián társszerzőként:

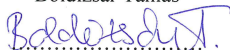
- (9) Z. Németh, E. Bartfai, **B. Reti**, C. Dieker, J.W. Seo, L. Forro, K. Hernadi: *Preparation of MWNT based composite materials for photocatalysis*
1th International Conference on Composites and Nanocomposites
2011.01.7-9. Kottayam, India – szóbeli előadás
- (10) K. Hernadi, Z. Németh, E. Bártfai, **B. Réti**, Z. Pállai, A. Magrez, L. Forró: *Fabrication of carbon nanotube based inorganic nanocomposite materials*
EuroNanoForum 2011
2011.05.30.-06.01. Budapest, Magyarország – poszter prezentáció
- (11) D. Fejes, E. Horváth, D. Carnelli, M. Geuss, A. Karimi, M. Spina, Z. Németh, **B. Réti**, A. Magrez , L. Forró, K. Hernádi: *Water assisted CVD synthesis and Mechanical Properties of millimeter thick arrays of coiled carbon nanotubes*
26th International Winterschool on Electronic Properties of Novel Materials
2012.03.03-10. Kirchberg, Ausztria – poszter prezentáció
- (12) K. Németh, **B. Réti**, M. Pósa, K. Belina, K. Hernádi: *SiO₂/MgO – coated multiwall carbon nanotubes in polymer composites*
26th International Winterschool on Electronic Properties of Novel Materials
2012.03.03-10. Kirchberg, Ausztria – poszter prezentáció
- (13) D. Fejes, E. Horváth, D. Carnelli, M. Geuss, A. Karimi, M. Spina, Z. Németh, **B. Réti**, A. Magrez , L. Forró, K. Hernádi: *Growth and mechanical properties of millimeter-long and vertically aligned coiled carbon nanotube forest*
E-MRS 2012 Spring Meeting
2012.05.14-18. Strasbourg, Franciaország – poszter prezentáció
- (14) D. Fejes, E. Horváth, M. Geuss, A. Karimi, M. Spina, Z. Németh, **B. Réti**, A. Magrez , L. Forró, K. Hernádi: *Catalytic CVD Synthesis and Elastic Properties of millimeter-height Coiled Carbon Nanotube forest*
11th International Conference on Nanostructured Materials
2012.08.26-31. Rodosz, Görögország – poszter prezentáció
- (15) K. Németh, **B. Réti**, M. Pósa, K. Belina, K. Hernádi: *SiO₂ /MgO - coated multiwalled carbon nanotubes in polymer composites*
11th International Conference on Nanostructured Materials
2012.08.26-31. Rodosz, Görögország – poszter prezentáció
- (16) E. Kecsenovity, D. Fejes, **B. Réti**, K. Hernádi: *Growth and characterization of bamboo-like carbon nanotubes on Fe-Co-Cu catalysts prepared by high energy ball milling*
27th International Winterschool on Electronic Properties of Novel Materials
2013.03.02-09. Kirchberg, Ausztria – poszter prezentáció

- (17) K. Nemeth, L. Kovacs, **B. Reti**, Z. Nemeth, M. Posa, K. Belina, K. Hernadi: *Reinforcement of polymers with SiO₂/MgO coated MWCNTs*
27th International Winterschool on Electronic Properties of Novel Materials
2013.03.02-09. Kirchberg, Ausztia – poszter prezentáció
- (18) Á. Vass, P. Berki, Z. Németh, **B. Réti**, K. Hernádi: *Comparative study of tungsten-trioxide/MWCNT composite materials fabricated by various methods*
27th International Winterschool on Electronic Properties of Novel Materials
2013.03.02-09. Kirchberg, Ausztia – poszter prezentáció
- (19) P. Berki, Z. Németh, **B. Réti**, K. Hernádi: *The effect of the synthesis method on the morphology of indium-oxide/MWCNT composites*
27th International Winterschool on Electronic Properties of Novel Materials
2013.03.02-09. Kirchberg, Ausztia – poszter prezentáció
- (20) A. Vass, P. Berki, Z. Németh, **B. Réti**, K. Hernádi: *Comparative study of tungsten-trioxide/MWCNT composite materials fabricated by various methods*
27th International Winterschool on Electronic Properties of Novel Materials
2013.03.02-09. Kirchberg, Ausztia – poszter prezentáció
- (21) K. Nemeth, L. Kovacs, **B. Reti**, Zs. Dugar, K. Belina, K. Hernadi: *Polymer reinforcement with SiO₂/MgO coated multiwall carbon nanotubes*
14th International Conference on the Science and Application of Nanotubes
2013.06.24-28. Espoo, Finnország – poszter prezentáció
- (22) Z. Németh, **B. Reti**, Z. Pallai, P. Berki, J. Major, E. Horvath, A. Magrez, L. Forro, K. Hernadi: *Chemical challenges during the synthesis of MWCNT based inorganic nanocomposite materials*
28th International Winterschool on Electronic Properties of Novel Materials
2014.03.08-15. Kirchberg, Ausztia – poszter prezentáció
- (23) G.P. Szekeres, K. Németh, A. Kinka, M. Magyar, **B. Réti**, E. Varga, Zs. Szegletes, A. Erdőhelyi, L. Nagy, K. Hernádi: *Controlled nitrogen doping and carboxyl functionalization of MWCNTs*
28th International Winterschool on Electronic Properties of Novel Materials
2014.03.08-15. Kirchberg, Ausztia – poszter prezentáció
- (24) P. Berki, **B. Réti**, K. Terzi, I. Bountas, E. Horvath, D. Fejes, A. Magrez, C. Tsakiroglu, K. Hernádi: *The effect of titania precursor on the morphology of the prepared TiO₂/MWCNT nanocomposite materials*
28th International Winterschool on Electronic Properties of Novel Materials
2014.03.08-15. Kirchberg, Ausztia – poszter prezentáció
- (25) Zs. Pap, G. Veréb, K. Vajda, **B. Réti**, A. Dombi, K. Hernádi: *Fabrication and application of different TiO₂-based composite photocatalytic materials with specific structural and morphological features*
1st International Workshop Advances on Photocatalysis
2015.07.06-08. Iasi, Románia – szóbeli előadás
- (26) K. Nemeth, L. Kovacs, N. Varro, **B. Reti**, A. Bata, K. Belina, K. Hernadi: *Modification of mechanical properties of polymers by SiO₂ – MgO coated multiwalled carbon nanotubes*
15th International Conference on Nanotechnology
2015.07.27-30. Róma, Olaszország – poszter prezentáció

Társszerzői lemondó nyilatkozat

Alulírott nyilatkozom, hogy **Réti Balázs** „Titán-dioxid alapú, többfalú szén nanocső tartalmú kompozitok előállítása, jellemzése és fotokatalitikus aktivitásuk vizsgálata” című Ph. D. értékezését ismerem, a tézisekben foglalt tudományos eredményeket tudományos fokozat megszerzéséhez nem használtam fel s tudomásul veszem, hogy azokat ilyen célból a jövőben sem használhatom fel. Kijelentem, hogy a tézisekben és az értekezésben szereplő és a közösen publikált eredményekben **Réti Balázs** szerepe meghatározó fontosságú volt.

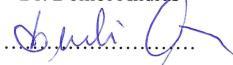
Boldizsár Tamás



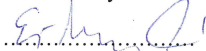
Deák Kata (Markó Kata)



Dr. Dombi András



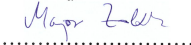
Dr. Erdőhelyi András



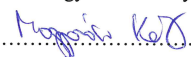
Dr. Hernádi Klára



Major Zoltán



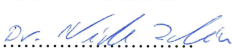
Dr. Mogyorósi Károly



Németh Krisztián



Dr. Németh Zoltán



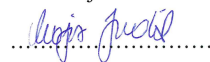
Szarka Dóra



Pállai Zoltán



Major Judit



Berki Péter

