

Doktori (Ph.D.) értekezés tézisei

Nitrogénnel adalékolt grafén hordozós oxigénredukciós katalizátorok

VARGA TAMÁS

Témavezető:

Dr. Kónya Zoltán

Dr. Haspel Henrik



Kémia Doktori Iskola

Szegedi Tudományegyetem

Természettudományi és Informatikai Kar

Alkalmazott és Környezeti Kémiai Tanszék

Szeged

2019

1. Bevezetés és célkitűzések

A növekvő népesség, az egyre növekvő energiaigény, egyre több energiaforrás felhasználását követeli. Ezek nagy része azonban a fosszilis anyagokból tevődik össze, melyek végesek, tartalékaink pedig rohamosan fogynak. Ezen energiaellátási problémák megoldása érdekében számos lehetőség után kutatnak napjainkban.

Ezen problémák megoldására számos alternatív megoldás létezik, melyek közül az egyik legígéretesebb a tüzelőanyagcellák alkalmazása. Ez az eszköz egy olyan elektrokémiai cella, mely a tüzelőanyag oxidációja során közvetlenül alakítja át a kémiai energiát elektromos energiává. A rendszer anód, illetve katód oldala egy elektronok számára szigetelő membránnal van elválasztva. Az anód oldalon lejátszódó tüzelőanyag (hidrogén, metanol, etanol, hangyasav, glicerin, etilén-glikol stb.) oxidációja során kapott elektronok egy külső körön keresztül jutnak el a katódoldalra, ahol az oxigén redukciója játszódik le. A tüzelőanyagcella típusától függően, a folyamathoz szükséges ionok, a membránon keresztül jutnak át a katód-, vagy az anódtérbe. A protonvezető membránok általában a DuPont által szabadalmaztatott Nafion[®] nevű szulfonált teflonszármazékból készülnek. Az anioncserélő membránok ionvezetőképessége alacsonyabb a protoncserélő membránokéhoz képest, azonban az elmúlt években a köztük levő különbség jelentősen csökkent. A jelenleg legelterjedtebb membránok között említhetjük Tokuyama, illetve a Fumatech által gyártott anioncserélő membránokat.

Ezek az eszközök azonban manapság még nem versenyképesek, mivel a katalizátorként alkalmazott platina meglehetősen drága, emellett az aktivitása viszonylag gyorsan lecsökken a degradálódásának köszönhetően. Fontos lehet tehát az alkalmazott nemesfém katalizátor mennyiségének csökkentése, tartósságának növelése, vagy annak helyettesítése olcsóbb kompozitokkal.

A katódoldalon lejátszódó oxigénredukció elősegítésére ígéretesek lehetnek az úgynevezett nemesfémmentes katalizátorok, melyek egyik csoportja a nem nemesfém katalizátorok. Ezek közül a különböző átmenetifémek, azok oxidjai, nitridjei, karbidjai, illetve szulfidjai is alkalmasak lehetnek a nemesfémek helyettesítésére. A korábbi irodalmi adatok alapján a vas és a kobalt különböző vegyületeit tartják a legalkalmasabb oxigénredukciós katalizátornak.

A másik csoport az úgynevezett nemfémes katalizátorok csoportja, melyek rendszerint a szén valamelyik módosulatának heteroatomokkal adalékolt változatai. Amellett, hogy katalitikusan aktívak, hordozóként is használhatók, így hatékonyabb kompozitok hozhatók létre.

Kutatómunkám során célul tűztük ki olyan katalizátorok előállítását, melyeket hatékonyan tudunk használni az oxigén redukciós folyamatban. Erre a célra az önmagában is aktív nitrogénnel adalékolt grafént használtuk hordozóként. A kutatás során három különböző katalizátort állítottam elő, melyekben a kompozit másik tagja a hordozón elosztatott platina, kobalt-nitrid, illetve vas-nitrid részecske volt. A szintézis során a nitrogénnel adalékolt grafén és a platina illetve az átmenetifém-nitridek egy lépésben alakultak ki.

A platinatartalmú minták esetén azonos összetételű kompozitokat állítottunk elő különböző hőmérsékleten. Az így elkészített kompozitok oxigénredukciós aktivitását lúgos, illetve savas közegben is megvizsgáltuk. Ezáltal megállapíthattuk, hogy a minták közül melyik alkalmasabb a protoncserélő membránt tartalmazó, illetve melyik az anioncserélő membránt tartalmazó tüzelőanyagcellákban történő felhasználásra. Az átmenetifém-nitrideket tartalmazó minták esetén azonos hőmérsékletet alkalmazva készítettünk különböző összetételű mintákat. Mivel a nem nemesfém katalizátorok a legtöbb esetben csak lúgos közegben mutatnak számottevő aktivitást, így ezek elektrokatalitikus tulajdonságait csak ebben a közegben vizsgáltuk.

2. Kísérleti módszerek

A kompozitok előállítása során a következő módszert alkalmaztuk. A részecske számított mennyiségű prekursor sóját a módosított Hummers-módszerrel előállított grafít-oxid szuszpenziójához adtuk. Ezután a rendszert egy éjszakán át kevertettük, majd liofilizáltuk. Az így kapott porkeveréket ammónia atmoszférában hőkezeltük, mely során a nitrogénnel adalékolt grafén, és a prekursor sótól függően, platina, kobalt-nitrid vagy vas-nitrid nanorészecskék egy lépésben alakultak ki. A nitrogénnel adalékolt grafén, illetve kompozitok esetén, a grafénhordozón elosztatott részecskék morfológiáját és méreteloszlását egy FEI Tecnai G2 20 X-Twin típusú transzmissziós elektronmikroszkóppal (TEM) határoztuk meg. A kompozitok kristályszerkezetét egy $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda = 0,154 \text{ nm}$) sugárforrással felszerelt Rigaku Miniflex II típusú röntgendiffraktométerrel (XRD) vizsgáltuk. A Raman spektroszkópiás mérésekhez egy Thermo Scientific DXR Raman Mikroszkópot használtunk. A mérések során egy 532 nm-en emittáló (zöld) 5 mW teljesítményű lézert alkalmaztunk. A kompozitok elemi összetételének vizsgálatához egy SPECS gyártmányú, PHOIBOS 150 MCD 9 típusú analizátorral felszerelt röntgen fotoelektron spektroszkópot használtunk.

Az oxigénredukciós aktivitás vizsgálata során az elektrokémiai vizsgálatokhoz egy GILL AC galvanosztát-potenciosztátot használtunk. A méréseket klasszikus háromelektrodos cellában végeztük 3 mm átmérőjű üvegszén forgatható korongelektrodot használva munkaelektrodként, melynek felületét a vizsgálandó kompozittal módosítottuk. Segédelektrodként platinaszálat, míg referenciaelektrodként Ag/AgCl/3M NaCl ($E = 0,209 \text{ V vs RHE}$) elektrodot használtunk. A ciklikus voltammetriás (CV) és lineáris pásztázó voltammetriás (LSV) méréseket a platinatartalmú kompozitok esetén 0,1 M-os perklórsavoldatban, illetve 0,1 M-os kálium-hidroxid oldatban végeztük, míg a vas-, illetve kolbalt-nitridet tartalmazó minták esetén 0,1 M koncentrációjú kálium-hidroxid oldatot használtunk. Az elektrolitokat a mérésektől függően nitrogén- vagy oxigéngázzal buborékolattuk át a voltammogramok felvétele megkezdése előtt. A metanoltolerancia vizsgálatok során kronoamperometriás vizsgálatot végeztünk. A mérés során egy adott időpontban 1 cm^3 3 M-os metanololdatot adtunk a rendszerhez, és meghatároztuk a metanol áramerősségre gyakorolt hatását a vizsgált katalizátor esetén.

3. Új tudományos eredmények

Platinával dekorált nitrogénnel adalékolt grafén egy lépésben történő szintézise és vizsgálata.

T1. Kidolgoztunk egy egyszerű eljárást nitrogénnel adalékolt grafénből és azokon diszpergált platina nanorészecskékből álló kompozit előállítására; ennek során platina(II)-acetilacetónát grafit-oxid szuszpenzióhoz kevertünk, majd az azt követő liofilizálás során kapott keveréket ammónia atmoszférában hőkezeltük. A morfológiai jellemzőket elektronmikroszkópos (TEM) míg a kompozitok elemi összetételét röntgen fotoelektron spektroszkópiás (XPS) mérésekkel igazoltuk.

T2. TEM felvételek alapján megállapítottuk, hogy az alkalmazott hőkezelés hőmérséklete befolyásolja az átlagos részecskeméretet, mivel 10 m/m%-os platinatartalom esetén 500 és 600 °C-on 3-4 nm, míg 700 °C-on valamivel nagyobb, 6,2 nm átmérőjű részecskeméretet kapunk. A szintézis során kialakult platinarészecskék átlagos részecskemérete az oxigénredukciós reakcióban optimális 2-3 nm-es mérettartomány közelébe esik. A felvételek alapján az utóbbi hőmérsékleten a grafén szerkezete is jól láthatóan degradálódik.

T3. XPS vizsgálatokkal (Pt 4f) bebizonyítottuk, hogy az előállított kompozitokban a nullvegyértékű fémes állapot mellett +2, illetve +4 oxidációs állapotú platina is jelen van. Ennek

kialakulására két lehetséges magyarázatot adtunk: (i) az atomok nagy százalékban a nanorészecskék külső részén helyezkednek el, ami a levegő oxigénjével könnyen kölcsönhatásba léphet. (ii) A grafén az adalékolás hatására keletkezett poláris funkciós csoportok beépülésével ezen funkciós csoportok közelében megnövekedett elektronaffinitással rendelkezik, aminek köszönhetően a Pt nanorészecskék elektrononációjá hatékonyabb lesz és erősebb kölcsönhatás alakul ki a hordozó és a részecske között.

Platinával dekorált nitrogénnel adalékolt grafén kompozitok oxigén redukciós aktivitása savas, illetve lúgos közegben.

T4. Forgatható korongelektróddal felvett lineáris pásztázó voltammetriás mérésekkel kimutattuk, hogy 0,1 M-os HClO₄ oldatban az 500, illetve 600 °C-on, míg 0,1 M-os KOH elektrolitban a 700 °C-on hőkezelt minta esetén érhető el nagyobb aktivitás. Az aktivitást a voltammogramok kezdeti potenciálja, a 0,1 V (vs. RHE) értéknél leolvasott redukciós áramsűrűségek, illetve a Koutecky-Levich egyenlet segítségével meghatározott elektrontranszfer számok alapján állapítottuk meg.

Átmenetifém nitridekből és nitrogénnel adalékolt grafénből álló kompozit előállítás és vizsgálata.

T5. Kidolgoztunk egy módszert nitrogénnel adalékolt grafénből és azon diszpergált Co₄N részecskékből álló kompozit előállítására, mely során kobalt(II)-acetát és grafit-oxid keverékét ammónia atmoszférában hőkezeltük. Kimutattuk, hogy a kobalttartalom növekedésével a kobalt-nitrid átlagos részecskemérete 5 és 10 m/m% kobalt-tartalom esetén $14,3 \pm 7,1$ és $43,1 \pm 17,4$ nm, míg 20 m/m% esetén már $205,2 \pm 165,9$ nm-re nőtt. A morfológiai és szerkezeti tulajdonságokat transzmissziós elektronmikroszkópia, röntgendiffraktometria, illetve röntgen fotoelektron spektroszkópia segítségével határoztuk meg.

T6. Hasonló módszerrel állítottunk elő nitrogénnel adalékolt grafénből és az azon diszpergált FeN és Fe₂N részecskék keverékéből álló nanokompozitot. Bizonyítottuk, hogy a vastartalom növekedésével a vas-nitrid átlagos részecskemérete változik a vastartalom hatására, mivel 5, 10, 20 és 50 m/m% esetén $23,4 \pm 9,2$, $78,2 \pm 33,6$, $105,1 \pm 56,4$, és $127,0 \pm 41,8$ nm-nek adódott. A morfológiai és szerkezeti tulajdonságokat transzmissziós elektronmikroszkópia, röntgendiffraktometria, illetve röntgen fotoelektron spektroszkópia segítségével határoztuk meg.

T7. XPS vizsgálatokkal kimutattuk, hogy az átmenetifém nitridekből és nitrogénnel adalékolt grafénból álló nanokompozitok hordozójában a nitrogén/szén atomarány kontrollálható. A kobalt-tartalom növelésével 10 m/m% Co-tartalomig a nitrogén/szén atomarány 0,062-ről 0,086-re nőtt, míg nagyobb Co-tartalom esetén már nem történt számottevő növekedés. A vas-nitridet tartalmazó minták esetén nagyobb nitrogén/szén atomarányt mértünk, ami a vastartalom növelésével az 5-20 m/m%-os tartományban szintén növekvő tendenciát mutatott (0,098-ről 0,122-re növekedett). Ennél nagyobb vastartalom esetén ebben az esetben sem történt számottevő növekedés.

Átmenetifém-nitridekből és nitrogénnel adalékolt grafénból álló kompozit lúgos közegben vizsgált oxigénredukciós aktivitása.

T8. A kobalt-nitridet tartalmazó minták esetén az oxigénredukciós reakciós aktivitás vizsgálata során megállapítottuk, hogy a részecskeméret csökkenésével a lineáris pásztázó voltammogramok kezdeti potenciálja egyre pozitívabb érték felé tolódott. Az aktivitás tehát a részecskeméret csökkentésével növelhető. Ezzel szemben a vas-nitridet tartalmazó minták esetén kapott kezdeti potenciálokban az 5, 10 és 20 m/m%-os minták esetén nem volt szembetűnő különbség az egyes minták eredményei között, míg 50 m/m% esetén már negatívabb értéket kaptunk.

T9. A kobalt-nitridet tartalmazó minták esetén a forgó korongelektróddal végzett lineáris pásztázó voltammetriás mérések segítségével kimutattuk, hogy a 10 m/m%-os kobalttartalommal rendelkező kompozit rendelkezik a legnagyobb aktivitással az elektrokatalitikus oxigén redukcióban. Ezt azzal magyaráztuk, hogy bár a részecskeméret az 5 m/m%-os mintához képest nagyobbak adódott, a hordozó megnövekedett nitrogéntartalma magának a hordozónak, illetve ez által az egész kompozit aktivitásának a növekedését eredményezte. Megállapítottuk továbbá, hogy a kapott eredmények alapján katalizátorunk tulajdonságai megközelítik a napjainkban leggyakrabban használt pórusos szénhordozón elosztatott platinarészecskékből álló katalizátor elektrokatalitikus aktivitását. Az elektrokatalitikus aktivitást a voltammogramokról 0,0 V (vs. RHE) értéknél leolvasott redukciós áramsűrűség és a Koutecky-Levich egyenlet segítségével kiszámolt elektrontranszfer számok alapján állapítottuk meg.

T10. A vas-nitridet tartalmazó minták esetén a forgó korongelektróddal végzett lineáris pásztázó voltammetriás mérések segítségével megállapítottuk, hogy a 20 m/m%-os vastartalom esetén érhető el a legnagyobb aktivitás az elektrokatalitikus oxigén redukcióban. Az eredményt azzal magyaráztuk, hogy bár a részecskeméret nagyobb, volt az 5 és 10 m/m%-os mintához képest, a

hordozó megnövekedett nitrogéntartalma annak, illetve az egész kompozit aktivitásának a növekedését eredményezte. Az elektrokatalitikus aktivitást a voltammogramokról 0,0 V (vs. RHE) értéknél leolvasott redukciós áramsűrűség és a Koutecky-Levich egyenlet segítségével kiszámolt elektrontranszfer számok segítségével hoztuk meg.

T11. Kimutattuk, hogy az általunk előállított nemesfémmentes katalizátorok aktivitása nem változik a metanol jelenlétének hatására, míg a napjainkban elterjedten használt platina-tartalmú katalizátor esetén az aktivitás 60%-os csökkenését tapasztaltuk. Ennek az a magyarázata, hogy a Pt-tartalmú katalizátor a metanol oxidációját is katalizálja, ezáltal kevesebb aktív hely áll rendelkezésre az oxigén redukciójának lejátszódására.

4. Tudományos közlemények

Magyar Tudományos Művek Tára (MTMT) azonosító: 10055199

Az értekezéshez kapcsolódó tudományos közlemények

1. Tamás Varga, Ágnes Timea Varga, Gergő Ballai, Henrik Haspel, Ákos Kukovecz, Zoltán Kónya
One step synthesis of chlorine-free Pt/Nitrogen-doped graphene composite for oxygen reduction reaction

CARBON 133: pp. 90-100. (2018)

IF: 7.082

2. Tamás Varga, Gergő Ballai, Lívia Vásárhelyi, Henrik Haspel, Ákos Kukovecz, Zoltán Kónya
Co₄N/nitrogen-doped graphene: a non-noble metal oxygen reduction electrocatalyst for alkaline fuel cells

APPLIED CATALYSIS B-ENVIRONMENTAL 237: pp. 826-834. (2018)

IF: 11.698

3. Tamás Varga, Lívia Vásárhelyi, Gergő Ballai, Henrik Haspel, Albert Oszkó, Ákos Kukovecz, Zoltán Kónya

Noble-Metal-Free Iron Nitride/Nitrogen-Doped Graphene Composite for the Oxygen Reduction Reaction

ACS OMEGA 4 : 1 pp. 130-139., 10 p. (2019)

IF: -

Konferencián való részvétel

Előadás

1. Tamas Varga, Henrik Haspel, Ákos Kukovecz, Zoltán Konya

Synthesis, characterisation, and electrochemical properties of graphite oxide/vanadate nanowire composites

The Eleventh Conference for Young Scientists in Ceramics, SM-2015, Novi Sad, 2015 október 21-24.

2. Tamás Varga, Henrik Haspel, Zoltán Kónya

Structural and electrochemical properties of NH₃ treated tungsten oxide nanowires

A Magyar Mikroszkópos Társaság éves konferenciája, MMT 2016, Siófok, 2016. május 19-21.

3. Tamás Varga, Henrik Haspel, Zoltán Kónya

Structural, morphological and electrochemical properties of NH₃ treated tungsten oxide nanowires

Young Investigators' Seminar on Analytical Chemistry, YISAC 2016, Novi Sad, 2016. június 28. - július 01.

4. Tamás Varga, Gergő Ballai, Henrik Haspel, Ákos Kukovecz, Zoltán Kónya

Non-noble metal catalyst and its oxygen reduction reaction activity

A Magyar Mikroszkópos Társaság éves konferenciája MMT 2018, Siófok, 2016 május 24-26.

5. Tamás Varga, Gergő Ballai, Henrik Haspel, Ákos Kukovecz, Zoltán Kónya

A kobalt-nitrid/nitrogénnel adalékolt grafén kompozitok összetételének oxigénredukciós aktivitásra gyakorolt hatása

PhD hallgatók anyagtudományi napja Veszprém, 2018 november 26.

Poszter bemutatása

1. Tamás Varga, Henrik Haspel, Ákos Kukovecz, Zoltán Kónya,

Synthesis and characterisation of graphite-oxide/vanadate nanowire composites

NanoPortugal International Conference, nanoPT 2015, Porto, 2015 február 11–13.

2. Tamás Varga, Henrik Haspel, Ákos Kukovecz, Zoltán Kónya

Synthesis of highly photoactive tungsten nitride nanosheets by ammonia treatment of tungsten oxide nanowires

7th Szeged International Workshop on Advances in Nanoscience 2016, SIWAN7, Szeged, 2016 október 12-15.

3. Tamás Varga, Attila Kormányos, Henrik Haspel, Csaba Janáky, Ákos Kukovecz, Zoltán Kónya

Synthesis and structural investigation of tungsten oxynitride and tungsten nitride nanostructures

21st Topical Meeting of the International Society of Electrochemistry, Topical 21, Szeged, 2017 április 23-25.

4. Ágnes Timea Varga, Tamás Varga, Henrik Haspel, Ákos Kukovecz, Zoltán Kónya

One step synthesis of Pt/Nitrogen-doped graphene composite for oxygen reduction reaction

23rd International Symposium on Analytical and Environmental Problems, ISAEP 2017, Szeged, 2017 október 9-10.

5. Gergő Ballai, Tamás Varga, Henrik Haspel, Ákos Kukovecz, Zoltán Kónya

Oxygen reduction activity of cobalt-nitride on nitrogen-doped graphene

23rd International Symposium on Analytical and Environmental Problems, ISAEP 2017, Szeged, 2017 október 9-10.

6. Ágnes Timea Varga, Tamás Varga, Henrik Haspel, Ákos Kukovecz, Zoltán Kónya

Synthesis temperature dependence of oxygen reduction activity of Pt/Nitrogen-doped graphene composite

8th Szeged International Workshop on Advances in Nanoscience, SIWAN8, Szeged, 2018 október 7-10.

7. Krisztina Anita Nagy, Gergő Ballai, Ágnes Timea Varga, Tamás Varga, Henrik Haspel, Ildikó Y. Tóth, Ákos Kukovecz

Wetting and evaporation in the case of Gas Diffusion Layers

8th Szeged International Workshop on Advances in Nanoscience, SIWAN8, Szeged, 2018 október 7-10.

8. Gergő Ballai, Tamás Varga, Lívía Vásárhelyi, Henrik Haspel, Ákos Kukovecz, Zoltán Kónya
Electrocatalytic activity of Co₄N/nitrogen-doped graphene composites in the oxygen reduction reaction

8th Szeged International Workshop on Advances in Nanoscience, SIWAN8, Szeged, 2018 október 7-10.

9. Lívía Vásárhelyi, Tamás Varga, Gergő Ballai, Henrik Haspel, Albert Oszkó Ákos Kukovecz, Zoltán Kónya

Iron-nitride/nitrogen-doped graphene composite: a non-noble metal catalyst for the oxygen reduction reaction

8th Szeged International Workshop on Advances in Nanoscience, SIWAN8, Szeged, 2018 október 7-10.

10. Alfonz Kedves, Balázs Buchholcz, Tamás Varga, Andrea Rónavári, Zoltán Kónya

Insight into the impact of graphene oxide (GO) nanoparticles on aerobic granular sludge (AGS) under shock loading

8th Szeged International Workshop on Advances in Nanoscience, SIWAN8, Szeged, 2018 október 7-10.

11. Altantuya, Ochirkhuyaga, Tamás Varga, Ildikó Y. Tóth, Ákos Kukovecz, Zoltán Kónya

Influence of an interlayer cation exchange in birnessite and electrochemical activity for oxygen reduction reaction (ORR)

8th Szeged International Workshop on Advances in Nanoscience, SIWAN8, Szeged, 2018 október 7-10.

12. Imre Szenti, András Sápi, Upendar Kashaboina, Juan Fernando Gomez Perez, Gyula Halasi, János Kiss, Tamás Varga, Ákos Kukovecz, Zoltán Kónya

Controlled sized platinum nanoparticles supported on H-ZSM-5 catalyst for efficient CO₂ hydrogenation: role of interfacial sites in high activity

8th Szeged International Workshop on Advances in Nanoscience, SIWAN8, Szeged, 2018 október 7-10.

Az értekezés témájához nem kapcsolódó, nemzetközi folyóiratban megjelent tudományos közlemények

1. Róbert Puskás, Tamás Varga, András Grósz, András Sápi, Albert Oszkó, Ákos Kukovecz, Zoltán Kónya

Mesoporous carbon-supported Pd nanoparticles with high specific surface area for cyclohexene hydrogenation: Outstanding catalytic activity of NaOH-treated catalysts

SURFACE SCIENCE 648: pp. 114-119. (2016)

IF: 2.062

2. Balázs Zsirka, Erzsébet Horváth, Péter Szabó, Tatjana Juzsakova, Róbert K Szilágyi, Dávid Fertig, Éva Makó, Tamás Varga, Zoltán Kónya, Ákos Kukovecz, János Kristóf

Thin-walled nanoscrolls by multi-step intercalation from tubular halloysite-10 Å and its rearrangement upon peroxide treatment

APPLIED SURFACE SCIENCE 399: pp. 245-254. (2017)

IF: 4.439

3. Tamás Varga, Henrik Haspel, Attila Kormányos, Csaba Janáky, Ákos Kukovecz, Zoltán Kónya
Nitridation of one-dimensional tungsten oxide nanostructures: Changes in structure and photoactivity

ELECTROCHIMICA ACTA 256: pp. 299-306. (2017)

IF: 5.116

4. Balázs Buchholcz, Erika Varga, Tamás Varga, Kamilla Plank, János Kiss, Zoltán Kónya
Structure and stability of boron doped titanate nanotubes and nanowires

VACUUM 138: pp. 120-124. (2017)

IF: 2.067

5. Sanja Panic, Vladimir Srdić, Tamás Varga, Zoltán Kónya, Ákos Kukovecz, Goran Boskovic
*Diversity of Pd-Cu active sites supported on pristine carbon nanotubes in terms of water
denitration structure sensitivity*

APPLIED CATALYSIS A-GENERAL 559: pp. 187-194. (2018)

IF: 4.521

6. Zsófia Molnár, Viktória Bódai, George Szakacs, Balázs Erdélyi, Zsolt Fogarassy, György
Sáfrán, Tamás Varga, Zoltán Kónya, Eszter Tóth-Szeles, Rózsa Szűcs, István Lagzi
Green synthesis of gold nanoparticles by thermophilic filamentous fungi

SCIENTIFIC REPORTS 8:(1) p. 3943. 12 p. (2018)

IF: 4.122

7. Emőke Sikora, Ádám Prekob, Gyula Halasi, László Vanyorek, Péter Pekker, Ferenc Kristály,
Tamás Varga, János Kiss, Zoltán Kónya, Béla Viskolcz

*Development and Application of Carbon-Layer-Stabilized, Nitrogen-Doped, Bamboo-Like
Carbon Nanotube Catalysts in CO₂ Hydrogenation*

CHEMISTRYOPEN 7: 10 pp. 789-796., 8 p. (2018)

IF: 2.801

Összes referált közlemény: 10

ebből az értekezéshez kapcsolódik: 3

Összesített impakt faktor: 43,9

ebből az értekezéshez kapcsolódik: 18,78

Összes idegen hivatkozás: 42

ebből az értekezéshez kapcsolódik: 11