

Doktori (Ph.D.) értekezés tézisei

Fém-oxidokkal borított többfalú szén nanocső kompozitok előállítása és vizsgálata

Németh Zoltán

Témavezető: Hernádi Klára
egyetemi tanár

Kémia Doktori Iskola

Szegedi Tudományegyetem
Természettudományi és Informatikai Kar
Alkalmazott és Környezeti Kémiai Tanszék

2014

1. Előzmények, célkitűzések

Richard P. Feynman Nobel-díjas tudós 1959-ben tartott előadása óta a nanotechnológia az emberiség fejlődésnek meghatározó szereplőjévé vált. Nem vitás, hogy a modern anyagtudomány elmúlt két évtizedét alapvetően a nanotechnológiai kutatásokban elért eredmények határozták és határozzák meg. Nanotechnológiai eljárásokkal előállított termékekkel már az élet számos területén találkozhatunk (pl. elektronika, orvostechika, gyógyászat).

A jövő és jelen nanotechnológiai megoldásainak egyik főszereplői a szén nanocsövek. Az első 1950-es években megjelent beszámolókat követően Iijima 1991-ben a Nature-ben publikált közleménye jelentette az áttörést a szén nanocsövek felfedezésében. A szén nanocsöveket, akárcsak a grafitot, sp^2 hibridállapotú szénatomok építik fel. Szerkezetét egy néhány nm átmérőjű feltekert grafén lapként is elképzelhetjük. Átlagos hosszúságuk legalább a μm -es tartományba esik, míg az átmérő az egyfalú szén nanocsövek esetén 1-2 nm, többfalúak esetében legtöbbször néhány tíz nanométer. Ebből adódik, hogy a hosszúság-átmérő arány rendkívül nagy, így ezek az anyagok fizikai szempontból egydimenziós szerkezeteknek tekinthetők. A szén nanocsövek rendkívüli sajátságaikból adódóan széles körű felhasználási lehetőségekkel kecsegtetnek. Az egyik lehetséges alkalmazási terület a különböző szervesetlen fém-oxidokkal borított szén nanocső kompozitok előállítása.

A kompozit anyagok (más néven összetett anyagok vagy röviden kompozitok) kialakítása két vagy több fizikailag vagy kémiaiilag eltérő anyag társításával történik, mellyel új tulajdonságú anyagok nyerhetők. A szén nanocső alapú kompozitok széleskörű felhasználási lehetőségeinek köszönhetően az elmúlt években számos publikáció és összefoglaló közlemény jelent meg a különböző szervesetlen rétegek kialakításával kapcsolatban mind az egyfalú, mind a többfalú szén nanocsövek esetében. Az előállított kompozit anyagok a katalízis, a szenzorkémia, az energia átalakítás, a hidrogéntárolás, az optika és az elektronika területén egyaránt alkalmazhatóak.

A Szegedi Tudományegyetem Alkalmazott és Környezeti Kémiai Tanszékének laboratóriumaiban már korábban is kiterjedt kutatásokat folytattak szén nanocsövek szintézisének, jellemzésének és alkalmazhatóságának tanulmányozása céljából. Doktori munkám során különböző kémiai szintézis módszereket alkalmazva készítettem fém oxidokkal borított többfalú szén nanocső alapú kompozitokat. Kutatásaim a lehetséges nanotechnológiai alkalmazásokat szem előtt tartva a többfalú szén nanocsövek felületének

titán-dioxid és ón-dioxid nanorészecskékkel történő borítására és vizsgálatára terjedtek ki. Az így kapott nanokompozitokat katalitikus és szenzoros alkalmazásokban teszteltük.

2. Kísérleti munka

Kísérleti munkám első részében $\text{TiO}_2/\text{MWCNT}$ nanokompozitokat állítottunk elő impregnációs technikával négy különböző titán prekuzort alkalmazva. Kísérleteinket oldószermentes és oldószeres közegben egyaránt elvégeztük. A kapott eredmények ismeretében a $\text{TiBr}_4/\text{MWCNT}/\text{EtOH}$, illetve a $\text{TiCl}_4/\text{MWCNT}/\text{aceton}$ rendszereket ismét összeállítva tanulmányoztuk a hidrolízis sebességének hatását a keletkező nanokompozitok szerkezetére. A következő lépésben exszikkátorok alkalmazásával szabályozott és zárt rendszerben vizsgáltuk a hidrolízis folyamatát. Az exszikkátorok belső légterében kénsav-víz elegy koncentrációjának változtatásával eltérő relatív páratartalmakat állítottunk be. A nanocsövek felületén kialakult amorf szervesetlen réteg kristályosítása érdekében a szintéziseket követően mintáinkat minden esetben 400°C illetve 700°C -on 3 órán át hőkezeltük. A kapott $\text{TiO}_2/\text{MWCNT}$ nanokompozitot Pd nanorészecskékkel érzékenyítettük, majd katalitikus aktivitását α,β -telítetlen karbonsavak enantioszelektív hidrogénezési reakcióiban teszteltük.

Doktori munkám második részében $\text{SnO}_2/\text{MWCNT}$ nanokompozitok előállításával, vizsgálatával és gázszenzoros alkalmazásának lehetőségével foglalkoztunk. Kísérleteink egyik fő célja az impregnációs, illetve a hidro- és szolvotermális szintézisek összehasonlító elemzése volt. Prekuzorként minden esetben $\text{SnCl}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$, oldószerként etanolt és vizet alkalmaztunk a szintézisek során. Kutatásaink során vizsgáltuk a tömegarány változtatásának hatását is. A szintézisek során kapott $\text{MWCNT}:\text{SnO}_2$ tömegarányok 1:4, 1:8, 1:16, 1:32 és 1:64 voltak. A különböző előállítási módszerekkel kapott nanokompozitokat a szén nanocsövek felületén kialakult amorf szervesetlen réteg kristályosítása céljából ebben az esetben is hőkezeltük. A hőkezélést 450°C -on 3 órán át végeztük.

A nanokompozitok szerkezeti és morfológiai jellemzése transzmissziós (TEM) és pásztázó elektronmikroszkóppal (SEM) történt. A kapott minták összetételének elemzésére, a komponensek jelenlétének kimutatására energiadiszperzív röntgen spektroszkópiát (EDS) használtunk. A szén nanocsövek felületén lévő szervesetlen oxid rétegek kristályszerkezetét röntgendiffraktometriás (XRD) módszerrel azonosítottuk. A fém-oxidok és a szén nanocsövek közötti kémiai kapcsolat létrejöttét konfokális Raman mikroszkópia és Fourier transzformációs infravörös spektroszkópia (FT-IR) segítségével bizonyítottuk. A

nanokompozitok fajlagos felületeinek meghatározása N_2 gáz adszorpciós méréssel, termikus bomlásuk tanulmányozása termogravimetriás (TG) úton történt. A Pd/TiO₂/MWCNT katalizátor hidrogénezési reakcióinak termékeit, a telített-telítetlen karbonsavak arányát tömeg szelektív detektorral ellátott gázkromatográfal azonosítottuk (GC-MSD). Az enantioszelektivitás vizsgálatához lángionizációs detektorral ellátott gázkromatográfot (GC-FID) használtunk. A Ru/SnO₂/MWCNT nanokompozitok szenzoros érzékenységét és alkalmazhatóságának lehetőségét automatizált gázérzékelő mérési elrendezésben vizsgáltuk.

3. Új tudományos eredmények

T1. TiO₂/MWCNT nanokompozitok előállítása

1.1. Oldószermentes körülmények között történt vizsgálataink eredményeinek értékelése során megállapítottuk, hogy a nagyobb reaktivitású titán-halogenideket használva prekuzorként megvalósítható a TiO₂/MWCNT nanokompozitok szintézise. Az elektronmikroszkópiás felvételek bizonyítják, hogy a TiCl₄ és TiBr₄ esetében egyaránt viszonylag egységes, homogén szervesetlen réteg keletkezett az MWCNT-ek felületén. Emellett azonban a TiO₂ nanorészecskék nagymértékű aggregációja is megfigyelhető volt oldószermentes körülmények között.

1.2. Oldószerek alkalmazásával sikeresen csökkentettük a szeparáltan elhelyezkedő TiO₂ részecskék mennyiségét a keletkező TiO₂/MWCNT nanokompozit mintákban. Az alkalmazott oldószerek (etanol, acetón, toluol, dimetil-formamid) eltérő polaritásából adódóan az alkalmazott titán prekuzorok eltérő minőségű szervesetlen bevonatokat eredményeztek a szén nanocsövek felületén lejátszódó kompetitív adszorpció miatt. Az előállított nanokompozitok összehasonlítása után megállapítottuk, hogy TiBr₄ alkalmazásával homogénebb felületi rétegek nyerhetőek. Az oldószer molekulák és a szén nanocsövek közötti erős kölcsönhatások gátolhatják a prekuzorok adszorpcióját a titán-alkoxidok esetében. A szervesetlen réteg keletkezése – „gócképződése” – feltételezhetően a CVD szintézissel előállított MWCNT-ek hibahelyeinél kezdődik. Ez párosul a TiCl₄ és TiBr₄ rendkívüli reaktivitásával, így ezen prekuzorok alkalmazásával homogénebb felületi réteg kialakulását tapasztaltuk oldószeres körülmények között, mint a Ti(OC₃H₇)₄ és Ti(OC₂H₅)₄ prekuzorok esetében.

1.3. A prekuzor molekulák hidrolízisének vizsgálatára „lassú” és „gyors” hidrolízisek alkalmazásával kerestük a választ. Vizsgálataink során megállapítottuk, hogy a TiO₂/MWCNT nanokompozitok szintézisét és a kialakuló szervesetlen réteg homogenitását a prekuzor molekulák hidrolízisének sebessége alapvetően befolyásolja. Lassú hidrolízis alkalmazásával jobban kontrollálható a keletkező TiO₂ réteg szerkezete és emellett jelentős mértékben csökken az aggregálódott szervesetlen oxid mennyisége a mintákban.

1.4. A hidrolízis sebességének még precízebb kontrollálása exszikkátorok segítségével és eltérő relatív páratartalmak beállításával történt. SEM analízis segítségével megállapítottuk, hogy a homogén felületi réteg kialakulásának a 10-20% relatív páratartalmú közeg kedvezett a legjobban. A relatív páratartalom növelésével párhuzamosan növekszik a mintákban jelen

lévő szeparálódott szerves anyag mennyisége. Konfokális Raman mikroszkópia alkalmazásával bizonyítottuk az MWCNT-ek és a TiO_2 nanorészecskék közötti kémiai kapcsolatot.

T2. $\text{SnO}_2/\text{MWCNT}$ nanokompozitok előállítása

2.1. Kísérleteink során az $\text{SnO}_2/\text{MWCNT}$ nanokompozitok szintézisét impregnációs illetve hidro- és szolvotermális szintézis módszerekkel sikeresen megvalósítottuk. A különböző tömegarányú nanokompozitok előállítása után megállapítottuk, hogy hidro- és szolvotermális szintézissel – az alkalmazott oldószeres közegektől függetlenül – jobban kontrollálható a keletkező nanokompozitok szerkezete. Raman és FT-IR technikák segítségével bizonyítottuk, hogy az MWCNT-ek és az SnO_2 nanorészecskék között a szintézis során kémiai kötés alakult ki.

T3. $\text{TiO}_2/\text{MWCNT}$ és $\text{SnO}_2/\text{MWCNT}$ nanokompozitok alkalmazása

3.1. Pd nanorészecskékkel érzékenyített $\text{TiO}_2/\text{MWCNT}$ nanokompozitot α,β -telítetlen karbonsavak enantioszelektív hidrogénezési reakcióiban teszteltük. A GC-MS és GC-FID technikák alkalmazásával kapott eredmények alapján igazoltuk, hogy a hidrogénezés kezdeti sebessége jó katalitikus aktivitást mutat, ugyanakkor mérsékelt enantioszelektivitás volt megfigyelhető a Pd/ $\text{TiO}_2/\text{MWCNT}$ nanokompozit katalitikus tesztreakciói során.

3.2. A szolvotermális eljárással etanolos közegben előállított $\text{SnO}_2/\text{MWCNT}$ nanokompozitok közül az 1:4 és 1:8-as tömegarányú, előzetesen Ru nanorészecskékkel érzékenyített mintákat gázszensoros alkalmazásokban teszteltük. A vizsgálatok alapján megállapítottuk, hogy az előállított nanokompozitok a vizsgált anyagok közül leginkább az etanol és metanol kimutatására alkalmasak. A Ru nanorészecskékkel történő érzékenyítés minden esetben pozitívan befolyásolta a nanokompozitok érzékenységét.

1. Tudományos közlemények

Az értekezés témájában megjelent tudományos közlemények

1. Hernádi Klára, **Németh Zoltán**
A szén nanocsövekről dióhéjban
Magyar Kémikusok Lapja, 1 (2009) 4-7.
2. Gy. Szöllősi, **Z. Németh**, K. Hernádi, M. Bartók
Preparation and characterization of TiO₂ coated multi-walled carbon nanotube-supported Pd and its Catalytic performance in the asymmetric hydrogenation of α,β -unsaturated carboxylic acids
Catalysis Letters 132 (2009) 370-376.
IF=2,021
3. **Z. Németh**, C. Dieker, Á. Kukovecz, D. Alexander, L. Forró, J.W. Seo, K. Hernádi
Preparation of homogeneous titania coating on the surface of MWNT
Composite Science and Technology 71 (2011) 87-94.
IF=3,144
4. 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
5. V.M. Aroutiounian, A.Z. Adamyan, E.A. Khachaturyan, Z.N. Adamyan, K. Hernádi, Z. Pállai, **Z. Németh**, L. Forró, A. Magrez, E. Horváth
Study of surface-ruthenated SnO₂/MWCNTs nanocomposite thick-film gas sensors
Sensors and Actuators B 177 (2013) 308-315.
IF₍₂₀₁₂₎=3,535
6. **Z. Németh**, Z. Pállai, B. Réti, Z. Balogh, O. Berkesi, K. Baán, A. Erdőhelyi, E. Horváth, L. Forró, K. Hernádi
Synthesis and comparative characterization of SnO₂/MWCNT nanocomposite materials
Közlésre benyújtva
7. **Z. Németh**, E. Horváth, B. Réti, A. Magrez, L. Forró, K. Hernádi
Preparation of TiO₂ covered MWCNT films by controlled hydrolysis
Előkészületben

Az értekezés témájához nem kapcsolódó tudományos közlemények

1. D. Fejes, **Z. Németh**, K. Hernádi
CVD synthesis of spiral carbon nanotubes over asymmetric catalytic particles
Reaction Kinetics and Catalysis Letters 96 (2009) 297-404.
IF=0,557
2. **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
Phys. Status Solidi B, Nos. 11-12 (2010) 2683-2686.
IF=1,344
3. **Z. Németh**, K. Markó, A. Erdőhelyi, L. Forró, K. Hernádi
Controllable synthesis and characterization of alumina/MWNT composites
Phys. Status Solidi B 248, No. 11 (2011) 2480-2483.
IF=1,316
4. K. Németh, **Z. Németh**, D. Fejes, B. Réti, Z. Balogh, K. Hernádi
The effect of alkaline doped catalysts on the CVD synthesis of carbon nanotubes
Phys. Status Solidi B 248, No. 11 (2011) 2471-2474.
IF=1,316
5. K. Vajda, K. Mogyorósi, **Z. Németh**, K. Hernádi, L. Forró, A. Magrez, A. Dombi
Photocatalytic activity of TiO₂/SWCNT and TiO₂/MWCNT nanocomposites with different carbon nanotube content
Phys. Status Solidi 248, No. 11 (2011) 2496-2499.
IF=1,316
6. K. Hajdú, T. Szabó, M. Magyar, G. Bencsik, **Z. Németh**, K. Nagy, A. Magrez, L. Forró, Gy. Váró, K. Hernádi, L. Nagy
Photosynthetic reaction center protein in nanostructures
Phys. Status Solidi B 248, No. 11 (2011) 2454-2457.
IF=1,316
7. 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
Phys. Status Solidi B 248, No. 11 (2011) 2475-2479.
IF=1,316
8. K. Hajdu, Cs. Gergely, M. Martin, L. Zimanyi, V. Agarwal, G. Palestino, DS. Leza, K. Hernadi, **Z. Németh**, L. Nagy
Porous silicon/photosynthetic reaction center hybrid nanostructure
European Biophysics Journal with Biophysics Letters 40 (2011) 175-176.
IF=2,139

9. K. Hajdu, Cs. Gergely, M. Martin, L. Zimanyi, V. Agarwal, G. Palestino, DS. Leza, K. Hernadi, **Z. Nemeth**, L. Nagy
Light-harvesting biomaterial using porous silicon and photosynthetic reaction center
Nanoscale Researc Letters 7:400 (2012)
IF=2,726

10. K. Hajdu, Cs. Gergely, M. Martin, T. Cloitre, , L. Zimanyi, K. Tenger, P. Khoroshy, G. Palestino, V. Agarwal, K. Hernadi, **Z. Nemeth**, L. Nagy
Porous silicon/photosynthetic reaction center hybrid nanostructure
Langmuir 28 (32) (2012) 11866-11873.
IF=4,187

11. T. Szabo, G. Bencsik, M. Melinda, B. Endrodi, Cs. Visy, Z. Nemeth, K. Hernadi, E. Horvath, A. Magrez, L. Forro, L. Nagy
Charge stabilization by reaction center protein immobilized to carbon nanotubes functionalized by amine groups and poly(3-thiophene acetic acid) conducting polymer
Phys. Status Solidi B 248, No. 11 (2012) 2386-2389.
IF=1,489

12. P. Berki, **Z. Németh**, B. Réti, O. Berkesi, A. Magrez, V. Aroutiounian, L. Forró, K. Hernadi
Preparation and characterization of multiwalled carbon nanotube/In₂O₃ composites
Carbon 60 (2013) 266-272.
IF₍₂₀₁₂₎=5,868

13. V.M. Aroutiounian, V.M. Arakelyan, E.A. Khachaturyan, G.E. Shahnazaryan, M.S. Aleksanyan, L. Forro, A. Magrez, K. Hernadi, **Z. Nemeth**
Manufacturing and investigations of i-butane sensor made of SnO₂/multiwall-carbon nanotube nanocomposite
Sensors and Actuators B 173 (2012) 890-896.
IF=3,535

14. V.M. Arakelyan, M.S. Aleksanyan, R. V. Hovhannisyan, G. E. Shahnazaryan, V.M. Aroutiounian, K. Hernadi, **Z. Nemeth**, L. Forro
Gas sensors made of multiwall carbon nanotubes modified by tin dioxide
Journal of Contemporary Physics 48 (4) (2013) 173-180.
IF₍₂₀₁₂₎=0,250

15. A. Vass, P. Berki, Z. Nemeth, B. Reti, K. Hernadi
Preparation and characterization of multi walled carbon nanotube/WO₃ nanocomposite materials
Phys. Status Solidi B 250, No.12 (2013) 2554-2558.
IF₍₂₀₁₂₎=1,489

$$\Sigma_{\text{IF}} = 40,969$$

Nemzetközi konferencia részvételek (előadások, poszterek)

1. S.B. Ötvös, P. Berenji, **Z. Németh**, O. Berkesi
IR and theoretical investigations of aromatic basic zinc carboxylates, precursors for the most popular MOF-s
13th International Symposium for Students in Chemistry
Temesvár, Románia (2008), **előadás**
2. **Z. Németh**, K. Hernádi
Preparation of homogeneous titania coating on the surface of MWNT with TiBr₄ and TiCl₄ precursors
Nanolab Workshop
Drvengrad, Szerbia (2009), **előadás**
3. **Z. Németh**, C. Dieker, Á. Kukovecz, D. Alexander, L. Forró, JW. Seo, K. Hernádi
Preparation of homogeneous TiO₂/MWNT composites by impregnation method
International Winterschool on Electronic Properties of Novel Materials, (IWEPNM)
Kirchberg, Ausztria (2010), **poszter**
4. **Z. Németh**, C. Dieker, D. Alexander, L. Forró, JW. Seo, K. Hernádi
Preparation of homogeneous TiO₂/MWNT composites by impregnation method
9th Conference on Solid State Chemistry (SSC)
Prága, Csehország (2010), **poszter**
5. **Z. Németh**, E. Bartfai, B. Reti, C. Dieker, JW Seo, L. Forro, K. Hernadi
Preparation of MWNT based composite materials for photocatalysis,
1th International Conference on Composite and Nanocomposites, (ICNC)
Kottayam, India (2011), **előadás**
6. **Z. Németh**, K. Markó, A. Erdőhelyi, L. Forró, K. Hernadi
Controllable synthesis and characterization of alumina/MWNT composites
International Winterschool on Electronic Properties of Novel Materials, (IWEPNM)
Kirchberg, Ausztria (2011), **poszter**
7. K. Hajdú, T. Szabó, M. Magyar, G. Bencsik, **Z. Németh**, K. Nagy, A. Magrez, L. Forró, Gy. Váró, K. Hernadi, L. Nagy
Photosynthetic reaction center protein in nanostructures
International Winterschool on Electronic Properties of Novel Materials, (IWEPNM)
Kirchberg, Ausztria (2011), **poszter**
8. B. Réti, K. Németh, **Z. Németh**, K. Mogyorósi, K. Markó, A. Erdőhelyi, A. Dombi
K. Hernadi
Photocatalytic measurements of TiO₂/MWCNT catalysts having different surface coverage
International Winterschool on Electronic Properties of Novel Materials, (IWEPNM)
Kirchberg, Ausztria (2011), **poszter**

9. K. Németh, **Z. Németh**, D. Fejes, Z. Balogh, K. Hernadi
The effect of alkaline doped catalysts on the CVD synthesis of carbon nanotubes
International Winterschool on Electronic Properties of Novel Materials, (IWEPNM)
Kirchberg, Ausztria (2011), **poszter**
10. K. Vajda, K. Mogyorósi, **Z. Németh**, L. Forró, K. Hernadi, A. Dombi
Photocatalytic activity of TiO₂/SWCNT and TiO₂/MWCNT nanocomposites with different carbon nanotube content
International Winterschool on Electronic Properties of Novel Materials, (IWEPNM)
Kirchberg, Ausztria (2011), **poszter**
11. K. Hernadi, **Z. Németh**, E. Bártfai, B. Réti, Z. Pállai, A. Magrez, L. Forró
Fabrication of carbon nanotube based inorganic nanocomposite materials
EuroNanoForum,
Budapest, Magyarország (2011), **poszter**
12. K. Hajdú, Cs. Gergely, M. Martin, Z. Zimányi, V. Agarwal, G. Palestino, D. Leza, K. Hernadi, **Z. Németh**, L. Nagy
Porous silicon/photosynthetic reaction center hybrid nanostructure
8th European Biophysics Congress
Budapest, Magyarország (2011), **poszter**
13. K. Hernadi, **Z. Németh**, A. Magrez, E. Bártfai, Z. Pállai, L. Forró
Controllable fabrication of nanocomposite materials based on multiwalled carbon nanotubes
8th International Conference on Semiconductor Micro and Nanoelectronics (ICSMN)
Jereván, Örményország (2011), **előadás**
14. **Z. Németh**, E. Horváth, A. Magrez, L. Forró, K. Hernadi
Electron microscopy study of TiO₂ covered MWNT films
10th Multinational Congress on Microscopy (MCM)
Urbino, Olaszország (2011), **poszter, különdíj**
15. T. Szabó, M. Magyar, **Z. Németh**, K. Hernádi, B. Endrődi, G. Bencsik, 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) conductive polymer
International Winterschool on Electronic Properties of Novel Materials, (IWEPNM)
Kirchberg, Ausztria (2012), **poszter**
16. L. Nagy, K. Hajdu, M. Magyar, **Z. Németh**, E. Horváth, A. Magrez, K. Nagy, Gy. Váró, K. Hernádi, L. Forró
Strategies to link photosynthetic reaction centers to carbon nanotubes for efficient light energy conversion
International Winterschool on Electronic Properties of Novel Materials, (IWEPNM)
Kirchberg, Ausztria (2012), **poszter**

17. K. Hajdu, **Z. Németh**, K. Nagy, Gy. Váró, A. Magrez, E. Horváth, L. Forró, K. Hernádi, L. Nagy
Light energy conversion by photosynthetic reaction center linked specifically to carbon nanotubes
International Winterschool on Electronic Properties of Novel Materials, (IWEPNM)
Kirchberg, Ausztria (2012), **poszter**

18. D. Fejes, E. Horváth, D. Carnelli, M. Geuss, A. Karimi, **Z. Németh**, B. Réti, A. Magrez, L. Forró, K. Hernádi
Water assisted CVD synthesis of millimetre-long and aligned coiled carbon nanotube forest
International Winterschool on Electronic Properties of Novel Materials, (IWEPNM)
Kirchberg, Ausztria (2012), **poszter**

19. K. Hernadi, Z. Pallai, **Z. Nemeth**, V.M. Aroutiounian, A.Z. Adamyan, E.A. Khachaturyan, Z.N. Adamyan, A. Magrez, L. Forro
Synthesis and comparative characterization of SnO₂-MWNT nanocomposite materials
International Winterschool on Electronic Properties of Novel Materials, (IWEPNM)
Kirchberg, Ausztria (2012), **poszter**

20. **Z. Nemeth**, E. Bartfai, K. Marko, A. Erdohelyi, A. Magrez, L. Forro, K. Hernadi
Preparation and photocatalytic properties of ZnO/MWNT nanocomposites
International Winterschool on Electronic Properties of Novel Materials, (IWEPNM)
Kirchberg, Ausztria (2012), **poszter**

21. K. Hajdu, Cs. Gergely, M. Martin, L. Zimányi, V. Agarwal, G. Palestino, K. Hernadi, **Z. Németh**, L. Nagy
Light-Harvesting biocomposites using porous silicon and photosynthetic reaction centers
Porous semiconductors – Science and Technology Conference (PSST)
Malaga, Spanyolország (2012), **poszter**

22. K. Hernadi, A. Magrez, **Z. Nemeth**, Z. Pallai, P. Berki, L. Forro
Preparation and characterization of MWNT based inorganic nanocomposite materials
E-MRS Spring Meeting
Strasbourg, Franciaország (2012), **poszter**

23. D. Fejes, E. Horvath, **Z. Nemeth**, A. Magrez, L. Forro, K. Hernadi
Growth and mechanical properties of millimeter long and vertically aligned coiled carbon nanotube forest
E-MRS Spring Meeting
Strasbourg, Franciaország (2012), **poszter**

24. **Z. Nemeth**, D. Fejes, E. Horvath, A. Magrez, L. Forro, K. Hernadi
Controllable synthesis and characterization of TiO₂ covered MWNT films and carpets
E-MRS Spring Meeting
Strasbourg, Franciaország (2012), **poszter**

25. V.M. Aroutiounian, V.M. Arakelyan, G.E. Shahnazaryan, E.A. Khachaturyan, M.S. Aleksanyan, L. Forro, A. Margez, K. Hernadi, **Z. Nemeth**
i-Butane sensor made of SnO₂/multiwall-carbon-nanotube nanocomposite
14th International Meeting on Chemical Sensors (IMCS)
Nürnberg, Németország (2012), **poszter**
26. V.M. Aroutiounian, A.Z. Adamyanyan, E.A. Khachaturyan, Z.N. Adamyanyan, K. Hernadi, Z. Pallai, **Z. Nemeth**, L. Forro, A. Magrez
Methanol and ethanol vapor sensitivity of MWCNT/SnO₂/Ru nanocomposite structures
14th International Meeting on Chemical Sensors (IMCS)
Nürnberg, Németország (2012), **poszter**
27. A.Z. Adamyanyan, Z.N. Adamyanyan, V.M. Aroutiounian, K. Hernadi, **Z. Nemeth**
Influence of applied voltage and catalyst layer thickness on SnO₂ hydrogen sensor performance
14th International Meeting on Chemical Sensors (IMCS)
Nürnberg, Németország (2012), **poszter**
28. V. Aroutiounian, V. Arakelyan, G. Shahnazaryan, E. Khachaturyan, M. Aleksanyan, L. Forro, A. Margez, K. Hernadi, **Z. Nemeth**, Z. Pallai
Detection of i-butane by SnO₂/MWCNT sensors
2nd International Conference on Materials and Applications for Sensors and Transducers (IC-MAST)
Budapest, Magyarország (2012), **poszter**
29. **Z. Nemeth**, P. Berki, A. Magrez, L. Forro, V. Aroutiounian, K. Hernadi
Preparation and comparative characterization of MWNT/In₂O₃ nanocomposite materials
XI International Conference on Nanostructured Materials (NANO 2012)
Rodosz, Görögország (2012), **poszter**
30. 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 millimetre-height coiled carbon nanotube forest
XI International Conference on Nanostructured Materials (NANO 2012)
Rodosz, Görögország (2012), **poszter**
31. **Z. Nemeth**, E. Horvath, A. Magrez, L. Forro, K. Hernadi
Preparation of TiO₂ covered MWCNT films by controlled hydrolysis
21th annual international conference on composites/nano engineering (ICCE-21)
Tenerife, Kanári szigetek, Spanyolország (2013), **előadás**
32. E.P. Kriván, D. Ungor, Zs. Lukacs, **Z. Nemeth**, Cs. Visy
Synthesis and characterization of nanostructured ZnO-conducting polymer composites for photovoltaic applications
64th Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry (ISE)
Santiago de Queretaro, Mexikó (2013), **poszter**

Társszerzői lemondó nyilatkozat

B. Korbély, **Z. Németh**, B. Réti, JW. Seo, A. Magrez, L. Forró, K. Hernadi

Fabrication of homogeneous titania/MWNT composite materials

Materials Research Bulletin 46 (2011) 1991-1996.

IF=2.105

Alulírott Réti Balázs nyilatkozom, hogy a jelölt publikációhoz kapcsolódó téziseit (1.2, 1.3) ismerem, a tézisekben foglalt tudományos eredményeket tudományos fokozat megszerzéséhez nem használtam fel és azokat ilyen célból a jövőben sem fogom.

Alulírott Hernádi Klára a fent említett tudományos közlemény felelős szerzőjeként nyilatkozom, hogy a jelölt publikációhoz kapcsolódó téziseit (1.2, 1.3) a társszerzők ismerik, a tézisekben foglalt tudományos eredményeket tudományos fokozat megszerzéséhez nem használják fel és azokat ilyen célból a jövőben sem fogják.

Réti Balázs

Dr. Hernádi Klára

Társszerzői lemondó nyilatkozat

V.M. Aroutiounian, A.Z. Adamyan, E.A. Khachatryan, Z.N. Adamyan, K. Hernadi,
Z. Pallai, **Z. Nemeth**, L. Forro, A. Magrez, E. Horvath

Study of surface-ruthenated SnO₂/MWCNTs nanocomposite thick-film gas sensors
Sensors and Actuators B 177 (2013) 308-315.

IF₍₂₀₁₂₎=3,535

Alulírott Pállai Zoltán nyilatkozom, hogy a jelölt publikációhoz kapcsolódó tézisét (2.1, 3.2) ismerem, a tézisekben foglalt tudományos eredményeket tudományos fokozat megszerzéséhez nem használtam fel és azokat ilyen célból a jövőben sem fogom.

Pállai Zoltán