



BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
VEGYÉSZMÉRNÖKI ÉS BIOMÉRNÖKI KAR
OLÁH GYÖRGY DOKTORI ISKOLA

ARANY KATALIZÁTOROK ELŐÁLLÍTÁSA ÉS VIZSGÁLATA
CO OXIDÁCIÓBAN ÉS GLÜKÓZ SZELEKTÍV OXIDÁCIÓJÁBAN

Tézisfüzet

Szerző: Benkó Tímea
Témavezető: Prof. Dr. Schay Zoltán
Konzulens: Vargáné Dr. Beck Andrea
Nagyné Dr. Horváth Anita



Felületkémiai és Katalízis Laboratórium
Energiatudományi Kutatóközpont
MTA

2014

1. Bevezetés

A katalitikus reakciók fontos szerepet töltenek be életünkben. A katalízis nagymértékben hozzájárul a fenntartható fejlődéshez a kémiai folyamatokban az energiafelhasználás csökkentése illetve szennyező melléktermékek, mérgező reagensek kiküszöbölése, csökkentése révén. Katalizátorok használatának fontos szerepe van szelektív, nagy aktivitású, enyhe körülmények között lezajló környezetbarát (zöld) reakció utak lehetővé tételében. A nano méretű részecskék speciális, sok esetben tömbtől eltérő tulajdonságokat mutatnak katalitikus folyamatokban. Nanorészecskék és nanostruktúrák kontrollált kialakítása lehetőséget ad a katalitikus tulajdonságok további javítására.

Az aranyat, amely a legstabilabb fém, sokáig inaktívnak gondolták a katalízisben. Áttörést Haruta munkája jelentett, melyben bemutatta, hogy hordozós arany katalizátorok alacsony hőmérsékleten nagy aktivitásúak CO oxidációban, ha elég kicsi a méretük. Később az arany nanorészecskéket több oxigén-transzfer reakcióban és hidrogénezési folyamatban is aktívnak találták. A platina csoport fémével összehasonlítva az arany oxidatív atmoszférában ellenállóbb és jobb az árstabilitása is. Az arany alapú katalizátorok hatékonyságát érzékenyen befolyásolja a katalizátorok szerkezete, melyek kontrollált szintézise révén elérhető, hogy a nanoméretű fém és pl. a hozzá kapcsolt fém-oxid réteg vagy szemcse katalitikus működése, s az azt befolyásoló hatások jobban érthetőek legyenek. A kutatásoknak és fejlesztéseknek köszönhetően ma már arany nanorészecskéket a katalízisben több területen is hatékonyan alkalmaznak. Szagelszívókban, légszennyező gázok érzékelésében és ipari szerves szintézisekben használják.

Munkám során hordozós arany katalizátorokat két különböző típusú oxidációs reakcióban vizsgáltam; CO oxidációban és glükóz szelektív oxidációjában glükonsavvá. A kutatás célja volt az aktív helyek természetének jobb megértése és hatékonyabb, reakció specifikus katalizátorok előállítása a két folyamathoz.

2. Irodalmi háttér

CO oxidációban az arany katalizátorok aktivitása függ a részecskemérettől, az Au oxidációs állapotától, a hordozó típusától és szerkezetétől, valamint az Au részecske és a hordozó közötti kölcsönhatásoktól.¹ A katalizátorok aktivitása 5 nm alatt a részecskemérettel exponenciálisan nő, a részecskék optimális mérete 2-3nm.² A hordozó kémiai természetének is meghatározó szerepe van az elérhető aktivitásban. Az oxid hordozók redukálhatóságuk szerint két csoportra oszthatók. Általában a redukálható oxidok (pl. CeO₂, TiO₂, Fe₂O₃) ún. "aktív" hordozók, melyek részt vesznek a reakcióban és növelik az Au aktivitását. A nem-redukálható oxidok (pl. SiO₂, Al₂O₃) ún. "inaktív" vagy inert hordozók, melyek nem vesznek részt a reakcióban. Általában az inert hordozós Au katalizátorok kisebb aktivitásúak, mint az aktív oxid hordozósok, azonban számos kivétel előfordul, aminek oka, hogy a különböző előállítási módszerek különböző fém-hordozó kölcsönhatást eredményeznek.³

A szelektív oxidációs folyamatok a szerves reakciók egy olyan nagy csoportját képezik, amelyben jelentős pozitív gazdasági és környezeti hatása lehet tiszta, zöld folyamatok fejlesztésének. A redukáló szénhidrátok (pl: D-glükóz, D-laktóz, D-maltóz) katalitikus oxidációja értéknövelt termékeket eredményez. A D-glükóz oxidációs terméke a glükonsav (vagy sói), melyet fermentációval állítanak elő, évi kb. 60 000 tonna mennyiségben.⁴ Szelektív, heterogén katalizátorok alkalmazása lehetővé teszi a melléktermékek és a szennyvíz kezelés problémájának kiküszöbölését. Mindemellett enyhe körülmények között végezhető a reakció, oxigént vagy levegőt használva oxidálószerként, ami környezetvédelmi szempontból előnyös.

Elsőként Biella és munkatársai publikáltak⁵ nagy hatékonyságú arany katalizátorokat glükóz oxidációban. A Pt és Pd alapú katalizátorokhoz képest (melyek nagy aktivitásúak, de nem szelektívek) az arany katalizátorokat megnövekedett aktivitás mellett 100% szelektivitás és mérgeződéssel szembeni ellenállás jellemzi.⁶ Comotti és munkatársai⁷ azt állapították meg, hogy a hordozónak nincs hatása az aktivitásra. A hordozó azonban fontos a

¹ G.C. Bond, C. Louis, D.T. Thompson, *Catalysis by Gold*; Imperial College Press: London, 2006.

² G.C. Bond, D.T. Thompson, *Catal. Rev. Sci. Eng.* 41 (1999) 319-388.

³ R. Grisel, K.J. Westrate, A. Gluhoi, B.E. Nieuwenhuys, *Gold Bull.* 35 (2002) 39-45.

⁴ S. Biella, L. Prati, M. Rossi, *J. Catal.* 206 (2002) 242-247.

⁵ S. Biella, G.L. Castiglioni, C. Fumagalli, L. Prati, M. Rossi, *Catal. Today* 72 (2002) 43.

⁶ Y. Önal, S. Schimpf, P. Claus, *J. Catal.* 223 (2004) 122-133.

⁷ M. Comotti, C. Della Pina, R. Matarrese, M. Rossi, *Angew. Chem. Int. Ed.* 43 (2004) 5812-5815.

katalizátor stabilitásának szempontjából. Ezzel ellentétben más szerzők⁸ különböző típusú aktív szén használva hordozóként egyforma Au méret mellett eltérő aktivitásokat mértek, amely speciális Au – hordozó hatásra utal. Ishida és munkatársai⁹ szén és különböző oxid (Al_2O_3 , ZrO_2 , TiO_2 , CeO_2) hordozós katalizátorokat vizsgálva megfigyelték, hogy az arany részecskemérete sokkal jobban befolyásolja az aktivitást, mint a hordozó természete. Az arany katalizátorok glükóz oxidációban mutatott viselkedésével kapcsolatos eredmények láthatóan nem egységesek és sok a tisztázatlan kérdés.

Az arany katalitikus tulajdonságait módosíthatjuk második (harmadik) fém hozzáadásával. Számos publikáció számol be AuPd katalizátorok megnövekedett aktivitásáról különböző folyamatokban.¹⁰ Más, kevésbé tanulmányozott kétfémes Au katalizátorok (második fém: Pt, Ag, Cu, Ni, Co, Rh, Ir) esetében is beszámoltak az egyfémesekehez képest megnövekedett aktivitásról, főként oxidációs folyamatokban.¹

Az osztályon több mint 10 éve folyik Au kolloid alapú katalizátorok előállítására és alkalmazhatóságának vizsgálata heterogén katalitikus reakciókban.¹¹ Előállítottak kevert oxid hordozós (TiO_2 – SiO_2 és TiO_2 –SBA15 vagy CeO_2 –SBA15) Au katalizátorokat nagy felületű amorf (SiO_2) és mezopórusos (SBA15) szilícium-oxidon, különös tekintettel a közvetlen kapcsolat biztosítására az aktív oxid és az arany között. Egyedi megközelítést alkalmazva TiO_2 szigetekkel dekorált inert hordozós Au/ SiO_2 katalizátorokat állítottak elő, az Au részecskék TiO_2 -al történő utólagos módosításával. Ezzel a módszerrel jelentős aktivitásnövekedés volt elérhető a tömbi TiO_2 hordozós Au katalizátorokhoz képest.¹²

Irodalmi eredmények és a kutatócsoport előző kutatásai alapozták meg jelen dolgozat céljait. Egyrészt különböző hordozós aranykatalizátorok CO oxidációban és glükóz oxidációban végzett összehasonlításával meg kívántuk vizsgálni, hogy érvényesek-e a CO oxidációban, mint a teljes oxidációk modell reakciójában tapasztalt összefüggések parciális oxidációkban, modell folyamatként a glükóz oxidációt választva. Másrészt új, az egyes reakciókban aktívabb arany alapú katalizátorok fejlesztését

⁸ A. Stephen, K. Hashmi Chem. Rev. 107 (2007) 3180–3211.

⁹ T. Ishida, N. Kinoshita, H. Okatsu, T. Akita, T. Takei, M. Haruta, Angew. Chem. Int. Ed. 47 (2008) 9265–9268.

¹⁰ D.J. Enache, J.K. Edwards, P. Landon, B. Solsona-Espriu, A.F. Carely, A.A. Herzing, M. Watanabe, C.J. Kiely, D.W. Knight, G.J. Hutchings, Science 311 (2006) 362.

¹¹ A. Beck, A. Horváth, Gy. Stefler, M. S. Scurrill, L. Guzzi, Top. Catal. 52 (2009) 912–919.

¹² Horváth, A.; Beck, A.; Sárkány, A.; Stefler, Gy.; Varga, Zs.; Geszti, O.; Tóth, L.; Guzzi, L. J. Phys. Chem. B 110 (2006) 15417–15425

céloztuk meg a két legfontosabb módosítási lehetőség alkalmazásával, aktív oxiddal történő promoteálással illetve második fém bevitelével a vizsgált folyamatoknak megfelelően. A TiO_2 -dal promoteált katalizátorokkal elért eredmények alapján, az Au részecskéknél a CO oxidációban a TiO_2 -hoz hasonlóan aktív, korábban hordozóként alkalmazott CeO_2 -dal dekorálását választottuk vizsgálataink tárgyává. Az ezüst, mint második fém alkalmazásával kétfémes Au alapú katalizátorok előállítását tűztük ki célul, az ezüst oxidációs reakciókban mutatott saját aktivitására, az oxigén aktiválásban jól ismert szerepére, illetve a hordozó nélküli AuAg kétfémes részecskékről szelektív oxidációkban publikált biztató eredményekre alapozva.

3. Kísérleti módszerek

A katalizátorok előállítása

A hordozós arany katalizátorok előállítására a kolloid adszorpciós módszert választottam, amely lehetővé teszi ugyanazon technika alkalmazását aktív és inaktív hordozók esetében is. Első lépésben az arany szolokat az Au-prekursor redukciójával állítottam elő stabilizátor jelenlétében. Ezt követte a szol adszorpciója a hordozó felületén a felületi töltések figyelembevételével; majd a katalizátorokat szűrtem, mostam és szárítottam. A szerves szennyezők eltávolítására oxidációs kezelést alkalmaztam, melyet szükség esetén redukciós kezelés követett. A CeO₂-dal módosított katalizátorokat, a prekursor az Au szolhoz az adszorpciót megelőzően vagy a szárított Au/SiO₂ mintához adva állítottam elő. A második fémmel történő módosítás esetében kétfémes AgAu kolloidokat alkalmaztam a katalizátorok előállítására.

Szerkezetvizsgálatok

A következő szerkezetvizsgálati módszereket alkalmaztam: A katalizátorok fém tartalmát ICP-MS, XRF and PGAA technikákkal határoztam meg. A nanorészecskék méretét TEM és XRD mérésekből számoltam. A fém – oxid határfelület jellemzésére a HRTEM, SAED és EELS módszereket alkalmaztam. A fém részecskék felületi plazmon rezonancia elnyelési változását UV-látható spektroszkópiával követtem. A felületi koncentrációk és oxidációs állapotok jellemzésére XPS-t használtam.

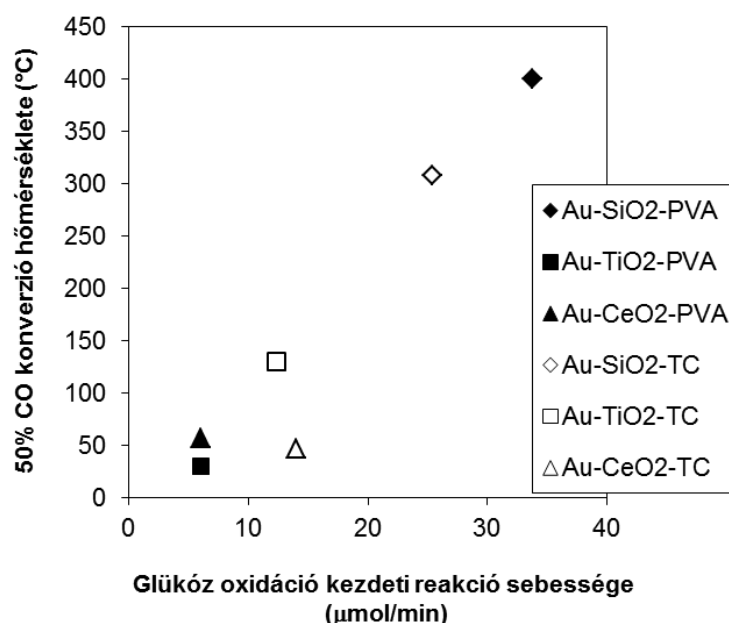
Katalitikus vizsgálatok

A CO oxidációs katalitikus vizsgálatok egy tömegspektrométerhez (QMS) csatlakoztatott áramlásos reaktorban, atmoszférikus nyomáson, hőmérséklet programozott reakció módszerrel folytak. A katalizátorok aktivitásának jellemzésére az 50% CO konverzió hőmérsékletét használtam (T_{50%}).

A glükóz oxidációs vizsgálatok vizes közegben, 35°C-on, kevertett szakaszos reaktorban folytak, atmoszférikus nyomáson oxigén gázt buborékoltatva az oldatba. A reakcióelegy analízise HPLC-vel történt. A katalizátorok aktivitását a konverziós görbékből számított kezdeti reakciósebességekkel jellemeztem.

4. Eredmények

Először módosíthatlan, redukálható (TiO_2 és CeO_2) és nem-redukálható (SiO_2) oxid-hordozós, két különböző méretű arany nanorészecskéket tartalmazó katalizátorokat állítottam elő és aktivitásukat hasonlítottam össze CO oxidációban és glükóz oxidációban. Ellentétes sorrendet állapítottam meg a minták aktivitása között CO oxidációban és glükóz oxidációban. A katalitikus aktivitást CO oxidációban az 50%-os CO konverzió eléréséhez szükséges hőmérséklet, míg glükóz oxidációban a kezdeti reakciósebesség tükrözi (1. ábra).

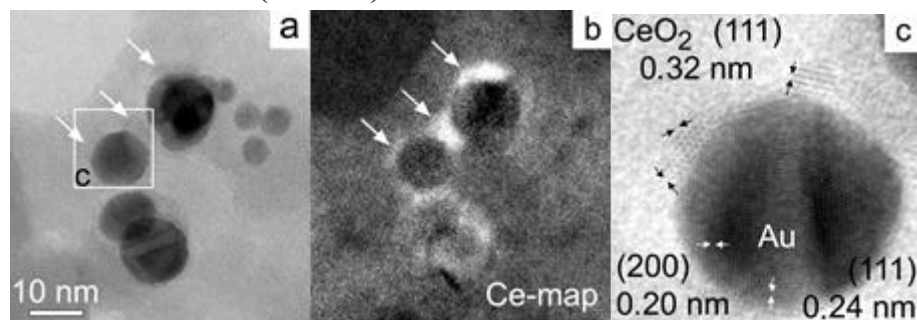


1. ábra: Au katalizátorok összehasonlítása CO oxidációban és glükóz szelektív oxidációjában. CO oxidációban minél nagyobb az 50% CO konverzióhoz tartozó hőmérséklet, az aktivitás annál kisebb.

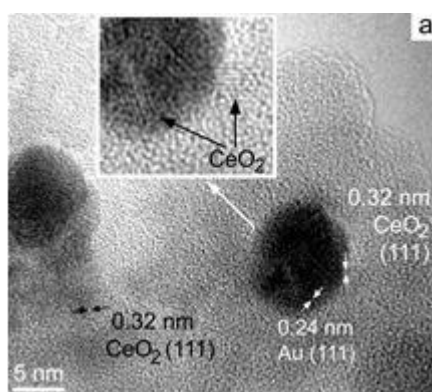
Megállapítottam, hogy a CO oxidációban ismert méret- és hordozó-hatás nem érvényes glükóz szelektív oxidációjában, ebben a reakcióban ugyanis az inert szilícium-oxid hordozós katalizátorok jóval aktívabbnak bizonyultak, mint a cérium-oxid ill. titán-oxid hordozós minták. A nagyobb Au részecskeméretű minták nagyobb aktivitást mutattak glükóz oxidációban, amit azzal magyarázok, hogy a szén-monoxidhoz képest nagyobb glükóz molekula aktiválásához eltérő felületi geometriájú aktív centrumok szükségesek.

CO oxidációban a vizsgált egyfémű minták közül az Au/CeO₂ katalizátort találtam az egyik legaktívabbnak. A katalizátor aktivitásának

növelését és a cérium–oxid szerepének vizsgálatát tűzve ki célul, ún. inverz katalizátorokat állítottam elő, amit inert–hordozós Au katalizátor cérium-oxiddal történő módosításával valósítottam meg. Nagy felbontású transzmissziós elektronmikroszkópos (HRTEM) vizsgálatok nanoméretű CeO_2 szigetek jelenlétét mutatták az arany felületén már 0,04 tömeg% CeO_2 koncentrációnál, ami 280°C -al csökkentette az 50%-os CO konverzió hőmérsékletét az Au/ SiO_2 referenciához viszonyítva. A 0,16 tömeg% CeO_2 -ot tartalmazó katalizátor aktivitása elérte az Au/ CeO_2 referencia aktivitását, és a 0,6 tömeg% CeO_2 tartalmú minta már jóval aktívabb volt, mint a cérium-oxidot (tömbi) hordozóként tartalmazó katalizátor. 0,6 tömeg% CeO_2 tartalom fölött az aktivitás már nem változott jelentősen. HRTEM mérések azt mutatták, hogy eddig a koncentrációig a CeO_2 inkább az arany felületén helyezkedik el (2. ábra), 0,6 tömeg% fölött azonban már a hordozó SiO_2 felületén is stabilizálódik (3. ábra).



2. ábra: (a) 0,04 tömeg% CeO_2 tartalmú Au/ CeO_2 / SiO_2 katalizátor HRTEM képe; (b) EELS technikával készült Ce elem térkép, amelyen a világos, fényes területek jelölik a Ce tartalmú részeket; (c) a kinagyított képen az Au nanorészecskén elhelyezkedő CeO_2 nanorészecskék (rácstávolság: 0,32 nm) figyelhetők meg. Az Au részecskéktől távol nem található CeO_2 a mintában.

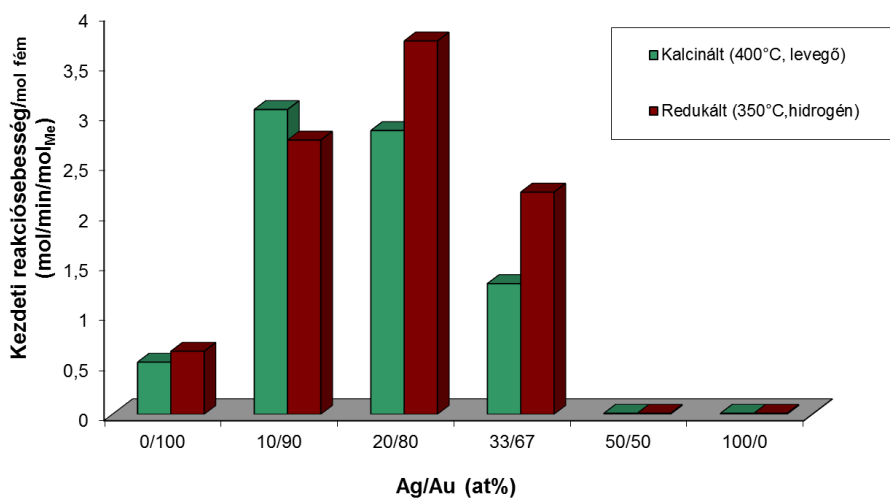


3. ábra: 7,4 tömeg% CeO_2 tartalmú Au/ CeO_2 / SiO_2 katalizátor HRTEM képe. A CeO_2 kristályok (rácstávolság: 0,32 nm) az Au nanorészecskéken kívül a SiO_2 hordozó felületén is megtalálhatóak.

A Ce-specieszek és az arany nanorészecskéket körülvevő stabilizátor ligandumok erős kölcsönhatása lehet az oka, hogy a CeO_2 bizonyos koncentrációig elsősorban az arany részecskék felületén helyezkedik el. Az Au– CeO_2 aktív periméter a promoteált mintában nagyobb fajlagos aktivitású, mint a CeO_2 hordozós arany katalizátorban.

Glükóz szelektív oxidációjához a reakcióban legaktívabb alapminta módosításával kívántam még aktívabb katalizátort előállítani és vizsgálni a módosítás hatását. Az arany nanorészecskéket ezüsttel módosítottam, az arany oxigén–aktiváló képességének befolyásolása céljából. A szakirodalom szerint a hordozó nélküli AgAu kétfémes nanorészecskékkel glükóz oxidációban jelentős aktivitás növekedés érhető el az egyfémű aranyhoz képest, de a gyakorlati szempontból előnyösebb hordozós AgAu katalizátorok alkalmazása glükóz oxidációban ebben a munkában jelenik meg először.

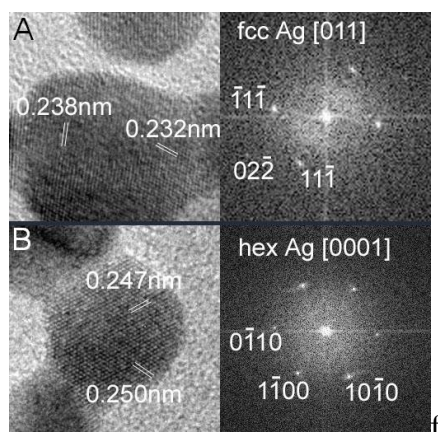
A SiO_2 hordozós AgAu kétfémes katalizátorokat 10/90, 20/80, 33/67 és 50/50 Ag/Au molarányban állítottam elő. UV-látható spektroszkópiás és HRTEM mérések igazolták, hogy a HAuCl_4 prekursor nátrium-borohidrides redukciója Ag szolban ötvözet AgAu kolloid részecskéket eredményez és ötvözet szerkezetük a hordozóra helyezést követő oxidációs és redukációs kezelés után is megmaradt. Glükóz oxidációban az AgAu kétfémes hatást tanulmányoztam és annak függését az Ag/Au molaránytól. Megállapítottam, hogy Ag/Au=33/67 alatt szinergikus aktivitás növekedés lép fel az egyfémű Au/ SiO_2 és Ag/ SiO_2 referencia katalizátorokhoz képest. Utóbbi minta a reakcióban inaktívnak mutatkozott. Maximális aktivitás–növekedést 20/80 Ag/Au aránynál találtam (4. ábra).



4. ábra: AgAu/ SiO_2 katalizátorok aktivitása glükóz oxidációban.
 $T=35^\circ\text{C}$, $\text{pH } 9.5$, $c_{\text{glucose}}=0.1\text{M}$

Mérési eredményeimmel összhangban, az irodalomban Au katalizátorokon lejátszódó glükóz- és alkoholok oxidációjára ajánlott mechanizmus alapján javaslatot tettem a reakció mechanizmusára AgAu/SiO₂ katalizátorok alkalmazása esetén. Eszerint a kétfémes katalizátorok nagyobb aktivitása a minták Ag által megnövelt O₂ aktiváló képességével magyarázható. Az optimális Ag/Au arány elérése után a további ezüst már annyira szétszabdálja vagy befedi az Au felületét, hogy a glükóz aktiválásához szükséges kiterjedtebb Au felület nem lesz elérhető ezáltal csökken az aktivitás.

Az ezüst szolt HRTEM és elektron diffrakciós (SAED) módszerekkel vizsgálva az ezüst lapon centrált köbös kristályrácsán kívül a ritkán előforduló hexagonális *4H*-Ag fázist sikerült azonosítani (5. ábra), melyet közel egyenlő mennyiségben tartalmazott az Ag szol. Az ezüst hexagonális (*4H*) kristály-módosulatát eddig csak Ag filmekben és pálcika alakú nanorészecskékben figyelték meg.



5. ábra: Ag szol HRTEM képe. Az A jelű részecske és a hozzá tartozó elektrondiffrakciós (ED) kép fcc Ag fázist, a B jelű kép és a hozzá tartozó ED kép a hexagonális Ag fázist reprezentálja.

5. Tézisek

1.) Két különböző méretű arany szol adszorpciójával előállított redukálható (CeO_2 és TiO_2) és nem-redukálható (SiO_2) oxid hordozós arany katalizátorok összehasonlításával ellentétes katalitikus aktivitás sorrendet állapítottam meg glükóz oxidációban és CO oxidációban. Kimutattam, hogy glükóz szelektív oxidációjában is érvényesül hordozó- és Au részecskeméret hatás: ebben a reakcióban a nagyobb méretű, nem-redukálható oxid hordozós katalizátorok mutatnak nagyobb aktivitást ellentétben a CO oxidációban érvényes ismert hordozó- és Au részecskeméret hatással. [3,4]

2.) Az Au kolloidok adszorpciójával előállított SiO_2 hordozós Au katalizátorok CeO_2 dekorációja már 0,6 tömeg% CeO_2 tartalomnál jóval aktívabb katalizátort eredményez CO oxidációban, mint a referencia CeO_2 hordozós Au katalizátor. A CO oxidációban megnövekedett aktivitást az arannyal érintkező vékony oxid szigetek megnövekedett oxigén aktiválási képességével magyaráztam. [2]

3.) 0,6 tömeg% felett tovább növelve a CeO_2 koncentrációt a SiO_2 hordozós Au katalizátorok felületén, az aktivitás nem változik jelentősen. Kimutattam, hogy 0,6 tömeg% alatt a CeO_2 szelektíven az aranyhoz kötődik a Ce-specieszek és az Au nanorészecskék stabilizátor molekulái közötti erős kölcsönhatás miatt. Növekvő Ce koncentrációnál ezek a kötőhelyek telítődnek, egyre több CeO_2 lokalizálódik a SiO_2 -on. [2]

4.) HAuCl_4 -ot nátrium-borohidriddel redukálva Ag szolban AgAu kétfémes, különböző Ag/Au mól arányú ötvözet nanorészecskék keletkeznek. Az AgAu nanorészecskék ötvözet szerkezete a SiO_2 hordozóra helyezés, majd az azt követő oxidációs és redukációs kezelések után is megmarad. [1]

5.) SiO_2 hordozós különböző Ag/Au mólarányú kétfémes AgAu nanorészecskéket elsőként alkalmaztam glükóz szelektív oxidációjában. Az AgAu/ SiO_2 katalizátorok esetében szinergikus aktivitásnövekedés lép fel Ag/Au=33/67 mólarányig az egyfémű arany és ezüst katalizátorokhoz képest. Oxidációs és az azt követő redukációs kezelés hatására a különböző Ag/Au mólarányú katalizátorok aktivitás sorrendje ugyanaz marad. [1]

6.) Elsőként állítottam elő az Ag (*4H*) hexagonális kristálmódosulatát gömbszerű nanorészecskék formájában. Ezüst-nitrát redukciója nátrium-borohidriddel polivinilalkohol jelenlétében olyan Ag szolt eredményezett, amelyben az ezüst lapon centrált köbös kristályrácsán kívül a ritkán előforduló hexagonális *4H*-Ag fázist is sikerült azonosítani közel egyenlő térfogatszázalékban. [1]

6. Alkalmazási lehetőségek

A CeO₂-dal dekorált nanoméretű aranyrészecskék szobahőmérsékletű, nagy stabilitású szén-monoxid oxidációs aktivitásuknak köszönhetően ígéretes alapanyagok szén-monoxid, esetleg egyéb szerves gázok, gőzök érzékeléséhez, azaz szenzorikai alkalmazásra. A kétfémes SiO₂ hordozós AgAu katalizátorok stabilitásuk növelése után alkalmas glükóz oxidációs katalizátorok lehetnek. A *4H*-Ag gömbszerű kristályok előállítására az ebben a dolgozatban alkalmazott módszer ígéretes. Ennek a metastabil szerkezetnek előnyös egyedi plazmonikus tulajdonságai lehetnek a stabil,, köbös kristálmódosulatú ezüsthöz képest.

7. Közlemények

A dolgozat alapjául szolgáló közlemények:

[1] **T. Benkó**, A. Beck, K. Frey, D.F. Srankó, O. Geszti, G. Sáfrán, B. Maróti, Z. Schay, *Bimetallic Ag-Au/SiO₂ catalysts: Formation, structure and synergistic activity in glucose oxidation*, Applied Catalysis A: General, 479 (2014) 103-111

IF: 3.410 (2013) FI:0

[2] A. Horváth, A. Beck, G. Stefler, **T. Benkó**, G. Sáfrán, Z. Varga, J. Gubicza, L. Guzzi, *Silica-Supported Au Nanoparticles Decorated by CeO₂: Formation, Morphology, and CO Oxidation Activity*, Journal of Physical Chemistry C, 115 (42), (2011) 20388-20398

IF: 4.805, FI: 7

[3] L. Guzzi, A. Beck, **T. Benkó**, Z. Pászti, *Gold Catalysis: Particle Size or Promoting Oxide Morphology?*, MRS Online Proceedings Library, 1351 (2011) mrss11-1351-ff13-02, doi: 10.1557/opl.2011.1168

[4] **T. Benkó**, A. Beck, O. Geszti, R. Katona, A. Tungler, K. Frey, L. Guzzi, Z. Schay, *Selective oxidation of glucose versus CO oxidation over supported gold catalysts*, Applied Catalysis A: General, 388 (2010) 31

IF: 3.383; FI: 9

Egyéb közlemények

[5] A. Beck, G. Magesh, B. Kuppan, Z. Schay, O. Geszti, **T. Benkó**, R. P. Viswanath, P. Selvam, B. Viswanathan, L. Guzzi, *Specific role of polymorphs of supporting titania in catalytic CO oxidation on gold*, Catalysis Today, 164(1), (2011) 325-331

IF: 3.407; FI: 6

[6] E. Nieddu, L. Mazzucco, P. Gentile, **T. Benkó**, V. Balbo, R. Mandrile, G. Ciardelli, *Preparation and biodegradation of clay composites of PLA*, Reactive and Functional Polymers, 69 (6), (2009) 371-379

IF: 2.461; FI: 45

Szóbeli előadások

Hordozós arany-ezüst katalizátorok előállítása és aktivitása glükóz szelektív oxidációjában, **T. Benkó**, A. Beck, K. Frey, G. Sáfrán, D.F. Srankó, Z. Schay,

Tavaszi Szél Konferencia, Debrecen, 21-23 March 2014.

Glükóz szelektív oxidációja hordozós arany katalizátorokon, **T. Benkó**, A. Beck, K. Frey, G. Sáfrán, D.F. Srankó, Z. Schay, XXXVI. Kémiai Előadói Napok, Szeged, 28-30 October 2013.

Research in the Institute of Isotopes, HAS, **T. Benkó**, K. Frey, Regional Training Course on Nanomaterials and Radiation: Synthesis, Characterization, Applications, University of Reims Champagne Ardenne, Reims, France, 30 November 2009.

Arany nanorészecskék felülethez kötése, Arany katalizátorok előállítása és felhasználása glükóz szelektív oxidációjában, **T. Benkó**, A. Beck, Z. Schay, L. Guzzi, Fiatal Kutatók Beszámolója, MTA Kémiai Kutatóközpont, 18 September 2009.

Liquid phase oxidation of glucose over gold catalysts, **T. Benkó**, A. Beck, A. Tungler, L. Guzzi, Z. Schay, COST CHEMISRTY D36/003/06 Working Group Meeting, Palermo, 15-16 May 2009.

Poszter előadások

Silica-supported bimetallic Ag-Au nanoparticles: Formation, structure and high activity in glucose oxidation, **T. Benkó**, K. Frey, A. Beck, O. Geszti, L. Guzzi, Z. Schay, 11th European Congress on Catalysis – EuropaCat-XI, Lyon, France, 1-6 September 2013.

SiO₂ supported Ag-Au alloy nanoparticles with high catalytic activity in selective oxidation of glucose, K. Frey, **T. Benkó**, O. Geszti, L. Guzzi, Z. Schay,

Proc. of Final workshop of the COST D36 Action. pp. 39-40., Fuengirola, Spain, 18-20 May 2011.

Supported gold catalysts in selective glucose oxidation and CO oxidation, **T. Benkó**, K. Frey, A. Beck, A. Horváth, L. Guzzi, Z. Schay, EFACTS School, Anakara, Turkey, 13-19 September 2010.

Supported gold catalysts in selective oxidation of D-glucose, **T. Benkó**, K. Frey, A. Beck, L. Guzzi, A. Tungler, Z. Schay, 10th Pannonian Symposium, Kraków, Poland, 29 August – 2 September 2010.

Selective oxidation of D-glucose versus CO oxidation over supported gold catalysts, **T. Benkó**, A. Beck, A. Horváth, L. Guzzi, Z. Schay, The Sixth Tokyo Conference on Advanced Catalytic Science and Technology, Sapporo, Japan, 18-23 July 2010.

Glükóz szelektív oxidációja arany katalizátorokon – hordozó hatás vizsgálata,

T. Benkó, A. Beck, A. Tungler, L. Guzzi, Z. Schay, Oláh György Doktori Iskola VII. Konferenciája, 4 February 2010.

Selective d-glucose oxidation over gold catalysts – support effect, **T. Benkó**, A. Beck, L. Guzzi, A. Tungler, Z. Schay, COST Chemistry D36 3rd Workshop, Benahavis, Spain, 21-23 October 2009.

Propene total oxidation over gold catalysts: Influence of TiO₂ and CeO₂ decoration on Au / mesoporous SBA-15, **T. Benkó**, A. M. Venezia, L. F. Liotta, G. Pantaleo, A. Beck, L. Guzzi, Z. Schay, CLEAR Summer School, Porto Carras, Greece, 24-30 May 2009.

