

Doktori (Ph. D.) értekezés tézisei

**NANORÉSZECSCSKE-SZÉN NANOCSSŐ NANOKOMPOZITOK
ELŐÁLLÍTÁSA, JELLEMZÉSE ÉS KATALITIKUS
TULAJDONSÁGAINAK VIZSGÁLATA**

Sápi András

Témavezető: Dr. Kónya Zoltán

Egyetemi tanár



Kémia Doktori Iskola

Szegedi Tudományegyetem Természettudományi és Informatikai Kar

Alkalmazott és környezeti kémiai tanszék

SZEGED

2012

1. Előzmények és célkitűzések

Amikor nanotechnológiáról hallunk, először a számítógépek és a mikroelektronikai eszközök jutnak eszünkbe. Ebbe az ipari területbe több százmilliárd USA Dollárt investáltak ez ideig. Kevésbé ismert viszont, hogy a kémiában, a katalízisben hasonló mértékű beruházás folyik. A katalízis a kémia egyik legdinamikusabban fejlődő területe, amelyet a zöldkémia igényeinek előretörése hozott újra lendületbe.

A katalízisben bekövetkezett szemléletváltás szerint egy-egy reakcióban a szelektivitás magas értéken tartása lett a cél, aminek elérése érdekében hatalmas erőfeszítéseket tesznek világszerte. A nanotechnológiában a kémia irányából a határozott szerkezettel (méret és alak) rendelkező nanoméretű részecskék, illetve új katalizátorhordozók szintézise és jellemzésük kaptak egyre erősödő szerepet.

A nanorészecskék kicsiny méretükből és sajátos alakjukból adódóan speciális, a tömbi fázisban nem feltétlenül jelentkező tulajdonságokkal rendelkeznek a katalitikus folyamatok területén. A kicsiny fém klaszterek esetében, a magas felszín-térfogat arány mellett, nem olvad össze a vegyérték és a vezetési sáv, melynek köszönhetően nem fémes tulajdonságok jelennek meg a nanométeres tartományban. Az instabilan koordinált atomok, az elektromos töltés többlet, illetve a különböző nanorészecske-hordozó kölcsönhatások felelősek a nanorészecskék kiemelkedő katalitikus aktivitásáért. Sajátos morfológiájuk, termikus, elektromos, mechanikai és adszorpciós tulajdonságai ígéretes katalizátorhordozóvá teszik a szén nanocsöveket. Ezek kombinálása és az egymás közötti kölcsönhatásból eredő további jelenségek ígéretes, nulladimenziós nanorészecske-szén nanocső nanokompozit alapú katalizátorokat nyújthatnak.

Az elmúlt években az Alkalmazott és Környezeti Kémiai Tanszéken több kutatás irányult a szén nanocsövek és fém, illetve egyéb nulladimenziós nanorészecskék szintézisére, karakterizálására és felhasználására, illetve már régóta végeznek kísérleteket a heterogén katalízis területén.

Munkánk célja volt a fentebbi anyagok kombinálásával új, szén nanocső hordozott nanorészecske nanokompozitok készítése, karakterizálása és azok heterogén katalitikus folyamatokban történő tesztelése. Célul tűztük ki a hordozó-nanorészecske közötti kölcsönhatások vizsgálatát, illetve a hordozók hatásának felderítését a különböző katalitikus folyamatok eredményeire.

2. Kísérleti rész

A katalizátorok hordozójaként alkalmazott többfalú szén nanocsöveket (MWCNT) az Alkalmazott és Környezeti Kémia Tanszéken kifejlesztett kémiai gőzleválasztásos (CCVD) technikával, alumínium-oxid hordozott vas-kobalt katalizátorokon állítottuk elő. A tisztított nanocsövek mellett, azok – gazdagabb felszíni kémiával rendelkező – salétromsavval funkcionalizált, illetve golyós malomban őrölt változatát is elkészítettük.

A nulladimenziós fém, fém-oxid nanorészecske (Ni, Co, Pt, Pd, Rh és egyes esetekben ezek oxidjai)/szén módosulat (MWCNT, malomban őrölt MWCNT, funkcionalizált MWCNT, aktív szén, grafit) nanokompozitok előállítására egyszerű, nedves közegű impregnációs technikát alkalmaztunk. A jó nedvesítés érdekében impregnálási közegként főként benzolt és toluolt használtunk. A katalizátor prekursoraként az átmeneti fémek acetát, illetve acetilacetonát sóit alkalmaztuk kedvező oldhatósági, és hőstabilitási tulajdonságaik miatt. A fém:hordozó arány 5-35 tömeg% között változott. Az impregnálást követően a mintákat szárítottuk, majd a katalizátor prekursorától függően levegő és/vagy hidrogén atmoszférában különböző hőmérsékleten (180 °C – 380 °C) kezeltük.

A tiszta és módosított szén nanocsövek morfológiáját, a katalizátorszemcsék átlagos részecske átmérőit, részecskeméret-eloszlását és diszperzitását transzmissziós elektronmikroszkópiával (TEM) és pásztázó elektronmikroszkópiával (SEM) vizsgáltuk. A hordozók és a nanorészecskék kristály szerkezetét, kristályossági fokát, illetve egyes esetekben az átlagos részecske átmérőket röntgen diffraktometriával (XRD) és elektron diffrakcióval (ED) határoztuk meg. A különböző katalizátorok, illetve hordozók adszorpció/deszorpció izotermáinak, illetve fajlagos felületének, pórusméret-eloszlásának, pórustérfogatának meghatározására nitrogén adszorpció/deszorpció méréseket alkalmaztunk. A katalizátorok fémtartalmát energiadiszperzív spektroszkópiával (EDS) és termogravimetriával (TG) határoztuk meg. A különböző szén allotrópokon hordozott palládium katalizátorok savcentrumainak meghatározását hőmérséklet programozott deszorpcióval (TPD) végeztük el. A nikkel-oxid és MWCNT hordozók közötti kölcsönhatások vizsgálatakor a bomlási hőmérsékleteket, sebességeket, illetve a bomlást követő entalpiaváltozásokat termogravimetriás analízissel (TG-DTG-DTA) határoztuk meg.

A katalizátorokat ciklohexén és propén hidrogénezési/dehidrogénezési, illetve etanol gőzreformálási reakciókban teszteltük. Azok aktivitását, stabilitását, szelektivitását gázkromatográfiával (GC) és infravörös spektroszkópiával (IR) követtük.

3. Új tudományos eredmények

T.1. Szén allotrópokon hordozott Ni katalizátorok előállítása és jellemzése

1.1 Különböző szén alapú (több falú szén nanocső, malomban őrölt többfalú szén nanocső, grafit, aktív szén) hordozós nikkell katalizátorokat készítettünk nedves közegű impregnációs technikával. A mintákon végzett TEM és XRD vizsgálatok alapján meghatároztuk a képződött NiO és Ni részecskék méreteloszlását. Kimutattuk, hogy a kialakult részecskék mérete nagyon erősen függ az alkalmazott hordozó szerkezetétől annak ellenére, hogy kémiai összetételt illetően nagyon kevés különbség van közöttük.

1.2 Kimutattuk, hogy ciklohexén hidrogénezése során a két nanocsőves mintán elért konverziók a kiindulási 1:9 szénhidrogén:H₂ arány esetén jóval magasabbak, mint a grafitos és az aktív szenes minta esetén. Az eredeti és malomban őrölt szén nanocső hordozós katalizátorok közötti katalitikus aktivitás különbségeket a szén nanocsővek felületén található hibahelyek és felületi funkciós csoportok számának eltéréséből fakadó jelenségeknek tulajdonítjuk.

T.2. Palládium/szén nanokompozitok előállítása és vizsgálata

2.1 A nikkell/szén rendszerek analógiájára többfalú szén nanocső, funkcionáliszt több falú szén nanocső, aktív szén és grafit hordozós palládium katalizátorokat készítettünk. A TEM felvételek alapján megállapítottuk, hogy a többfalú szén nanocső hordozós minták esetében az egyes, nagyobb (7-8 nm) részecskék kisebb (1-2 nm) átmérőjű nanoklaszterek agglomerációjaként jelentkeznek. Ez a hatás funkcionáliszt szén nanocső esetében nem jelentkezett, mely a felszíni, oxigén tartalmú funkciós csoportok/nanorészecske kölcsönhatásoknak tulajdonítható. A Ni/C rendszerekkel ellentétben, a palládium nanorészecskék átlagos méretet nem befolyásolja nagymértékben a hordozó fajtája.

2.2 Kimutattuk, hogy ciklohexén hidrogénezési reakcióban a két szén nanocső, illetve az aktív szén hordozós katalizátorok mutatkoztak a legaktívabbnak. A szén nanocső hordozott mintákkal ellentétben az aktív szén hordozós minta esetében gyors konverzió csökkenést tapasztaltunk. A katalitikus tesztek során tapasztalt dezaktiválódás különbségek miatt a Pd/C rendszerekben alkalmazott hordozókat NH₃ TPD vizsgálatoknak vetettük alá. A funkcionáliszt szén nanocső, illetve az aktív szén esetében voltak a legmagasabbak Az aktív

szén esetében tapasztalt gyors lemergeződést a relatíve magas Broensted-féle savcentrum számnak tulajdonítjuk. A funkcionizált szén nanocső esetében a magas aktív hely szám ellenére sem tapasztaltuk a lemergeződést, mely jelenséget a stabil, „szellős”, kazal-szerű szerkezetnek köszönhetünk.

T.3. Többsfalú szén nanocső hordozott katalizátorokon alapuló H₂ termelés

3.1 Funkcionizált többsfalú szén nanocső hordozott nikkel, kobalt, platina és ródium katalizátorokat készítettünk. Az XRD vizsgálatok alapján megállapítottuk, hogy az oxidatív atmoszférában történő prekursor bontást követően a nikkel és kobalt esetében az oxid forma, míg a platina és ródium esetében az elemi forma alakult ki. A kobalt/szén nanocső minta esetében a Co(III)(acac)₃ prekursorból kialakult Co(II,III)-oxid forma jelenlétét és az EDS mérésekkel meghatározott kiugróan magas fém tartalmat a CNT hordozó által okozott szenes redukciónak tulajdonítjuk. A TEM felvételek alapján a Ni/CNT mintákkal ellentétben, a kobalt, illetve platina katalizátorok esetében nagyobb méretű katalizátor szemcséket is találtunk a CNT felszínén. A ródiummal készült katalizátorok esetében az 1-2 nm átmérőjű részecskékből agglomerálódott 20-50 nm nagyságú nanoklasztereket figyeltünk meg.

3.2 A különböző CNT alapú katalizátorok etanol gőzreformálási reakcióban való tesztelése során kimutattuk, hogy a Ni/CNT és Co/CNT katalizátorok versenyképesek a kereskedelmi forgalomban kapható társukhoz (Ni/Al₂O₃) képest, sőt, egyes paraméterek (H₂ kitermelés, H₂ szelektivitás) tekintetében jobban is működtek. A Ni/CNT katalizátor segítségével – az adott reakció paraméterek mellett – már 400 °C-on tökéletes etanol konverziót értünk el. A Co/CNT katalizátorral – alacsony CO és CH₄ koncentráció mellett – magas H₂ kitermelést sikerült elérni 450 °C-on. Az irodalmak alapján várt Pt és Rh tartalmú katalizátorok aktivitása az alkalmazott vizsgálati körülmények mellett elmaradt.

T.4. 3D szabályozott CNT „állványok” alkalmazása katalizátor hordozóként

4.1 Speciálisan kialakított szilícium korongokra növesztett, rendezett struktúrájú CNT hordozós palládium katalizátorokat is készítettünk nedves közegű impregnációs technikát követő redukálással, illetve oxidációt követő redukálással is. Az N₂ adszorpciós vizsgálatok II. típusú izoterma jelenlétére utal. Az izotermából számított BJH pórusméret-eloszlás

bimodális jelleget mutat, ahol a 8 nm, illetve annál nagyobb átmérővel rendelkező pórusok a rendezett struktúrából adódnak, és a kisebb, ~3 nm-es pórusok az egymás mellett állószen nanocsövek külső felszíne által kialakított V-alakú csatornáknak tudható be.

4.2 A TEM vizsgálatok alapján megállapítottuk, hogy a palládium részecskék tekintetében a részecske átmérő magasabbnak bizonyult az oxidatív hőkezelésnek is kitett minták esetében, mely a hosszabb idejű kezelésnek, illetve a magas hőmérsékletnek köszönhető felületi diffúzió következménye. Kimutattuk, hogy az oxidatív hőkezelés hatására roncsolódott falú CNT-ek keletkeztek, a szén nanocső falába „fűrődött” katalizátor szemcsék katalitikus szén oxidációs folyamatokra engednek következtetni.

4.3 A rendezett CNT hordozott Pd katalizátorokat propén hidrogénezési reakciókban teszteltük, és megállapítottuk, hogy stabil és magas konverzió értékek érhetőek el a katalitikus aktivitás tekintetében a rendezett struktúrának köszönhetően. A legmagasabb aktivitást ($\text{TOR} = 1,1 \text{ molekula} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pd aktív hely}^{-1}$) 120°C hőmérsékleten kaptuk. Az Arrhenius görbékből meghatározott látszólagos aktiválási energia értékek a „belső kinetika tartományban” $27,8 \pm 0,6 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ -nak, a „belső diffúziós tartományban” $12,0 \pm 0,2 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ -nak, a „külső diffúziós tartományban” pedig $4,8 \pm 0,2 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ -nak adódtak.

T.5. A katalizátor szemcsék és a CNT hordozó közötti kölcsönhatások vizsgálata

5.1 Kimutattuk, hogy a különböző hőmérsékleteken kalcinált $\text{Ni}(\text{acac})_2$ /szén nanocső kompozitokban a kezelés hőmérsékletének emelésével a szén nanocsövek szerkezete romlik, a grafitos falak egyre jobban károsodnak. A kezdeti, ~1-2 nm átmérőjű $\text{Ni}(\text{acac})_2$ nanorészecskék a hőbomlást követően nagyobb, 2-4 nm átmérőjű részecskékké állnak össze felületi diffúzió segítségével, amivel párhuzamosan, magasabb hőmérsékleten a grafitos rétegek roncsolódásáért felelős katalitikus szén oxidációs reakciók is előtérbe kerülnek. A 653 K -es hőkezelés után a szén nanocsövek szerkezete annyira károsodik, hogy a szénbe fűrődött NiO nanorészecskék találkozásakor nagyobb részecskékké tudnak összeállni.

5.2 *In situ* TEM vizsgálatok alapján kiderült, hogy a kiindulási $\text{Ni}(\text{acac})_2$ /szén nanocső kompozit szinte az első pillanattól kezdve változik; a Ni-só elbomlik és a képződő 1-2 nm átmérőjű NiO részecskék a nagy energiabehatásnak köszönhetően, a felületi diffúzió jelenségét teljesen háttérbe szorítva azonnal elkezdik roncsolni a nanocsövek falait. A CNT

falaira merőleges NiO részecske mozgás mellett az üregek átmérője is növekszik az idő előrehaladtával.

5.3 Termogravimetriás mérésekkel kimutattuk, hogy a CNT jelenlétében a $\text{Ni}(\text{acac})_2$ bomlási hőmérséklete 614 K-ről 580 K-re csökken, mely jelenséget a $\text{Ni}(\text{acac})_2$ nanométeres tartományba eső méretéből, illetve a szén nanocső és a $\text{Ni}(\text{acac})_2$ komplex elektronrendszere közötti kölcsönhatásnak tulajdonítunk. A kiindulási szén nanocsövek oxidációja 680 K-en indul el, azonban a nanokompozit esetében a $\text{Ni}(\text{acac})_2$ nanorészecskék bomlásával egy időben (580 K) a szén nanocsövek oxidációja is elkezdődik. A képződő NiO nanorészecskék nem csak gyorsítják, hanem tökéletesítik is a szén oxidációját.

5.4 A különböző bomlások, reakciók aktiválási energiáinak meghatározásának érdekében DTA vizsgálatokat végeztünk és megállapítottuk, hogy a $\text{Ni}(\text{acac})_2$ bomlására kapott aktiválási energiák a szabad, illetve a CNT hordozott minták esetében rendre $28,11 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$, illetve $26,35 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ értéket mutatnak, mely jelenséget a CNT felszín és a Ni „d” pályáinak kölcsönhatásának tulajdonítunk. A CNT esetében tapasztalt számottevően alacsonyabb aktiválási energia a $\text{Ni}(\text{acac})_2$ prekursor bomlásából visszamaradó NiO nanorészecskék által katalizált szén oxidációnak köszönhető.

4. A doktori értekezés alapját képező közlemények

1. Synthesis and catalytic application of metallic nanoparticles

A. Sápi, Z. Kónya, Á. Kukovecz, I. Kiricsi

Ed.: Tamás Szörényi: Nanoparticles: Production pathways and appealing applications, College of Dunaújváros (2011) 25-34, ISBN 978-963-9915-45-9

IF₂₀₁₁: 0,000, független hivatkozás: 0

2. Fundamental aspects of the synthesis, modification, characterization and catalytic testing of various silicate forms and metal nanoparticle-mesoporous silicate composite materials

A. Sapi, R. Remias, A. Kukovecz, I. Palinko, Z. Konya, I. Kiricsi

Istvan Halasz: Silica and silicates in modern catalysis; Chapter 9. (2010) 187-212, ISBN: 978-81-7895-455-4

IF₂₀₁₀: 0,000, független hivatkozás: 0

3. Adsorption of C6 hydrocarbon rings on mesoporous catalyst supports

R. Rémiás, **A. Sapi**, R. Puskás, Z. Kónya, Á. Kukovecz, I. Kiricsi

Chem. Phys. Lett. **482** (2009) 296-301

IF₂₀₀₉: 2,291, független hivatkozás: 0

4. Low temperature growth of multi-walled carbon nanotubes by thermal CVD

N. Halonen, **A. Sapi**, L. Nagy, R. Puskás, A.-R. Leino, J. Maklin, J. Kukkola, G. Tóth, M.-C. Wu, H.-C. Liao, W.-F. Sung, A. Shchukarev, J.-P. Mikkola, Á. Kukovecz, Z. Kónya, K. Kordás

Phys. Status Solidi B **248** (2011) 2500-2503

IF₂₀₁₀ = 1,344, független hivatkozás: 0

5. Synthesis and characterization of nickel catalysts supported on different carbon materials

A. Sapi, R. Rémiás, Z. Kónya, Á. Kukovecz, K. Kordás, I. Kiricsi

RKCL **96** (2009) 379-389

IF₂₀₀₉ = 0,557, független hivatkozás: 0

6. CNT-based catalysts for H₂ production by ethanol reforming

P. K. Seelam, M. Huuhtanen, **A. Sápi**, M. Szabó, K. Kordás, E. Turpeinen, G. Tóth, R. L. Keski

International Journal of Hydrogen Energy **22** (2010) 12588-12595

IF₂₀₁₀ = 4,053, független hivatkozás: 1

7. Three-Dimensional Carbon Nanotube Scaffolds as Particulate Filters and Catalyst Support Membranes

N. Halonen, A. Rautio, AR. Leino, T. Kyllönen, G. Toth, J. Lappalainen, K. Kordas, M. Huuhtanen, R. L. Keiski, **A. Sapi**, M. Szabo, Z. Kónya, Á. Kukovecz, K. Kordás, I. Kiricsi R. Vajtai, P. M. Ajayan

ACS NANO **4** (2010) 2003-2008

IF₂₀₁₀ = 9,855, független hivatkozás: 9

5. Előadások, poszterek, konferencia részvételek

1. Low temperature CVD synthesis of multiwall carbon nanotubes

A. Sápi, L. Nagy, Á. Kukovecz, K. Kordás, G. Tóth, Z. Kónya

IWEPNM 2011, Kirchberg in Tirol, Austria, 2011 (poszter)

2. Tungsten oxide and titanium dioxide nanowires – Preparation, doping and application

M. Szabó, M. C. Wu, M. Mohl, **A. Sápi**, G. Tóth, K. Kordás, Á. Kukovecz, Z. Kónya

IWEPNM 2011, Kirchberg in Tirol, Austria, 2011 (poszter)

3. Mechanical resistance of titanate nanowires

A. Sápi, G. István, L. Nagy, Á. Kukovecz, Z. Kónya

10th Multinational Congress on Microscopy, Urbino, Italy, 2011 (előadás)

4. One dimensional titanate nanostructures

A. Sápi, Á. Kukovecz, Z. Kónya

EuroNanoForum, Budapest, Hungary, 2011 (előadás)

5. Nanorészecskék előállítása nagyenergiájú szintézismódszerekkel

A. Sápi, Á. Kukovecz, Z. Kónya

TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KONV-2010-0005 project lectures; Szeged, Hungary, 2011 (előadás)

6. Synthesis and catalytic applications of metallic nanoparticles

A. Sápi, Á. Kukovecz, Z. Kónya, I. Kiricsi

TÁMOP-4.2.2.-08/1/08/1/2008-0016 project lectures; Dunaujváros, Hungary, 2011 (előadás)

7. Szén nanocsövek módosulásainak vizsgálata ex situ és in situ elektronmikroszkópiával

A. Sápi, Á. Kukovecz, Z. Kónya, I. Kiricsi

Magyar Mikroszkópos Konferencia, Siófok, Hungary, 2010 (előadás)

8. Különböző NiO/CNT nanokompozitok szintézise és vizsgálata

A. Sápi, Á. Kukovecz, Z. Kónya, I. Kiricsi

Magyar Mikroszkópos Konferencia, Siófok, Hungary, 2009 (előadás)

9. Moderate electrical anisotropy in aligned multi-walled carbon nanotube forests and carbon nanotube/epoxy composites

A. Dombovari, N. Halonen, **A. Sapi,** M. Szabo, G. Toth, J. Mäklin, K. Kordas, J. Juuti, H. Jantunen, A. Kukovecz, Z. Konya

NGS Meeting, Jyväskylä, Finland, 2009 (poszter)

10. Electrical properties and gas sensitivity of nickel-palladium nanowire thin films

J. Kukkola, J. Mäklin, N. Halonen, K. Kordás, M. Mohl, **A. Sápi,** Á. Kukovecz, Z. Kónya, I. Kiricsi, A. Kumar, A. Leela M. Reddy, R. Vajtai, P. M. Ajayan

Nanoscience days, Jyväskylä, Finland, 2009 (poszter)

11. Multi-walled carbon nanotubes grown in 3-dimensional templates: Facile route towards novel membrane-type catalyst support materials

N. Halonen, T. Kyllönen, G. Tóth, K. Kordás, M. Huuhtanen, R. L. Keiski, **A. Sápi**, M. Szabó, Á. Kukovecz, Z. Kónya, R. Vajtai, P. M. Ajayan
Nanoscience days, Jyväskylä, Finland, 2009 (poszter)

12. Carbon nanotube based catalysts for ethanol reforming and hydrogen fuel cells

M. Huuhtanen, E. Turpeinen, P. K. Seelam, R. L. Keiski, **A. Sápi**, M. Szabó, K. Santosh, N. Halonen, G. Toth, K. Kordas
Nanoscience days, Jyväskylä, Finland, 2009 (poszter)

13. Ni/C nanokompozitok előállítás és katalitikus tulajdonságainak vizsgálata

A. Sápi, Á. Kukovecz, Z. Kónya, I. Kiricsi
MTA Katalízis Munkabizottság gyűlése, Szeged, Hungary, 2008 (előadás)

14. On the morphology and transport properties of HDPE-titanate nanowire nanocomposites

J. Szel, E. Horvath, **A. Sapi**, A. Kukovecz, Z. Konya, I. Kiricsi
IWEPNM 2007, Kirchberg in Tirol, Austria, 2007 (poszter)

15. Nanokompozitok termikus tulajdonságainak mérésére alkalmas műszer fejlesztése

A. Sápi, J. Szél, Á. Kukovecz, Z. Kónya, I. Kiricsi
XXVIII. OTDK, Szeged, Hungary, 2007 (előadás)

16. Developing a system for measuring thermal properties of nanocomposites

A. Sápi, J. Szél, Á. Kukovecz, Z. Kónya, I. Kiricsi
XI. Természettudományi ETDK, Temesvár, Romania, 2006 (előadás)

17. Spectroscopic studies on self-supporting multi-wall carbon nanotube based composite films for sensor applications

R. Smajda, Z. Győri, **A. Sápi**, M. Veres, A Oszkó, J. Kis-Csitári, Á. Kukovecz, Z. Kónya, I. Kiricsi
XXVIII. EUCMOS (2006), Istanbul, Turkey, 2006 (poszter)

18. Periodikus módszeren alapuló rendszer kialakítása nanokompozitok termikus tulajdonságainak mérésére

A. Sápi, J. Szél, Á. Kukovecz, Z. Kónya, I. Kiricsi

VIII. Temesvári Műszaki TDK, Temesvár, Romania, 2006 (előadás)

6. Egyéb közlemények

1. One-pot liquid phase catalytic conversion of ethanol to 1-butanol over aluminium oxide – The effect of the active material on the selectivity

T. Riittonen, E. Toukoniitty, D. K. Madnani, A. R. Leino, K. Kordas, M. Szabó, **A. Sápi**, K. Arve, J. Warna, J. P. Mikkola

Catalysts **2** (2012) 68-84

IF₂₀₁₂ = 0,000, független hivatkozás: 0

2. Characterization of carbon thin films prepared by the thermal decomposition of spin coated polyacrylonitrile layers containing metal acetates

M. Darányi, I. Sarusi, **A. Sápi**, Á. Kukovecz, Z. Kónya, A. Erdőhelyi

Thin Sol. Films **520** (2011) 57-63

IF₂₀₁₀ = 1,909, független hivatkozás: 0

3. Thermal diffusivity of aligned multi-walled carbon nanotubes measured by the flash method

J. Maklin, N. Halonen, G. Tóth, **A. Sápi**, Á. Kukovecz, Z. Kónya, H. Jantunen, J.-P. Mikkola, K. Kordás

Phys. Status Solidi B **248** (2011) 2508-2511

IF₂₀₁₀ = 1,344, független hivatkozás: 0

4. Enhanced photocatalytic activity of TiO₂ nanofibers and their flexible composite films: Decomposition of organic dyes and efficient H₂ generation from ethanol-water mixtures

M.C Wu, A. Spi, A. Avila, M. Szabó, J. Hiltunen, M. Huuhtanen, G. Tóth, . Kukovecz, Z. Knya, R. Keiski, W. F. Su, H. Jantunen, K. Kordás
Nano Research **4** (2011) 360-369

IF₂₀₁₀ = 5,071, független hivatkozás: 1

5. Nervous system effects of dissolved and nanoparticulate cadmium in rats in subacute exposure

E. Horvath, G. Oszlnczi, Zs. Mt, A. Szabó, G. Kozma, A. Spi, Z. Knya, E. Paulik, L. Nagymajtnyi, A. Papp
J. Appl. Toxicology **31** (2011) 471-476

IF₂₀₁₀ = 2,322, független hivatkozás: 0

6. Nervous system effects in rats on subacute exposure by lead-containing nanoparticles via the airways

G. Oszlnczi, A. Papp, A. Szabó, L. Nagymajtnyi, A. Spi, Z. Knya, E. Paulik, T. Vezr
Inhalation Toxicology **23** (2011) 173-181

IF₂₀₁₀ = 2,295, független hivatkozás: 0

7. Nitrogen-Doped Anatase Nanofibers Decorated with Noble Metal Nanoparticles for Photocatalytic Production of Hydrogen

M. C. Wu, J. Hiltunen, A. Spi, A. Avila, W. Larsson, H.-C. Liao, M. Huuhtanen, G. Tóth, A. Shchukarev, N. Laufer, A. Kukovecz, Z. Knya, J.-P. Mikkola, R. Keiski, W.-F. Chen, H. Jantunen, P. M. Ajayan, R. Vajtai, K. Kordás
ACS NANO **5** (2010) 5025-5030

IF₂₀₁₀ = 9,855, független hivatkozás: 1

8. Subacute exposure of rats by metal oxide nanoparticles through the airways: general toxicity and neurofunctional effects

G. Oszlanczi, E. Horváth, A. Szabó, E. Horváth, **A. Sápi**, G. Kozma, Z. Kónya, E. Paulik, L. Nagymajtényi, A. Papp

Acta Biologica Szegediensis **54** (2010) 165-170

IF₂₀₁₀ = 0,000, független hivatkozás: 0

9. Increasing chemical selectivity of carbon nanotube-based sensors by fluctuation-enhanced sensing

D. Molnar, P. Heszler, R. Mingesz, Z. Gingl, A. Kukovecz, Z. Konya, H. Haspel, M. Mohl, **A. Sapi**, I. Kiricsi, K. Kordas, J. Mäklin, N. Halonen, G. Toth, H. Moilanen, S. Roth, R. Vajtai, P. M. Ajayan, Y. Pouillon, A. Rubio

FNL **9** (2010) 277-287

IF₂₀₁₀ = 0,317, független hivatkozás: 0

10. Moderate anisotropy in the electrical conductivity of bulk MWCNT/epoxy composites

A. Dombovari, N. Halonen, **A. Sapi**, M. Szabo, G. Toth, J. Mäklin, K. Kordas, J. Juuti, H. Jantunen, Á. Kukovecz, Z. Kónya

CARBON **48** (2010) 1918-1925

IF₂₀₁₀ = 4,893, független hivatkozás: 1

11. Synthesis and properties of novel Ba(II)Fe(III) layered double hydroxides

D. Sranko, A. Pallagi, E. Kuzmann, S. E. Canton, M. Walczak, **A. Sápi**, Z. Kónya, Á. Kukovecz, P. Sipos, I. Pálanko

Appl. Clay Sci. **48** (2010) 214-217

IF₂₀₁₀ = 2,303, független hivatkozás: 4

12. Carbon nanotube based sensors and fluctuation enhanced sensing

Á. Kukovecz, D. Molnár, K. Kordás, Z. Gingl, H. Moilanen, R. Mingesz, Z. Kónya, J. Mäklin, N. Halonen, G. Tóth, H. Haspel, P. Heszler, M. Mohl, **A. Sápi**, S. Roth, R. Vajtai, P. M. Ajayan, Y. Pouillon, A. Rubio, I. Kiricsi

Phys. Status Solidi C **7** (2010) 1217–1221

IF₂₀₁₀ = 0,000, független hivatkozás: 0

13. Chemical synthesis of poly(3-thiophene-acetic-acid)/magnetite nanocomposites with tunable magnetic behaviour

C. Janaky, B. Endrodi, K. Kovacs, M. Timko, **A. Sapi**, C. Visy

Synth. Metals **160** (2010) 65-71

IF₂₀₁₀ = 1,871, független hivatkozás: 2

14. Neurotoxic effects of metal oxide nanoparticles on the somatosensory system of rats following subacute intratracheal application

L. Sárközi, E. Horváth, A. Szabó, E. Horváth, **A. Sápi**, G. Kozma, Z. Kónya, A. Papp

CEJOEM **14** (2008) 277-290

IF₂₀₀₈ = 0,000, független hivatkozás: 0

15. Több figyelmet a műanyagoknak!

A. Sápi

A Kémia Tanítása **1** (2008) 16-26

IF₂₀₀₈ = 0,000, független hivatkozás: 0

16. Spectroscopic studies on self-supporting multi-wall carbon nanotube based composite films for sensor applications

R. Smajda, Z. Győri, **A. Sápi**, M. Veres, A. Oszkó, J. Kis-Csitári, Á. Kukovecz, Z. Kónya, I. Kiricsi

J. Mol. Struct. **834-836** (2007) 471-476

IF₂₀₀₇ = 1,440, független hivatkozás: 8

17. Building up a system based on periodic method for measuring thermal properties of nanocomposites

A. Sági

ISBN: (10)973-638-254-0 April, 2006

IF₂₀₀₆ = 0,000, független hivatkozás: 0

Összes referált közlemény: 24

ebből az értekezéshez kapcsolódik: 7

Összesített impakt faktor: 51,720

ebből az értekezéshez kapcsolódik: 18,100

Összes idegen hivatkozás: 26

ebből az értekezéshez kapcsolódik: 10

Társszerzői lemondó nyilatkozat

Synthesis and characterization of nickel catalysts supported on different carbon materials

A. Sápi, R. Rémiás, Z. Kónya, Á. Kukovecz, K. Kordás, I. Kiricsi

RKCL **96** (2009) 379-389

IF₂₀₀₉ = 0,557, független hivatkozás: 0

Alulírott nyilatkozom, hogy a jelölt publikációhoz kapcsolódó tézisét (1.1, 1.2) ismerem, a tézisekben foglalt tudományos eredményeket tudományos fokozatszerzés megszerzéséhez nem használtam fel, s tudomásul veszem, hogy azokat ilyen célból a jövőben sem használhatom fel.

Rémiás Róbert

Dr. Kónya Zoltán

Dr. Kukovecz Ákos

Szeged, 2012. január. 23.

Társszerzői lemondó nyilatkozat

CNT-based catalysts for H₂ production by ethanol reforming

P. K. Seelam, M. Huuhtanen, **A. Sápi**, M. Szabó, K. Kordás, E. Turpeinen, G. Tóth, R. L. Keski

International Journal of Hydrogen Energy **22** (2010) 12588-12595

IF₂₀₁₀ = 4,053, független hivatkozás: 1

Alulírott nyilatkozom, hogy a jelölt publikációhoz kapcsolódó tézisét (3.1, 3.2) ismerem, a tézisekben foglalt tudományos eredményeket tudományos fokozatszerzés megszerzéséhez nem használtam fel, s tudomásul veszem, hogy azokat ilyen célból a jövőben sem használhatom fel.

Szabó Mária

Szeged, 2012. január. 23.

Társszerzői lemondó nyilatkozat

Three-Dimensional Carbon Nanotube Scaffolds as Particulate Filters and Catalyst Support Membranes

N. Halonen, A. Rautio, AR. Leino, T. Kyllönen, G. Toth, J. Lappalainen, K. Kordas, M. Huuhtanen, R. L. Keiski, **A. Sapi**, M. Szabo, Z. Kónya, Á. Kukovecz, K. Kordás, I. Kiricsi R. Vajtai, P. M. Ajayan

ACS NANO **4** (2010) 2003-2008

IF₂₀₁₀ = 9,855, független hivatkozás: 9

Alulírott nyilatkozom, hogy a jelölt publikációhoz kapcsolódó tézisét (4.1, 4.2, 4.3) ismerem, a tézisekben foglalt tudományos eredményeket tudományos fokozatszerzés megszerzéséhez nem használtam fel, s tudomásul veszem, hogy azokat ilyen célból a jövőben sem használhatom fel.

Szabó Mária

Dr. Kónya Zoltán

Dr. Kukovecz Ákos

Szeged, 2012. január. 23.