



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Szabó Ervin

Au/Al₂O₃ katalizátorok módosítása és katalitikus sajátosságuk vizsgálata CO oxidációjában

Ph.D. tézisek

Témavezető: Dr. Margitfalvi József

Magyar Tudományos Akadémia

Kémiai Kutatóközpont
Felületkémiai és Katalízis Intézet

Budapest, 2007.

1. Bevezetés, célkitűzések

A CO oxidációja több vonatkozásban is fontos heterogén katalitikus reakció. Egyrészt a CO számos folyamatban káros melléktermékként képződik, eltávolítása általában katalitikus oxidációval lehetséges. Másrészt ezt a reakciót, viszonylag egyszerű volta miatt, kedvelt és általánosan alkalmazott modellreakciónak tekintik.

A hordozós aranykatalizátorok iránti érdeklődés a nyolcvanas évek végétől, Haruta úttörő munkáinak köszönhetően igen jelentősnek mondható. Korábban az volt az általános vélemény, hogy az arany katalitikusan inaktív fém. Haruta mutatta ki, hogy amennyiben a hordozón az arany nanoméretben stabilizálódik, jelentős a katalitikus aktivitása oxidációs reakciókban.

A hordozós Au-katalizátorok már alacsony hőmérsékleten (-70 °C) is nagy aktivitást mutatnak CO oxidációjában. A szakirodalom szerint a 2-5 nm Au nanorészecskék jelenléte biztosítja a katalizátor aktivitását a CO oxidációjában, azonban a fémoxid hordozó szerepe az aktivitás kialakításában még nem tisztázott teljesen. Egyes irodalmi utalások szerint a katalitikus aktivitás kizárólag az Au szemcseméretétől függ, az Au nanokörnyezetének nincs jelentős hatása a CO-oxidáció sebességére. Munkám egyik célja ennek a vitatható állításnak a tisztázása.

A Kémiai Kutatóközpont Felületkémiai és Katalízis Intézetének Szerves Katalízis Osztályán már korábban vizsgálták a MgO-hordozós aranykatalizátorokat és azok módosított változatait, amelyek jelentős

aktivitást mutatnak a CO oxidációjában. Az Al_2O_3 -hordozós aranykatalizátorok viszonylag kevésbé aktívak, de katalitikus viselkedésük folyamatos üzemmódban stabilabb. A szakirodalomban viszonylag kevesen vizsgálták az Al_2O_3 felületi módosításának hatását a hordozós Au-katalizátorok oxidációs aktivitására, ezért vizsgálataimban MgO-dal és más átmenetifém-oxidokkal (Fe, Co, Mn) módosított Al_2O_3 -ot, illetve ezen fémek alumíniummal alkotott vegyes oxidjait – a spinelleket – használtam hordozóként az Au-katalizátorok előállítására.

Munkám során az alábbi *célokat* tűztem ki:

1. Az Au nanokörnyezet hatásának vizsgálata hordozós aranykatalizátorokban különböző típusú módosítók bevitelére és a katalitikus aktivitás közötti összefüggések tanulmányozása révén.
2. A nanokörnyezet változtatását egyrészt a $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ hordozónak nagy diszperzitású MgO-, MnO_x -, CoO_x - és FeO_x -dal történő módosítása által, másrészt az előbbi fémek Al-al alkotott spinelljeinek, mint hordozóknak az alkalmazásával kívántam elérni. Ennek érdekében változtattam mind a módosító fém-oxid, mind az arany mennyiségét az oxidokkal módosított- és a spinell hordozón, valamint az aktivitást befolyásoló egyéb tényezőket, pl. a katalizátor előállítási körülményeit, valamint az előkezelést követő hűtési atmoszférát.
3. Nanoméretű aranyrészecskék különböző hordozókon történő stabilizálása aktív aranykatalizátorok előállítása céljából.
4. Az előállított hordozós aranykatalizátorok jellemzése CO oxidációjában mutatott viselkedése alapján mind hőmérséklet-programozott, mind izoterm körülmények között; a módosítás hatásának részletes tanulmányozása; a felületi, illetve a tömbi fázisban lévő módosítók hatásának összehasonlítása.

5. Az előállított hordozós aranykatalizátorok katalitikus viselkedésének jellemzése CO oxidációjában hidrogén jelenlétében (PROX) izoterm körülmények között, valamint a preferenciális (PROX) és nempreferenciális viselkedés összehasonlítása.
6. A katalizátorok stabilitásának vizsgálata időtartam mérésekben.
7. A hidrogénben végzett előkezelést követő hűtési atmoszféra hatásának tanulmányozása a CO oxidációjában.
8. A katalizátor tömbi és felületi tulajdonságainak vizsgálata BET és XRD módszerekkel. A katalizátorok CO kemiszorpciójában mutatott viselkedésének tanulmányozása FTIR módszerrel O₂ hiányában illetve jelenlétében. A kemiszorpciót befolyásoló paraméterek, mint pl. a hordozó anyagi minősége, a módosító mennyisége, valamint a katalizátor Au-tartalma hatásának vizsgálata.
9. A hordozós aranykatalizátorok CO oxidációjában mutatott nagy aktivitásának értelmezése. Kísérletet kívánok tenni a katalitikusan aktív helyek természetének megismerésére spektroszkópiai mérésekkel.

2. Kísérleti módszerek

Az Au nanokörnyezetét a hordozó módosítása által kétféle úton változtattam meg:

- Al₂O₃-hordozó módosítása MgO-, MnO_x-, CoO_x- és FeO_x-dal;
- Az Al-nak ezen fémekkel alkotott spinelleinek (MgAl₂O₄, MnAl₂O₄, CoAl₂O₄, és FeAl₂O₄) előállításával.

A γ -Al₂O₃ hordozót fém-nitrátból állítottam elő lecsapás útján. Az előállított hordozót adszorpció útján módosítottam a megfelelő fém-nitrátokkal. A spinelleket a megfelelő fém-nitrátok sztöchiometrikus elegyéből állítottam elő együttes lecsapás és redukció útján. Az arany

felvitelét a hordozókra impregnálással illetve felületre történő lecsapással valósítottam meg. Aranyprekursoraként $\text{HAuCl}_4 \times 3\text{H}_2\text{O}$ –ot használtam.

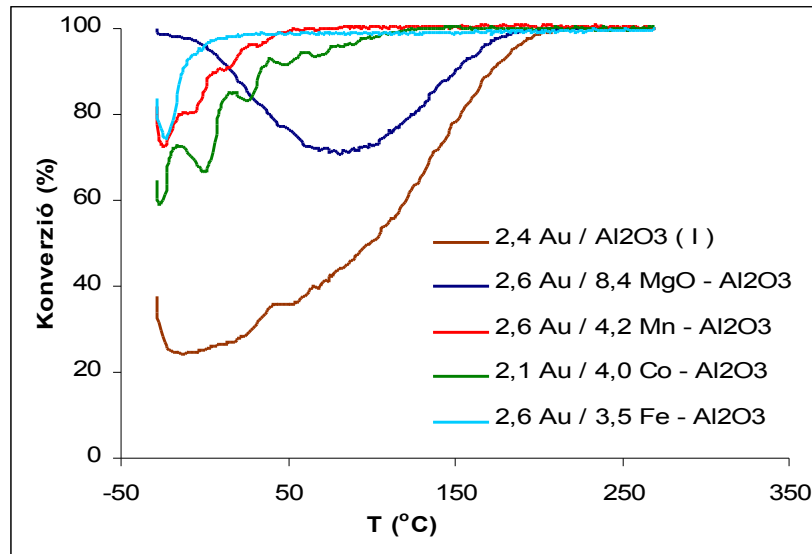
Az előállított Al_2O_3 és a spinell típusú hordozók szerkezetét röntgendiffrakcióval (XRD) vizsgáltuk, felületüket N_2 -adszorpciós izotermákból számoltuk a BET módszerrel. A katalizátorok fémtartalmát ICP-vel határoztuk meg. Néhány katalizátoron hőmérséklet-programozott deszorpciós (TPD) méréseket végeztünk, röntgendiffrakcióval (XRD) meghatároztuk az Au szemcseméretét. Az Au nanorészecskék szemcseméretét és méreteloszlását transzmissziós elektronmikroszkóppal (TEM) is vizsgáltuk, valamint felvettük a katalizátorok CO-adszorpciójának infravörös spektrumait (FTIR és DRIFT).

A katalizátorok aktivitását CO hőmérséklet-programozott oxidációjában vizsgáltuk egyreaktoros áramlásos készülékben ($-30 - +270$ °C között), illetve 16 csatornás áramlásos reaktorrendszerben ($30 - 300$ °C között). Kinetikai méréseket hajtottunk végre a 16 csatornás reaktorrendszerben mind preferenciális (H_2 jelenlétében), mind nempreferenciális (H_2 hiányában) körülmények között, valamint stabilitási mérésekkel a katalizátorok dezaktiválódását is vizsgáltuk.

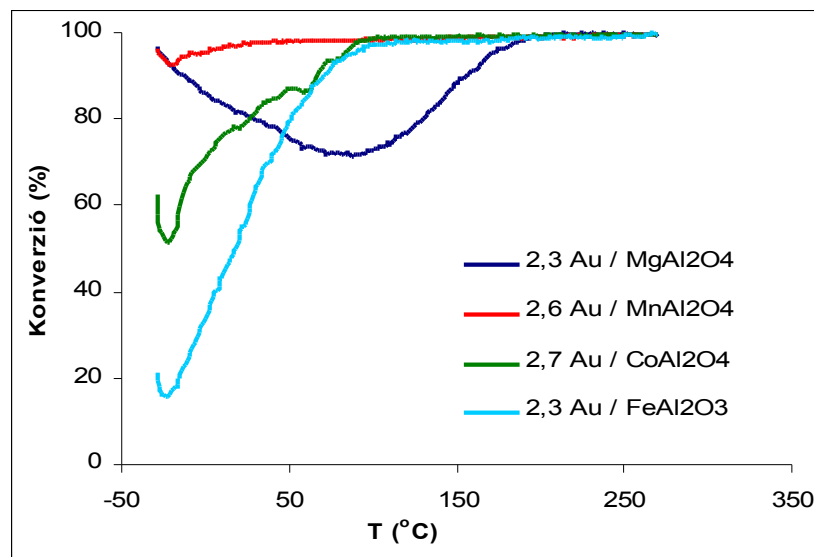
3. Új tudományos eredmények

Röntgendiffrakciós és BET mérésekkel megállapítottuk, hogy sikerült nagy fajlagos felületű, tiszta, oxidszennyeződésektől mentes MgAl_2O_4 , MnAl_2O_4 , CoAl_2O_4 és FeAl_2O_4 spinell típusú hordozókat előállítani. Különböző módosítók alkalmazásával nagyszámú módosított Al_2O_3 - és spinellhordozós aranykatalizátort állítottam elő és vizsgáltam CO oxidációjában. A hőmérséklet-programozott CO oxidációs mérések alapján azt találtam, hogy az arany nanokörnyezetének megváltoztatása jelentős

mértékben kihat a hordozón stabilizált arany katalitikus sajátosságaira. A módosított hordozós aranykatalizátorokon a CO oxidációja nagyobb sebességgel játszódik le, mint az Al_2O_3 -hordozós aranykatalizátorokon. A módosítók hatását az **1.** és **2. ábrán** mutatom be.



1. ábra: A módosító fémoxidok hatása a CO-oxidáció konverziójára Al_2O_3 -hordozós aranykatalizátorok esetében.



2. ábra: A hordozó hatása a CO-oxidáció konverziójára spinellhordozós aranykatalizátorok esetében.

Megfigyeltük, hogy az impregnálással módosított hordozós aranykatalizátorok esetében a nagyobb mennyiségű módosító már csökkenti a katalizátor aktivitását. Ez annak tulajdonítható, hogy a katalitikusan aktív Au-centrumok optimális Au/módosító aránynál mutatnak maximális aktivitást. Túl nagy mennyiségű redox típusú módosító egyrészt már az arany felületét is beboríthatja, lecsökkentve ezáltal az aktív centrumok számát (amint azt az **S1 sémán** szemléltetem), másrészt spontán Au-redukciót kiváltva az átlagos szemcseméret megnövekedését eredményezi.

A Mg, Mn és Co módosítók esetében a spinellhordozós aranykatalizátorok adott aranytartalom mellett adott hőmérsékleten nagyobb CO konverziót eredményeztek, mint az adott fémmel impregnált katalizátorok hőmérséklet-programozott oxidációs reakcióban. Ez arra utal, hogy a tömbi fázisban levő Mg, Mn és Co módosítónak nagyobb aktivitásnövelő szerepe van, mint a felületi módosítónak. A tömbi módosító feltehetően azért eredményez aktívabb katalizátort, mert ebben az esetben a módosító fém folytonos felületi réteget képez a hordozón, azaz stabilan kötött állapotban van a hordozó rácsában, és nem képes beborítani az Au nanorészecskék felületét. Másrészt a spinell és az arany nanoklaszter közötti kölcsönhatás feltehetően erősebb, mint a hordozón nanoméretben stabilizálódott redox fénoxid és arany közötti.

A hőmérséklet-programozott CO-oxidációs méréseink során azt tapasztaltuk, hogy a 300 °C hőmérsékletig történő felfűtést követő lehűtésekor mind az alap, mind a Mg-, Mn-, Fe-al módosított Au-katalizátorok kismértékben dezaktiválódnak. Ez feltehetően annak tulajdonítható, hogy oxidatív közegben való felfűtés során az arany nanorészecskék szerkezete megváltozik, csökken a koordinatíván telítetlen felületi atomok (az élek és a sarkok) száma. Továbbá, a lehűtésekor tapasztalt aktivitáscsökkenést a

felfűtés során keletkezett felületi karbonátok által okozott mérgeződés is okozhatja. A MgO-al módosított katalizátorok esetében a felfűtés hatására az Au nanorészecskék a MgO szigetekről elvándorolhatnak (amint azt az **S1 sémán** bemutatom), az így keletkezett új típusú aktív centrumok aktivitása alacsony hőmérsékleten lecsökken, ezért lehűtésekor nem kapjuk vissza a jellegzetes U alakot. Ugyanakkor ez a dezaktiválódás ismételt 350 °C-on hidrogénben végzett redukciót követően megszűnik, ami a dezaktiválódás reverzibilis voltára utal.

Elsőként állapítottam meg, hogy a hidrogénben végzett előkezelés utáni lehűtés atmoszférája jelentősen befolyásolja az adott katalizátor aktivitását. Az Al_2O_3 -, valamint a magnéziummal módosított hordozós aranykatalizátorok esetében a hidrogénes hűtést követő CO konverzióértékek a nagyobbak. A mangánnal módosított hordozó esetében a héliumos hűtés eredményez aktívabb katalizátort. A vassal módosított hordozós katalizátorok esetében alacsony hőmérsékleten a He-os hűtés, magas hőmérsékleten a H_2 -es hűtés ad nagyobb konverziót. A kobalt esetében felfűtéskor a H_2 -ben hűtött, a lehűtés során pedig a He-ban hűtött katalizátorokon kaptam nagyobb konverziót.

A H_2 -ben 350 °C-on végzett előkezelés megváltoztatja az Au nanoklaszterek felületi struktúráját, azaz az élek és a sarkok arányát. Ezt az arányt a lehűtés során alkalmazott hidrogénatmoszféra tovább módosítja. Valószínű ezek a jelenségek játszanak közre abban, hogy a hidrogénatmoszférában lehűtött katalizátorok más aktivitást mutatnak, mint az inert gázban lehűtött minták.

Transzmissziós elektronmikroszkópos felvételek alapján végzett részecskeméret-eloszlásokkal kimutattam, hogy a különböző típusú

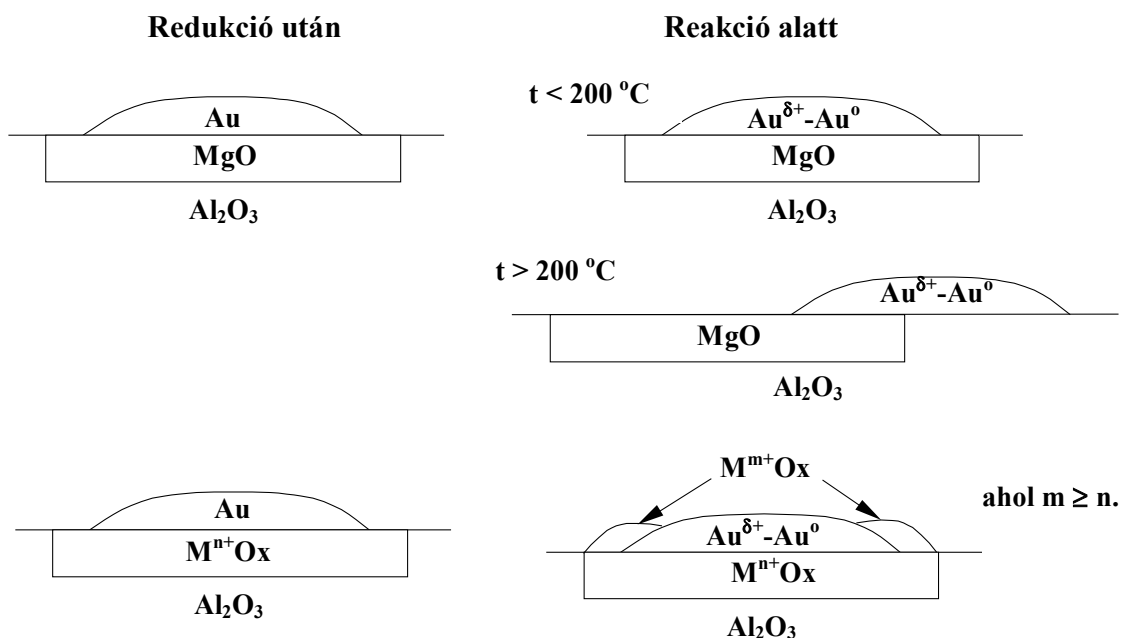
hordozókra felvitt aranyrészecskék nanoméretben stabilizálódtak a hordozón, ugyanis az aranszemcsék 80 % -ának a mérete 2 nm alatti.

Az Au/MgO-Al₂O₃, Au/MnO_x-Al₂O₃ és Au/MnAl₂O₄ katalizátorok esetében nagyobb átlagos szemcseméretet kaptunk, mint az Au/Al₂O₃ katalizátor esetében, ugyanakkor a módosított katalizátorok aktivitása egy adott aranytartalom mellett nagyobb, mint az Al₂O₃ katalizátoroké. Ebből arra következtethetünk, hogy bizonyos módosítók jelenléte esetében a katalitikus aktivitás szempontjából az Au nanokörnyezetének az aktivitásra kifejtett hatása meghatározóbb, mint az Au nanorészecskék szemcsemérete.

Infravörös spektroszkópai mérésekkel megállapítottam, hogy a CO-adszorpciós sáv frekvenciája kismértékben, de határozottan függ a katalizátorok aranytartalmától. Kimutattam továbbá, hogy oxigén jelenlétében a CO-adszorpció frekvenciája eltolódik a magasabb hullámszámok irányába, megjelenik egy összetett sáv. Ennek a sávnak a nagyobb frekvenciájú tagja a pozitív parciális töltéssel rendelkező Au-speciesz *in situ* kialakulására utal. Ez a jelenség minden katalizátoron egyértelműen jelentkezett. Továbbá a hidrogénben hűtött mintákon a CO-adszorpciós sávok a kis hullámszám irányába történő eltolódását tapasztaltam a vákuumban hűtött minták spektrumaihoz képest. Ez a CO-adszorpció erősebb voltára, valamint az arany nanoklaszteren történő negatív töltés megjelenésére utal. Továbbá nem zárható ki a CO és hidrogén együttes jelenléte az Au nanoklaszteren, ami szintén eredményezhet hasonló mértékű eltolódást. Ugyanakkor a hidrogénatmoszférában hűtött katalizátorok esetében – feltehetően a hidrogén spillover hatás eredményeként – megnő a hordozó felületi OH-csoportjainak borítottsága, amint azt az infravörös spektroszkópai mérések OH tartománya mutatja.

Feltételezésem szerint a CO aktiválásában két különböző típusú aktívhely együttes vesz részt:

a) $\text{Au}^{\delta+} - \text{Au}^0$; **b)** $\text{M}^{n+} - \text{Au}^0$. A CO molekula aktiválódásáért alacsony hőmérsékleten, főként MgO nanokörnyezetében és az Al_2O_3 hordozón az „**a**” típusú, míg magasabb hőmérsékleten redox típusú módosítók esetében a „**b**” típusú aktívhely együttes a felelős, amint azt az **1. Sematikus ábra** mutatja.



S1 séma: A CO-aktiválásban feltehetően résztvevő aktívhely együttesek kialakulása

Kinetikai méréseket végeztem Au/Al₂O₃ katalizátorokon, melyben vizsgáltam a hidrogén jelenlétének hatását. Kimutattam, hogy a hidrogén jelentősen megnöveli a CO-oxidáció sebességét, kismértékben növeli a reakció CO-ra vonatkoztatott rendűségét.

Néhány kiválasztott katalizátoron időtartam méréseket végeztem CO oxidációjában hidrogén jelenlétében. Méréseim egyértelműen mutatják, hogy ezen katalizátorok mind a konverzió, mind a szelektivitás vonatkozásában kiváló stabilitással rendelkeznek.

Eredményeim egyértelműen bizonyítják, hogy a hordozós aranykatalizátorok CO oxidációjában kifejtett nagy aktivitásáért a hordozón nanoméretben stabilizálódott Au-klaszterek, valamint ezek megfelelő nanokörnyezete biztosítja.

Tézispontok

1. Előállítottam tiszta, oxidszennyeződésektől mentes MgAl_2O_4 , MnAl_2O_4 , CoAl_2O_4 és FeAl_2O_4 spinell típusú hordozókat.
2. Megállapítottam, hogy az arany nanokörnyezetének megváltoztatása jelentős mértékben kihat a hordozón stabilizált arany katalitikus sajátosságaira. A módosított hordozós aranykatalizátorokon a CO oxidációja nagyobb sebességgel játszódik le, mint az Al_2O_3 -hordozós aranykatalizátorokon.
3. Azt találtam, hogy az impregnálással módosított hordozós aranykatalizátorok esetében a nagyobb mennyiségű módosító már csökkenti a katalizátor aktivitását. Megállapítottam, hogy a katalitikusan aktív Au-centrumok optimális Au/módosító aránynál mutatnak maximális aktivitást.
4. A CO hőmérséklet-programozott oxidációs reakciójával kimutattam, hogy a tömbi fázisban levő Mg, Mn és Co módosítónak nagyobb aktivitásnövelő szerepe van, mint az impregnálással felvitt, felületi MO_x (M = Mg, Mn, Co) típusúaknak.
5. Megállapítottam, hogy hőmérséklet-programozott CO-oxidációban a 300 °C hőmérsékletig történő felfűtést követő lehűtéskor mind az alap, mind a Mg-, Mn-, Fe-al módosított katalizátorok kismértékben dezaktiválódnak. Megállapítottam továbbá, hogy a dezaktiválódás reverzibilis, mert 350 °C-on hidrogénben végzett redukciót követően a dezaktiválódás megszűnik.
6. Elsőként állapítottam meg, hogy a hidrogénben végzett előkezelés után, a lehűtés során alkalmazott atmoszféra jelentősen befolyásolja a katalizátor aktivitását.

7. Transzmissziós elektronmikroszkópos felvételek alapján végzett részecskeméret-eloszlásokkal kimutattam, hogy a különböző típusú hordozókra felvitt aranyrészecskék nanoméretben stabilizálódtak a hordozón.
8. A transzmissziós elektronmikroszkópos felvételek és a CO-oxidációs mérések alapján kimutattam, hogy a katalitikus aktivitás szempontjából az Au nanokörnyezetének az aktivitásra kifejtett hatása meghatározóbb, mint az Au nanorészecskék szemcsemérete.
9. Infravörös spektroszkópai mérésekkel megállapítottam, hogy a CO-adszorpciós sáv frekvenciája kismértékben, de határozottan függ a katalizátorok aranytartalmától. Kimutattam továbbá, hogy oxigén jelenlétében a CO-adszorpció frekvenciája eltolódik a magasabb hullámszámok irányába, megjelenik egy összetett sáv. Ennek a sávnak a nagyobb frekvenciájú tagja a pozitív parciális töltéssel rendelkező Au-speciész *in situ* kialakulására utal.
10. Kimutattam, hogy a hidrogénben hűtött mintákon erősebb a CO-adszorpció, mint a vákuumos hűtés után, az arany nanoklaszteren jelen levő negatív töltés miatt.
11. Feltételezésem szerint a CO aktiválásában két különböző típusú aktívhely együttes vesz részt:
a) $\text{Au}^{\delta+} - \text{Au}^0$; **b)** $\text{M}^{n+} - \text{Au}^0$. A CO-aktiválódásért alacsony hőmérsékleten, főként MgO nanokörnyezetében és az Al_2O_3 hordozón az „**a**” típusú, míg magasabb hőmérsékleten redox típusú módosítók esetében a „**b**” típusú aktívhely együttes a felelős.
12. Időtartam mérésekkel kimutattam, hogy az előállított katalizátorok stabilak mind a konverzió, mind a szelektivitás szempontjából.

13. Eredményeim egyértelműen azt bizonyítják, hogy a hordozós aranykatalizátorok CO oxidációjában kifejtett nagy aktivitását a hordozón nanoméretben stabilizálódott Au nanoklaszterek, valamint ezek megfelelő nanokörnyezete biztosítja.

4. Alkalmazási lehetőségek

A szén-monoxid több technológiai folyamatban képződik káros melléktermékként, például szénhidrogének részleges és teljes elégetésekor, alkoholok reformálásakor, kokszt gyártásánál, valamint szén-dioxid lézerekben. Környezetszennyező forrásként a gépjárművek által kibocsátott CO-ot szükséges megemlíteni. A melléktermékként képződő CO-ot katalitikus oxidációval lehet eltávolítani. A CO alacsony hőmérsékletű oxidációjának másik alkalmazási területe a levegőtisztítás, ugyanis mind a légkondicionáló berendezésekben, mind a gázálarcbetétekben aranykatalizátorokat alkalmaznak. Alkalmazhatóság szempontjából az aranykatalizátorok további kedvező tulajdonsága, hogy a nedvességtartalom növeli az aktivitásukat. Az általam előállított katalizátorok alkalmasak lehetnek gázálarcbetétekben történő alkalmazásra.

Az üzemanyagcellák fontos szerepet kaphatnak a jövő elektromos meghajtású, környezetbarát gépjárműveiben. Ezekben a cellákban üzemanyagként főként hidrogént használnak, amelyet metanol vagy benzin vízgőzös reformálása útján nyernek. Az így előállított hidrogén azonban mindig tartalmaz CO-ot, amely az üzemanyagcellák Pt alapú katalizátorait mérgezi. A CO-tartalom a vízgáz reakcióval csak 0,5-1 %-ra csökkenthető. A kívánt 10 ppm értékre való csökkentés a CO hidrogén jelenlétében történő szelektív katalitikus oxidációjával érhető el. Ezt a követelményt az általam előállított katalizátorok további fejlesztésével biztosítani lehet.

5. Közlemények

1. E.Gy. Szabó, M. Hegedűs, Á. Szegedi, I. Sajó and J.L. Margitfalvi, **CO oxidation over Au/Al₂O₃ catalyts modified by MgO**, *React. Kinet. Catal. Lett.* 86 (2005) 339.
2. E.Gy. Szabó, A. Tompos, M. Hegedűs, Á. Szegedi, J.L. Margitfalvi, **The influence of cooling atmosphere after reduction on the catalytic properties of Au/Al₂O₃ and Au/MgO catalyts in CO oxidation**, *Appl. Catal. A: General*, 320 (2007) 114.
3. E.Gy. Szabó, M. Hegedűs, J.L. Margitfalvi, **The role of the nano-environment of supported gold catalyts in the activity control. Modification of Au/Al₂O₃ catalyts by redox-type metal oxides.**, *React. Kinet. Catal. Lett.*, közlésre elfogadva.
4. E.Gy. Szabó, M. Hegedűs, Á. Szegedi, A.K. Datye, J.L. Margitfalvi, **Preparation, characterization and activity of Au/Al₂O₃ catalyts modified by MgO**, *Catal. Commun.*, közlésre elküldve.

Egyéb közlemények

5. A. Tompos, M. Hegedűs, J.L. Margitfalvi, E.Gy. Szabó, L. Végvári, **Multicomponent Au/MgO catalyts designed for selective oxidation of carbon monoxide. Application of a combinatorial approach.**, *Appl. Catal. A: General*, megjelenés alatt, (2007), doi:10.1016/j.apcata.2007.10.022

Előadások, poszterek

1. Szabó Gy.E., Hegedűs M., Margitfalvi J., **Au nanoklaszterek stabilizálása fénoxidokkal módosított Al₂O₃-on**, *VI. Országos Anyagtudományi Konferencia*, 2007 okt. 14-16, Siófok, (előadás).
2. Szabó Gy.E., Tompos A., Hegedűs M., Szegedi Á., Margitfalvi J., **Az előkezelés utáni hűtés atmoszférájának hatása az Au/Al₂O₃ és Au/MgO katalizátorok CO oxidációs viselkedésére**, *MTA Kémiai Kutatóközponti Tudományos Napok*, 2007 máj. 23-24, Budapest, (előadás).
3. Szabó Gy.E., Tompos A. és Margitfalvi J., **Az előkezelés utáni hűtés atmoszférájának hatása az Au/ Al₂O₃ katalizátorok CO oxidációs viselkedésére**, *MTA Kémiai Kutatóközpont, X. Doktori Kémiai Iskola*. 2007 máj. 7-9, Mátraháza, (előadás).
4. Szabó Gy. E., **Au/ Al₂O₃ katalizátorok módosítása és katalitikus sajátosságuk vizsgálata CO oxidációjában**, Katalízis Munkabizottsági ülés, 2007 máj. 15, Budapest, (előadás).
5. E. Gy. Szabó, A. Tompos and J.L. Margitfalvi, **Testing supported gold catalysts by high-throughput experimental technique**, *4th EFCATS School on Catalysis*, 2006 szept. 20-24, Szentpétervár, Oroszország, (előadás).
6. E.Gy. Szabó, A. Tompos, J.L. Margitfalvi, **Comparison of different supported gold catalysts in CO oxidation in the presence or absence of hydrogen**. *8th Pannonian International Symposium on Catalysis*, 2006 júl. 4-7, Szeged, (poszter).
7. J. L. Margitfalvi, M. Hegedűs, E.Gy. Szabó, A. Tompos, **The role of the nano-environment of supported gold nano-clusters in the activity**

control, 7th *European Congress on Catalysis*, 2005 aug. 28-szept. 1, Szófia, Bulgária, (poszter).

8. Szabó E., **A nanokörnyezet hatása a hordozós Au katalizátorok aktivitására**, *MTA Kémiai Kutatóközpont, VIII. Doktori Kémiai Iskola*, 2005 máj. 5-6, Tahí, (előadás).
9. Szabó E., **A nanokörnyezet hatása a hordozós Au katalizátorok aktivitására**, *BME Vegyészmérnöki Kar, 2. doktoráns konferencia*, 2004 nov. 24, Budapest, (előadás).
10. Szabó E., Margitfalvi J., Hegedűs M., Göbölös S., Tompos A., **CO alacsony-hőmérsékletű oxidációja hordozós Au katalizátorokon**, *MTA Kémiai Kutatóközponti Tudományos Napok*, 2004 jún. 2-3, Budapest, (előadás).
11. Szabó E., **CO alacsony-hőmérsékletű oxidációja hordozós Au katalizátorokon**, *MTA Kémiai Kutatóközpont, VII. Doktori Kémiai Iskola*, 2004 ápr. 27-28, Tahí, (előadás).
12. Szabó E., **CO alacsony-hőmérsékletű oxidációja MgO-dal borított Al₂O₃ és Mg-Al spinell hordozós Au katalizátorokon**, *MTA Kémiai Kutatóközpont, VI. Doktori Kémiai Iskola*, 2003 ápr. 29-30, Tahí, (előadás).

Nemzetközi konferenciák, ahol eredményeim bemutatásra kerültek

13. J.L. Margitfalvi, M. Hegedűs, E. Szabó, A. Tompos, F. Somodi, Á. Szegedi, **Modification of supported Au catalysts used for low temperature CO oxidation**, *Fifth Tokyo Conference on Advanced Catalytic Science and Technology*, 2006 júl. 23-28, Tokio, Japán, (poszter).

14. J.L. Margitfalvi, M. Hegedűs, E. Szabó, Á. Szegedi, O. Geszti, **Activity control of supported gold catalysts by altering the nano-environment of gold nanoclusters.** *5th World Congress on Oxidation Catalysis*, 2005 szept 25-30, Sapporo, Japán, (*poszter*).
15. J.L. Margitfalvi, M. Hegedűs, E. Szabó, F. Somodi and A. Tompos, **The importance of the nano-environment of supported gold catalysts in the activity control,** *North American Catalysis Society, 19th North American Meeting*, 2005 máj. 22-27, Philadelphia, Pennsylvania, (*előadás*).