

Doktori (Ph.D.) értekezés tézisei

Funkcionalizált felületű nanokristályos titán-dioxid
fotoaktivitása szilárd/gáz és szilárd/folyadék határfelületeken

Kőrösi László Tamás

Témavezető: Dr. Dékány Imre
egyetemi tanár, az MTA rendes tagja

Kémia Doktori Iskola

Magyar Tudományos Akadémia - Szegedi Tudományegyetem TTIK
Szupramolekuláris és Nanoszerkezetű Anyagok Kutatócsoport

Szeged

2008

Bevezetés és az értekezés célkitűzései

A környezetünkre káros és biológiailag nehezen lebontható vegyületek felhalmozódása mind vizeinkben, mind pedig az atmoszférában hatékony víz- és levegőtisztítási technológiák kidolgozását ill. fejlesztését sürgeti. A heterogén fotokatalízis már számos szerves szubsztrátum lebontásában ill. ártalmatlanításában bizonyította sikeres alkalmazhatóságát. A gyakorlati felhasználás szempontjából az a félvezető tulajdonságú fém-oxid fotokatalizátor tekinthető előnyösnek, amely kémiai stabil, könnyen előállítható és használható, környezetre és emberre veszélytelen, a reakciót hatékonyan katalizálja, valamint előállítása nem drága. A különböző fém-oxidok közül (TiO_2 , ZnO , WO_3 , SnO_2 , stb) a titán-dioxid majdnem az összes fent említett kívánalomnak eleget tesz, ezért is választottam disszertációm témájaként ennek a félvezetőnek a tanulmányozását.

Napjainkban számos kutatócsoport munkája arra összpontosul, hogy a nanoszerkezetű titán-dioxid fotokatalitikus aktivitását növelje ill. látható fénnel aktiválhatóvá tegye. Ezen célok megvalósítása érdekében a TiO_2 változatos elemekkel történő adalékolása ill. felületmódosítása mára a kutatások élvonalába került. Újkeletű a témában és máris számos figyelemfelkeltő és biztató eredményt hozott a nemfémes elemek alkalmazása. A szakirodalomban fellelhető ígéretes előrejelzések valamint az előzetes kutatási eredményeim alapján disszertációm jelentős része a titán-dioxid foszfátmódosításának beható tanulmányozására irányult.

A kísérleti munkám fő célja az volt, hogy kolloidkémiai módszerek alkalmazásával, szol-gél eljárással fotoaktív titán-dioxid mintákat állítsak elő, majd a szisztematikusan változtatott kísérleti körülmények (foszfáttartalom, kalcinálási hőmérséklet) mellett képződött oxidok szerkezeti és fotokatalitikus tulajdonságai között kapcsolatot keressek.

A rendelkezésemre álló korszerű műszeres vizsgálatokat felhasználva tanulmányoztam, hogy a felület módosítása minként befolyásolja az oxid részecskeméretét, fajlagos felületét, porozitását, kristálmódosulatát, termikus stabilitását, morfológiáját és fényelektromos vezetését. A titán-dioxid minták fotoaktivitását $25\text{ }^\circ\text{C}$ -on, szilárd/folyadék (S/L) határfelületen fenol, míg szilárd/gáz (S/G) határfelületen etanol fotooxidációs reakciójában hasonlítottam össze. A szerves szubsztrátumok gázfázisú oxidációjához olyan fotoreaktort terveztem ill. fejlesztettem ki, amellyel a különböző katalizátorok aktivitása könnyen és megbízhatóan vethető össze.

Kísérleti anyagok és módszerek

A foszfáttal módosított titán-dioxid (P-TiO₂) előállítása

A foszfáttal funkcionizált titán-dioxidot szol-gél szintézis alapján, titán-izopropoxid hidrolízisével ($H_2O/Ti = 27,8$), majd a képződött amorf $TiO_2 \cdot nH_2O$ szuszpenzió különböző koncentrációjú foszforsavas kezelésével állítottam elő. A pormintákat levegő atmoszférában, 100-900 °C-os tartományban hevítéssel kristályosítottam.

A P-TiO₂ felületén kemisorbeált foszfát eltávolításához a mintát 1 M NaHCO₃ oldattal kezeltem, 24 órán keresztül, 60 °C-on.

Vizsgálati módszerek

A minták P és Ti tartalmát induktív csatolású plazma atomemissziós spektroszkópiával határoztuk meg. A mérések V-vájtató teflon porlasztóval és Miniplus III perisztaltikus pumpával felszerelt Jobin Yvon 24 típusú készülékkel történtek.

A termogravimetriás méréseket Mettler Toledo gyártmányú TGA/SDTA 851° típusú készülékkel, levegő atmoszférában, 5 °C perc⁻¹ felfűtési sebességgel végeztem.

A minták kristályszerkezetét Philips gyártmányú diffraktométerrel (PW 1830 típusú generátor, PW 1820 goniométer és PW 1711 detektor), CuK_α sugárzást alkalmazva ($\lambda=0,1542$ nm) vizsgáltam.

Az oxid porok kisszögű röntgenszórását KCEC/3 típusú Kratky kamerával tanulmányoztam, amely egy MBraun PSD 50M típusú, 1024 csatornás hely-érzékeny detektorral volt felszerelve.

A titán-dioxid minták fajlagos felületét és porozitását 77 K-en nitrogén-szorpcióval, Micrometrics cég Gemini 2375 automata adszorpciós készülékével határoztuk meg.

A transzmissziós elektronmikroszkópiás mérések Philips CM-10 típusú elektronmikroszkóppal történtek.

A minták morfológiáját Hitachi S-4700 típusú pásztázó elektronmikroszkóppal vizsgáltuk. A minták Ti és P tartalmát Röntec QX2 energiadisperzív mikroanalitikai rendszerrel (EDS) határoztuk meg.

Az oxid minták diffúz reflexiós UV-VIS spektrumait egy Thermo-Electron RSA-UC40 diffúz reflexiós cellát tartalmazó Unicam 8700 típusú fotométerrel rögzítettük.

Röntgen-fotoelektron spektroszkópiás vizsgálatok FAT módban működő PHOIBOS 150 MCD 9 típusú hemiszférikus elektronenergia analízátorral felszerelt SPECS műszerrel történtek.

Diffúz reflexiós infravörös spektroszkópiás méréseket Bio-Rad Digilab Division FTS-65A/896 spektrométerrel végeztem. A mintánként 256-szor felvett DRIFT spektrumokat DTGS detektorral, 2 cm^{-1} felbontással rögzítettem.

Az oxid filmek fényelektromos vezetését 140 mm alagúthosszúságú fésűszerű (interdigitated) elektródon (Curamik, Németország), Keithley 2400 Source Meter készülékkel mértem. Fényforrásként Hamamatsu gyártmányú Lightingcure LC4 L8444-01 típusú 200 W teljesítményű, higanygőz-xenon lámpát ($\lambda_{\text{max}}=365\text{ nm}$) használtam.

Az etanol fotooxidációját egy $\sim 700\text{ ml}$ hasznos térfogatú reaktorban, $25 \pm 0.1\text{ }^\circ\text{C}$ -on hajtottam végre. A reaktor fényforrásaként LightTech Kft. (Dunakeszi, Magyarország) gyártmányú, GCL307T5L/CELL típusú, 15 W teljesítményű kisnyomású higanygőzlámpát alkalmaztam. A fényforrás jellemzően 254 nm-en emittál sugárzást.

A reaktor gázterének analízisét Shimadzu gyártmányú GC 14-B típusú gázkromatográfjal végeztem. A komponensek elválasztására 2 m hosszúságú Hayesep Q töltetes oszlopot alkalmaztam, melynek hőmérséklete az analízis során $140\text{ }^\circ\text{C}$ volt. A kromatográf hővezetőképességi (TCD) és egy lángionizációs detektorral (FID) volt ellátva.

A fenol fotokatalitikus bomlását egy duplafalú, $25\text{ }^\circ\text{C}$ -on temperált, merülőlámpás reaktorban tanulmányoztam. A fényforrás egy TQ 150 típusú, 150 W teljesítményű, nagynyomású higanygőzlámpa volt. A nagyenergiájú fotonok ($\lambda > 310\text{ nm}$) kiszűrésére ill. intenzitásuk csökkentésére, a lámpa egy hűthető pyrex betétben merült a reakcióközegbe.

A fenol és a fotooxidáció során képződő különböző köztitermékek analízisét nagyhatékonyságú folyadékkromatográfiával végeztem. Eluensként acetonitril/víz 20:80 arányú elegyét használtam, melynek áramlási sebessége 1 ml perc^{-1} volt. A termékeket LiChrospher 100 RP-18 ($5\mu\text{m}$) oszlopon választottam el. Az UV-aktív komponensek fényelnyelését 210 nm hullámhosszúságnál figyeltem meg.

A folyadékfázisú fotooxidációs kísérletekben a szuszpenziók széntartalmának mérését Euroglass gyártmányú TOC 1200 típusú készülékkel végeztem.

Az értekezés tézisei

I. A szerkezeti tulajdonságra vonatkozó tézispontok

1. A titán-dioxid előállítása és funkcionálizálása

Foszfáttal módosított titán-dioxidot (továbbiakban P-TiO₂) állítottam elő TiO₂·nH₂O foszforsavval történő kezelésével. Az alkalmazott szol-gél szintézis két fő lépésre osztható: (i) A titán(IV)-izopropoxid és víz reakciója során a prekursor hidrolízisével, majd a termék kondenzációjával amorf titán-oxid-hidroxid (TiO₂·nH₂O) képződik. (ii) A TiO₂·H₂O reakcióba lép a foszforsavval, és foszfát specíeszek kemisorbeálódnak az oxid nanorészecskék felületén. Az ICP-AES vizsgálatok alapján megállapítottam, hogy a P-TiO₂ foszfáttartalma sem vizes mosással, sem pedig a minták kalcinálásával (700 °C) nem csökken.

A P-TiO₂ minták felületéről a foszfát specíeszek nátrium-hidrogén-karbonát oldatos kezeléssel eltávolíthatók.

2. A foszfor eloszlásának vizsgálata és kémiai környezete a P-TiO₂ felületi régiójában, felületi és a tömbi összetételének összehasonlítása

2.1 A röntgen-fotoelektron spektroszkópiás vizsgálatokkal kimutattuk, hogy mind a módosítatlan TiO₂, mind pedig a P-TiO₂ mintákban a titán oxidációs állapota +4.

2.2 Az oxid minták O 1s régiójának felbontásával négyféle oxigén kötéstípus különböztethető meg: Ti–O–Ti; Ti–O–P; H–O–P típusú, és végül a H–O–C kötésekhez rendelhető. A P/Ti atomarány szisztematikus növelésekor a Ti–O–Ti kötések száma csökken, ugyanakkor a Ti–O–P és H–O–P kötések gyakorisága növekszik. A foszforsavas kezelés során a titán-dioxid felületi régiója – a kezelés során alkalmazott P/Ti aránytól függően, részben vagy teljesen – titán-(IV)-foszfáttá alakul.

2.3 A P-TiO₂ mintákban a foszfor mindig O–P környezetben fordul elő, P–Ti kötés nem mutatható ki.

2.4 P-TiO₂/0.05 minta különböző szögek alatt felvett XP spektrumainak kvantitatív analízisekor a P/Ti atomarány nem változott. A mintából jövő P 2p elektronok szökési mélységét figyelembe véve, ebből arra következtettünk, hogy a funkcionizált oxid felületén a foszfátréteg becsült vastagsága nagyobb, mint 3 nm.

2.5 A P-TiO₂ minták titán- és foszfortartalmát meghatározva (ICP-AES) elmondható, hogy P/Ti= 0,01-0,30 atomarány tartományban a szintézis során az alkalmazott foszforsav

teljes mennyisége kemisorbeálódik az amorf oxid-hidroxidon. Az ICP-AES és a felületérzékeny XPS mérési eredményeit összevetve megállapítottam, hogy a P-TiO₂ minták felületi régiója foszfátban lényegesen gazdagabb, mint a tömbi fázis. A foszfát felületi felhalmozódása csökken a növekvő P/Ti atomarányjal.

2.6 Egyszeri nátrium-hidrogén-karbonátos kezelés hatására az XPS mérések szerint a P-TiO₂ felületi foszforkoncentrációja ~75 %-kal csökken.

3. A P-TiO₂ kristályszerkezete, krisztallitok méretének változása a foszfáttartalommal

3.1. Az amorf titán-oxid minták hevítése során, amorf TiO₂·nH₂O → anatáz és hőmérséklettől függően, anatáz → rutil fázisátmenet játszódik le. A röntgendiffrakciós vizsgálatokkal követett kristályfázis-átalakulásokról megállapítható, hogy a tiszta titán-dioxid minták hevítése során az anatáztartalom 500 °C-ig növekszik, majd 500-700 °C között csökken, mivel utóbbi hőmérséklettartományban az anatáz rutillá alakul.

3.2. Kimutattam, hogy a P-TiO₂ mintákban – a módosítatlan oxidhoz képest – az amorf TiO₂·nH₂O → anatáz átalakulás gátolt, és a foszfáttartalom növelésével az anatáztartalom lineárisan csökken. A röntgendiffrakciós vizsgálatokkal az is megállapítást nyert, hogy a P-TiO₂ mintákban az anatáz → rutil átalakulás 900 °C-ig szintén gátolt. A P-TiO₂ kalcinálásakor megfigyelt TiO₂·nH₂O → anatáz → rutil folyamat gátlását, a TiO₂·nH₂O funkcionálásakor képződő felületi Ti–O–P kötések szerkezetstabilizáló hatása okozza.

3.3. A TiO₂·nH₂O foszforsavas kezelésekor amorf titán(IV)-foszfát, majd 900 °C-os kalcinálás után kristályos TiP₂O₇ képződik.

4. A P-TiO₂ termikus stabilitása

4.1. A nitrogén-szorpció vizsgálatokból megállapítható, hogy a módosítatlan TiO₂ fajlagos felülete a kalcinálási hőmérséklet emelésével jelentősen csökken. A módosítatlan oxid 500 °C-ig mezopórusos szerkezetű, magasabb hőmérsékleten hevítve viszont kollapszust szenved.

4.2. A P-TiO₂ termikus stabilitása függ a P/Ti atomaránytól. P/Ti < 0,10 atomarány esetén a minták még 700 °C-os kalcinálás után is mezopórusosak, fajlagos felületük a kalcinálás hőmérsékletének emelésével – a módosítatlan oxiddal szemben – kevésbé csökken.

$P/Ti > 0,1$ atomarány felett a minták termikus stabilitás csökken, 700 °C kalcinálás után porozitásuk megszűnik.

5. Az optikai tulajdonságok (tiltott energiasáv) és a fényelektromos vezetés változása a foszfáttartalommal és a kalcinálási hőmérséklettel

5.1 A diffúz reflexiós UV-vis spektroszkópiás vizsgálatokkal kimutattam, hogy a tiltott sáv szélessége (E_g) a kalcinálás hőmérsékletének emelésével a módosítatlan és a funkcionizált titán-dioxidok esetén is csökken. Megállapítottam, hogy a hőkezelés során megfigyelt E_g csökkenést az anatóz krisztallitok méretének növekedése és – a minták foszfáttartalomtól függően – az anatóz \rightarrow rutil átalakulás okozza. Mivel a P-TiO₂ mintákban mindkét folyamat gátolt így azok tiltott sáv szélessége a módosítatlan oxiddal szemben minden kalcinálási hőmérsékleten nagyobb.

5.2 Titán-dioxid és P-TiO₂ vékonyrétegek ($t = 2,8 \pm 0,2 \mu\text{m}$) fényelektromos vezetését fésűszerű (interdigitated) elektródákkal vizsgáltam. Kimutattam, hogy az oxid filmek feszültség-áramerősség karakterisztikái közel ohmikusak és az UV-megvilágítás alatt a fényelektromos áram reprodukálhatóan mérhető. Szintén megállapítást nyert, hogy a P-TiO₂ rétegek fényelektromos vezetése a foszfáttartalom növelésével szignifikánsan csökken, amely egyrészt a foszfáttartalom növelésével járó egyre kisebb részecskeméretből, másrészt a töltéshordozók csapdázásából ered. Utóbbit az igazolja, hogy a felületi foszfát eltávolításával a fényelektromos áram ~ 40 -szeresére növekszik. A fényelektromos vezetésmérések tehát arra utalnak, hogy a foszfát specíeszek a fotogenerált elektronok és lyukak rekombinációját csökkentik.

II. A P-TiO₂ fotoaktivitása szilárd/gáz és szilárd/folyadék határfelületen

A P-TiO₂ katalizátorokon a szubsztrátum átalakulásának sebességét a TiO₂·nH₂O foszfáttal történő módosítása összetetten befolyásolja. A foszfát (az alkalmazott P/Ti atomarány) egyrészt meghatározza a fotokatalizátor szerkezeti (a kalcinálás alatt képződő fotoaktív anatóz mennyiségét, az oxid részecskeméretét, fajlagos felületét) és szorpciós tulajdonságait. Másrészt, a kemisorbeált foszfát a fotogenerált töltéshordozók csapdázásával ill. azok rekombinációjának gátlásával elősegíti a határfelületi töltéstranszfert. Ezeket a szempontokat figyelembe véve a következő megállapítások tehetők:

6. Az etanol fotooxidációja szilárd/gáz határfelületen

6.1 Kimutattam, hogy a jól adszorbeálódó etanol fotooxidációjának sebessége azokon a P-TiO₂ katalizátorokon a legnagyobb, melyek nagy fajlagos felülettel és egyben magas anatózttartalommal rendelkeznek. Ezek a feltételek a P/Ti = 0,05-0,10 atomarány mellett teljesülnek.

6.2 Víz jelenlétében – 50 % relatív páratartalom felett – az adszorbeálódott etanol mennyisége és a szubsztrátum fotooxidációjának sebessége egyaránt növekszik a P-TiO₂ katalizátorokon. Kimutattam továbbá, hogy a reakció fő közttermékének, az acetaldehidnek az átalakulása ill. a teljes mineralizáció sebessége víz jelenlétében szintén szignifikánsan növekszik.

6.3 A felületi foszfát spécieszek hidrogén-karbonátos eltávolítása után a katalizátoron adszorbeált etanol mennyisége növekszik, ennek ellenére a fotooxidáció sebessége szignifikánsan csökken. Ez azt jelzi, hogy a felületi foszfát hiányában a fotogenerált töltéshordozók élettartama rövidebb.

6.4 A felületi foszfát eltávolítása után az adszorbeált etanol mennyisége és fotooxidációjának sebessége már nem függ szignifikánsan a víz jelenlététől.

7. A fenol fotooxidációja szilárd/folyadék határfelületen

7.1 Az etanolhoz képest kevésbé jól adszorbeálódó fenol fotooxidációjánál a katalizátor fajlagos felületével szemben annak anatózttartalma dominál. Mivel az anatózttartalom a foszfáttartalommal közel lineárisan csökken, így a leghatékonyabb fotokatalizátornak a legkisebb (P/Ti=0,01) foszfáttartalmú P-TiO₂ bizonyult. P/Ti > 0,01 felett a fenol bomlásának sebessége lényegesen csökken.

7.2 A felületi foszfát hidrogén-karbonátos eltávolítása után a katalizátoron adszorbeált fenol mennyisége növekszik, ennek ellenére fotooxidációjának kezdeti sebessége csökken. Ez arra utal, hogy a foszfát a töltésszeparációt a szilárd/folyadék határfelületen is elősegíti.

7.3 A felületi foszfát eltávolítása után a fenol teljes mineralizációjának sebessége jelentősen növekszik, a fotooxidáció alatt kevesebb közttermék halmozódik fel. Ezeket az eredményeket a korábbi megállapításokkal összevetve arra következtethetünk, hogy a fenol átalakulásának mechanizmusa a funkcionizált és a módosítatlan TiO₂ felületen különbözik.

Tudományos közlemények

Az értekezés témájában megjelent közlemények

- 1.) L. Kőrösi, A. Oszkó, G. Galbács, A. Richardt, V. Zöllmer, I. Dékány. Structural properties and photocatalytic behaviour of phosphate-modified nanocrystalline titania films. *Applied Catalysis B* 77 (2007) 175.
IF:3,942
- 2.) L. Kőrösi, S. Papp, I. Bertóti, I. Dékány. Surface and bulk composition, structure and photocatalytic activity of phosphate-modified TiO₂. *Chemistry of Materials* 19 (2007) 4811.
IF: 5,104
- 3.) L. Kőrösi, I. Dékány. Preparation and investigation of structural and photocatalytic properties of phosphate modified titanium dioxide. *Colloids and Surfaces A* 280 (2006) 146.
IF: 1,611
- 4.) L. Kőrösi, S. Papp, J. Ménesi, E. Illés, V. Zöllmer, A. Richardt, I. Dékány. Photocatalytic activity of silver-modified titanium dioxide at solid–liquid and solid–gas interfaces. *Colloids and Surfaces A* (2008) <http://dx.doi.org/10.1016/j.colsurfa.2007.11.030>.
IF: 1,611

ΣIF = 12,268

Az értekezés témájához közvetlenül nem kapcsolódó publikációk

- 1.) J. Ménesi, L. Kőrösi, É. Bazsó, V. Zöllmer, A. Richardt, I. Dékány. Photocatalytic oxidation of organic pollutants on titania-clay composites. *Chemosphere* 70 (2008) 538.
IF: 2,359
- 2.) J. Ménesi, R. Kékesi, L. Kőrösi, V. Zöllmer, A. Richardt, I. Dékány. The effect of transition metal doping on the photooxidation process of titania-clay composites. *International Journal of Photoenergy*. 2008 Article ID 846304.
IF: 0,948
- 3.) S. Beke, S. Giorgio, L. Kőrösi, L. Nánai and W. Marine. Structural and optical properties of pulsed laser deposited V₂O₅ thin films. *Thin Solid Films* 516 (2008) 4659.
IF:1,666
- 4.) S. Beke, L. Kőrösi, S. Papp, L. Nánai, A. Oszkó, J.G. Kiss and V. Safarov. Nd:YAG laser synthesis of nanostructural V₂O₅ from vanadium oxide sols: Morphological and structural characterizations. *Applied Surface Science* 254 (2007) 1363-1368.
IF:1,263
- 5.) T. Szabó, A. Bakandritsos, V. Tzitzios, S. Papp, L. Kőrösi, G. Galbács, K. Musabekov, D. Bolatova, D. Petridis and I. Dékány. Magnetic iron oxide/clay composites: effect of the layer silicate support on the microstructure and phase formation of magnetic nanoparticles. *Nanotechnology* 18 (2007) 285602.
IF:3,322

6.) L. Kőrösi, S. Papp, V. Meynen, P. Cool, E. F. Vansant, I. Dékány. Preparation and characterization of SnO₂ nanoparticles of enhanced thermal stability: The effect of phosphoric acid treatment on SnO₂·nH₂O. *Colloids and Surfaces A* 268 (2005)147.

IF: 1,611

7.) S. Papp, L. Kőrösi, V. Meynen, P. Cool, E.F. Vansant, I. Dékány. The influence of temperature on the structural behaviour of sodium tri- and hexa-titanates and their protonated forms. *Journal of Solid State Chemistry* 178 (2005) 1614.

IF: 1,725

8.) R. Kun, K. Mogyorósi, J. Németh, L. Kőrösi, S. Papp, I. Dékány. Thermoanalytical and structural properties of metal oxide semiconductor and palladium/layer silicate nanocomposites. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 79 (2005) 595.

IF:1,478

9.) L. Kőrösi, J. Németh, I. Dékány. Structural and photooxidation properties of SnO₂/layer silicate nanocomposites. *Applied Clay Science* 27 (2004) 29.

IF:1,267

10.) L. Kőrösi, M. Mogyorósi, R. Kun, J. Németh, I. Dékány. Preparation and photooxidation properties of metal oxide semiconductors incorporated in layer silicates. *Progress in Colloid Polym. Sci.* 125 (2004) 27.

IF:1,11

ΣIF = 16,749

Összesített hatástényező : 29,02

Előadások és poszterek hazai és nemzetközi konferenciákon:

- 1.) I. Dékány, R. Kun, E. Pál, L. Kőrösi, K. Szendrei, D. Sebők:
Optical and Photocatalytical Properties of ZnO and ZnAl Double Hydroxide Nanoparticles Stabilized in Ultrathin Films by LBL Method.
12th IACIS International Conference on Surface and Colloid Science,
15-20 October 2006, Beijing, China, abstract p. 22
- 2.) I. Dékány, R. Kun, E. Pál, L. Kőrösi, K. Szendrei, D. Sebők:
Nanostructured ultrathin hybrid layers prepared by LBL method.
20th Conference of the European Colloid and Interface Society and 18th European Chemistry at Interfaces Conference, 17-22 September 2006, Budapest, Hungary, abstract p. 155
- 3.) E. Illés, S. Papp, L. Kőrösi, R. Kun, I. Dékány:
Synthesis and characterization of Ag and Pt-doped TiO₂ photocatalysts.
20th Conference of the European Colloid and Interface Society and 18th European Chemistry at Interfaces Conference, 17-22 September 2006, Budapest, Hungary, abstract p. 416
- 4.) L. Kőrösi, S. Papp, I. Dékány.
Structural and Photoelectric Properties of Phosphate Doped Ordered Mesoporous Tin Dioxide.
12th International Conference on Surface and Colloid Science, 15-20 October 2006 Beijing, China, abstract p. 126
- 5.) L. Kőrösi, V. Meynen, P. Cool, E. F. Vansant, O.I. Lebedev, G. Van Tandeloo I. Dékány:
Synthesis and structural characterization of phosphate modified mesoporous SnO₂
20th Conference of the European Colloid and Interface Society and 18th European Chemistry at Interfaces Conference, 17-22 September 2006, Budapest, abstract p. 343
- 6.) L. Kőrösi, I. Bertóti, I. Dékány:
Gas-phase photocatalytic performance of phosphate modified titanium dioxide.
20th Conference of the European Colloid and Interface Society and 18th European Chemistry at Interfaces Conference, 17-22 September 2006, Budapest, Hungary, abstract p. 189
- 7.) L. Kőrösi, J. Ménesi, A. Richardt, V. Zöllmer, L. Reich, I. Dékány:
Phosphate-doped titanium dioxide thin layers for photodegradation of organic vapours using various light sources.
20th Conference of the European Colloid and Interface Society and 18th European Chemistry at Interfaces Conference, 17-22 September 2006, Budapest, Hungary, abstract p. 418
- 8.) S. Papp, L. Kőrösi, I. Dékány, P. Mela, B. Gorzolnik, M. Möller:
Micellization behavior of PS-b-P2VP diblock copolymer in toluene solution: TEM investigation using AuCl₄⁻.
20th Conference of the European Colloid and Interface Society and 18th European Chemistry at Interfaces Conference, 17-22 September 2006, Budapest, Hungary, abstract p. 351

- 9.) Dékány, L. Kőrösi, R. Kun, T. Szabó, J. Ménesi, S. Papp:
Structural and photocatalytic properties of self-assembled ultrathin films prepared from inorganic/organic colloids.
European Materials Research Society Spring Meeting (E-MRS 2005), Symposium E, 31 May-3 June 2005, Strasbourg, France, abstract p. E-30/51
- 10.) L. Kőrösi, S. Papp, I. Dékány:
Photocatalytic properties of high surface area phosphated titania.
8th International Symposium on Interdisciplinary Regional Research, Hungary-Romania Serbia and Montenegro (ISIRR-8), 19-21 April 2005, Szeged, Hungary, EEP07 presentation on CD of ISIRR-8
- 11.) L. Kőrösi, S. Papp, I. Dékány:
Preparation, characterization and photocatalytic properties of phosphated titanium dioxide.
First Int. Workshop on Semiconductor Nanocrystals, SEMINANO 2005, 10-12 September 2005, Budapest, Hungary
- 12.) L. Kőrösi, S. Papp, V. Meynen, I. Dékány:
Photocatalytic properties and photoconductivity of high surface area phosphated titania films.
European Materials Research Society Spring Meeting (E-MRS 2005), Symposium E, 31 May-3 June 2005, Strasbourg, France, abstract p. E-35/51
- 13.) T. Nyari, S. Papp, L. Kőrösi, R. Banica, M. Paulescu, I. Hrianca, I. Dékány:
Solar cell based on CuInS_2 and TiO_2 nanocrystals.
Physics Conference TIM 05, 25-26 November 2005, Timisoara, Rumania, abstract p. 84
- 14.) S. Papp, L. Kőrösi, I. Dékány:
Colloid synthesis of CdS , V_2O_5 and WO_3 doped titanate films for sensor application.
8th International Symposium on Interdisciplinary Regional Research, Hungary-Romania-Serbia and Montenegro (ISIRR-8), 19-21 April 2005, Szeged, Hungary, EEP09 presentation on CD of ISIRR-8
- 15.) S. Papp, L. Kőrösi, I. Dékány:
Colloid synthesis and photoconductivity of CdS , V_2O_5 and WO_3 doped titanate films.
European Materials Research Society Spring Meeting (E-MRS 2005), Symposium E, 31 May-3 June 2005, Strasbourg, France, abstract p. E-18/51
- 16.) K. Szendrei, T. Szabó, J. Németh, L. Kőrösi, I. Dékány:
Optical properties of ZnO nanoparticles stabilized in layer silicate dispersions and ultrathin films.
European Materials Research Society Spring Meeting (E-MRS 2005), Symposium E, 31 May-3 June 2005, Strasbourg, France, abstract p. E-18/51
- 17.) K. Szendrei, T. Szabó, J. Németh, L. Kőrösi, I. Dékány:
Optical properties of ZnO /hectorite in ultrathin nanofilms for sensor application 8th International Symposium on Interdisciplinary Regional Research, Hungary-Roumania-Serbia and Montenegro (ISIRR-8), 19-21 April, 2005, Szeged, Hungary, EEP06 presentation on CD of ISIRR-8

- 18.) I. Dékány, L. Kőrösi, R. Kun, T. Szabó, R. Patakfalvi, S. Papp:
Nanoparticle stabilization in layer structured materials.
9 th International Symposium on Particle Size Analysis, Environmental Protection and Powder Technology, PORANAL, 5-7 September 2004, Balatonfüred, Hungary, abstract p. 33
- 19.) I. Dékány, L. Kőrösi, R. Kun, T. Szabó, S. Papp:
Structural and photocatalytical properties of semiconductor and noble metal/layered material nanocomposites and ultrathin films.
Proc. of the 2nd Int. COE Symposium for Giant Molecules and Complex Systems, 22-23 November 2004, Sendai, Japan, abstract p. 13
- 20.) Á. Patzkó, R. Kun, L. Kőrösi, I. Dékány, Á. Molnár, L. Nagy:
Reactive nanoparticles for mineralization of hazardous organic material using solar energy.
3rd Int. Symposium on NBC-Decontamination Munster, Lower Saxony, Germany, 28-30 September 2004, CD 4014 46MD 131451
- 21.) I. Dékány, T. Szabó, L. Kőrösi:
Metal and semiconductor nanoparticles stabilized in ultrathin nanofilms and layer structured materials.
SPIE 1st Int. Symp. on Microtechnologies for the New Millennium, 19-21 May 2003, Maspalomas, Gran Canaria, Spain, Nanotechnology, Proceedings of SPIE, Volume 5118, 441-455
- 22.) I. Dékány, K. Mogyorósi, J. Németh, L. Kőrösi:
Synthesis and structure of nanocomposite materials from semiconductors (TiO₂, ZnO and SnO₂) and layered silicates.
11th ICSCS, 15-19 September 2003, Iguassu Falls, Parara, Brazilia, abstract p. 80.
- 23.) K. Mogyorósi, J. Németh, L. Kőrösi, I. Dékány:
Photooxidation of organic molecules on TiO₂, SnO₂ and ZnO/ layered silicate nanocomposites flow and batch reactors.
8th Conference on Colloid Chemistry, 18-20 Sept. 2002, Keszthely, Hungary, abstract p. 94
- 24.) J.Németh, L.Kőrösi, I.Dékány, J.H. Fendler:
Photodegradation of organic pollutants on SnO₂ and ZnO/layered silicate nanocomposites.
2nd Int. Conf. Interfaces Against Pollution (IACIS) and NATO Advanced Research Workshop, 27-30 May 2002, Lillafüred, Hungary, abstract p.146
- 25.) L. Kőrösi, J.Németh, I.Dékány, J.H. Fendler:
Preparation of SnO₂ nanoparticles incorporated in layered silicates for photocatalysis. Feb. 24-27 2001, Orlando, Florida, USA, abstract p. 99
- 26.) J. Németh, L. Kőrösi, I. Dékány, J.H. Fendler:
Preparation of ZnO and SnO₂ semiconductor nanoparticles intercalated in montmorillonite.
3rd International Conf. of the Kolloid-Gesellschaft e.V., Colloids 2000, 25-28 Sept. 2000, Budapest, Hungary, abstract p. 145