DOKTORI (PH.D.) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

A grafit-oxid kémiai és nanoszerkezete

SZABÓ TAMÁS

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

SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM
KOLLOIDKÉMIAI TANSZÉK

SZEGED

2006

1. BEVEZETÉS ÉS AZ ÉRTEKEZÉS CÉLKITŰZÉSEI

A nanotechnológiával foglalkozó kutatók érdeklődésének fókuszában a szén különböző megjelenési formái már a kezdetektől fogva szerepelnek. A közelmúltban felfedezett fullerének, egy-és többfalú szén nanocsövek és nanotekercsek és a grafit poliéderes kristályok ugyanis olyan anyagok, amelyek térbeli kiterjedései a nanométeres mérettartományba esnek, így összemérhetőek az ún. „nano-objektumok" vagy „nano-eszközök" méreteivel. Ezek megalkotása pedig a korszerű anyagtudományban megfigyelhető – elsősorban a mikroelektronikai ipar által motivált – miniatürizálási trend végső célja. A szén és a szénalapú anyagok ezen kívül kiváló és sok esetben egyedi fizikai-kémiai tulajdonságokkal rendelkeznek, pl. magas hőmérsékletű szupravezetéssel, egyenirányító-képességgel, vagy rendkívül nagy fajlagos felülettel.

Ezen újszerű szén-nanoszerkezetek iránti fokozódó érdeklődéssel párhuzamosan a „tömbfázisú" grafittal és ennek vegyületeivel kapcsolatos kutatások háttérbe szorultak. Az elektronikában például jelentéktelen szerepe van a grafitnak, mert rendezett, elektromosan vezető vékonyrétegeket nagyon nehéz belőle előállítani. Ennek oka elsősorban az, hogy a réteges szerkezetű kristályainak elhasítása néhány nanométeres lamellavastagságra a hagyományos fizikai módszerekkel nem lehetséges, és sem vizes, sem organikus közegben nem lehet belőle megfelelő kolloid stabilitással rendelkező szuszpenziót előállítani. A kutatási témám tárgyának választott grafit-oxid (GO) viszont egy olyan anyag, amely kedvező sajátságai révén megoldást kínálhat sok, a grafittal kapcsolatban felmerülő gyakorlati probléma megoldására.

Doktori értekezésem alapvető céljának tekintettem a grafit-oxidnak, ennek a nehezen kezelhető, ám kiváló anyagi tulajdonságai miatt széleskörű tudományos érdeklődésre számítható grafitvegyületnek a részletes fizikai-kémiai és kolloidkémiai vizsgálatát, molekuláris és szupramolekuláris szerkezeti sajátságainak feltárását, ill. lehetséges technológiai alkalmazásának vizsgálatát. Az már munkám kezdetén, a szakirodalom részletes áttanulmányozása után kiderült, hogy a grafit-oxid pontos kémiai szerkezetét mind a mai napig nem sikerült kideríteni, a tudományos köztudatban egymásnak és az anyag megfigyelt tulajdonságainak több tekintetben ellentmondó szerkezeti modellek szerepelnek. A GO anyagszerkezetének megismerését viszont nem csupán az alapkutatás-jellegű tudományos érdeklődés motiválja, elengedhetetlenül fontos a modern, alkalmazott anyagtudományban is: segítségével hatékonyabban ki lehetne aknázni a vegyület adszorpciós ill. fizikai-kémiai tulajdonságait, pl. a felületének funkcionalizálásával kialakított szénbázisú nanokompozitok, kémiai- vagy bioszenzorok megalkotásával. Ennek felismerése után mintegy természetszerűleg adódik az első célkitűzésem, hogy hozzájáruljak a grafit-oxid valódi kémiai szerkezetének felderítésére irányuló, több évtizede tartó tudományos munkához. Az SZTE Kolloidkémiai Tanszékén számos szerkezetvizsgálati módszer állt rendelkezésemre, amelyek segítségével – a vegyület korábban megfigyelt sajátságainak következetes figyelembe vételével – lehetőségem nyílt a szerkezeti kérdések tisztázására.

Munkám második célja az volt, hogy a szilárd grafit-oxid és a vizes közegű GO szuszpenziók kolloid- ill. nanoszerkezetét jellemezzem. A grafit-oxid fajlagos felületére, porozitására, fraktáljellegére és a diszperz rendszerre jellemző átlagos inhomogenitás-távolságokra vonatkozó információkat a kisszögű röntgenszórás módszere szolgáltatta, míg a vizes közegben diszpergált GO aciditását, valamint pH- és ionerősségfüggő felületi töltésállapotát potenciometriás sav-bázis titrálással jellemeztem. Gyakorlati szempontból ezen kérdéskör tanulmányozása nagyon fontos: az elektrolit-közegű kolloidok felületi töltésállapota ugyanis döntő mértékben meghatározza a fo-lyadékban eloszlatott szilárd részecskék kolloid stabilitását és adszorpciós sajátságait.

Következő célomnak azt tekintettem, hogy az anyagszerkezeti és a kolloid tulajdonságokat figyelembe véve egy vezető tulajdonságú, nanometrikus rétegvastagságú grafitfilmet állítsak elő üvegfelületen. Ehhez az utóbbi néhány évtizedben kifejlesztett, ún. önrendeződéses adszorpciós technikát alkalmaztam, amely kiváló lehetőséget nyújt a legtöbb, töltéssel rendelkező kolloid rögzítésére és rendezésére szinte tetszőleges alakú és anyagi minőségű felületen, egy alkalmas polielektrolit segítségével.

Célkitűzésem volt még, hogy a grafit-oxid felületét mágneses sajátságú nanokristályokkal módosítsam, majd az így kapott nanokompozitokat jellemezzem. Ezek a kísérletek fontos részét képezték ill. képezik az SZTE Kolloidkémiai Tanszékének és az athéni NCSR „Demokritos" Kutatóközpont Anyagtudományi Intézetének kooperációjával 2001-2002-ben megvalósított (NATO Science Program) ill. jelenleg is tartó (Magyar-Görög Kormányközi TéT Együttműködés) kutatási projektjeinek.

2. ALKALMAZOTT KÍSÉRLETI ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

Négy, különböző mértékben oxidált grafit-oxid mintát szintetizáltam természetes eredetű, méretfrakcionált grafitkristályokból a hagyományos, Brodie-féle módszerrel, $NaClO_3$ és füstölgő salétromsav felhasználásával.

A grafit-oxid üvegfelületen rögzített ultravékony rétegeit az ún. önrendeződéses adszorpciós („layer-by-layer self-assembly") módszerrel állítottam elő egy kationos polielektrolit, a poli(diallil-dimetil-ammónium)-klorid (PDDA) segítségével.

A mágnesesen módosított szénkompozitot vas(II)-ionok 2,2'-bipiridinnel alkotott komplexével ioncserélt grafit-oxidból hőkezelés után nyertem.

A grafit-oxid kémiai összetételét Perkin-Elmer 2400 Series II. CHNS/O elemanalitikai berendezéssel (SZTE Gyógyszerkémiai Intézet) határoztam meg.

A grafit, a GO ill. az önrendeződő nanofilmek bázislaptávolságát nagyszögű röntgendiffrakciós berendezéssel mértem az 1-30° (2Θ) szögtartományban. A Philips röntgendiffraktométer (PW 1830 generátor, PW 1820 goniométer) sugárforrása Cu-

anód volt. A mintára bocsájtott CuKα sugárzás monokromatikus, hullámhossza 0,1542 nm (a CuKβ sugárzás elnyelésére Ni szűrőt alkalmaztam). A kisszögű röntgenszórás méréseket vákuumozott térben kompakt Kratky-kamerával (KCEC/3) végeztem helyérzékeny röntgendetektort alkalmazva.

A grafit-oxid sorozat termikus viselkedését egy MOM Derivatograph Q-1500 D típusú termoanalitikai készülékkel vizsgáltam levegő- és nitrogénatmoszférában, 25-1000 °C hőmérséklettartományban, Al_2O_3 referenssel szemben.

A ^{13}C-MAS NMR mérések az SZTE Szerves Kémiai Tanszékén üzemelő Bruker Avance DRX500 típusú spektrométerén történtek (11,7 Tesla mágneses térerősség), amelyet szilárd minták mérésére alkalmas próbafejjel láttak el.

A KBr-dal hígított szilárd GO minták infravörös spektrumait egy diffúz reflexiós feltéttel ellátott Biorad FTS-60A FT-IR spektrométerrel vettem fel. A DRIFT spektrumokat DTGS detektorral, 256 spektrum akkumulációjával rögzítettem 2 cm^{-1} digitális felbontásban.

A minták XPS-spektrumait a BMGE Atomfizikai Tanszékének készülékén vették fel, amely egy XR3E2 (VG Microtech) ikeranódos röntgensugárforrásból és egy Clam2 kettős-félgömb alakú elektronenergia-analizátorból állt.

A GO sorozat ESR-vizsgálatát az athéni NCSR Demokritos Kutatóközpont Anyagtudományi Intézetében végeztük el egy Anristsu mikrohullámú detektorral ellátott Bruker ER200D spektrométeren.

Az önrendeződő grafit-oxid/polimer nanofilmek spektrális jellemzésére Uvikon 930-as típusú (Kontron Instruments) két fényutas spektrofotométert használtam.

A GO önhordozós filmjeinek és a GO/polimer ultravékony rétegek elektromos vezetőképességét egy Keithley 2400 Series Source Meter készülékkel mértem meg.

A különböző szilárd minták fajlagos felületének meghatározását a Micromeritics cég Gemini 2375 típusú automata gázadszorpciós készülékével végeztük.

Az elektronmikroszkópos vizsgálatokat a 100 kV-os gyorsítófeszültségű CM-10 Philips típusú elektronmikroszkóppal végeztem az SZTE Anatómia és Pathológiai Tanszékének Elektronmikroszkópos Laboratóriumában.

Az önrendeződő PDDA/GO nanofilmek felületének topográfiáját egy Digital Instruments Nanoscope III Multimode atomi erő mikroszkóppal vizsgáltam ún. tapping („kalapáló”) üzemmódban.

A pH-potenciometriás titrálásokat a tanszéken összeállított, számítógép által vezérelt titrálórendszerrel végeztem el

A vasoxid/szén nanokompozit magnetizációs görbéjét a görögországi NCSR Demokritos Kutatóközpont Anyagtudományi Intézetében, egy VSM02 (Hirst Magnetic Instruments) rezgőminta-magnetométeren vettem fel.

3. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

T.1 *A grafit-oxid felületi funkciós csoportjainak evolúciója és fizikai-kémiai tulajdonságainak változása a sorozatos oxidációs kezelések hatására*

1.a A vízmentes grafit-oxidok atomos összetételei szerint a heteroatomok (O és H) mólaránya nő az oxidációs lépések ismétlésével, amivel együtt jár a vegyület széntartalmának fokozatos csökkenése. A heteroatomok mennyisége és a GO víztartalma között szoros korreláció van, tehát az oxigéntartalmú funkciós csoportok egyre nagyobb mennyisége a lamellafelületek hidrofilitását növeli. A dehidratált minták vízgőzadszorpciója ill. -interkalációja gyors folyamat, amely során a GO rétegtávolságának diszkontinous növekedése játszódik le.

1.b A deutériumcsere módszerét elsőként alkalmaztam a grafit-oxid infravörös-spektroszkópiás tanulmányozásában, amely lehetőséget nyújtott az adszorbeált víz és a szerkezeti hidroxilcsoportok vegyértékrezgési sávjainak egyértelmű megkülönböztetésére, egy korábban elfedett (szerves karbonátokhoz rendelhető) sáv felfedésére és annak igazolására is, hogy – a szénrétegek éleinél található tört kötések mellett – fenolos hidroxilcsoportok a lamellasíkok belsejében is előfordulnak.

1.c Az XPS vizsgálatok (teljes egyezésben az infravörös mérések eredményével) azt mutatták, hogy a vegyület karbonilcsoportjainak mennyisége számottevő – így nem rendelhetőek kizárólag a lamellaéleken elhelyezkedő COOH-csoportokhoz – és a sorozatos kémiai kezelésekkel jelentősen nő. Ez a felületi speciáció evolúciójára utal: az OH-csoportok vagy éterek fokozatosan ketonokká ill. kinonokká alakulnak át.

1.d A grafit-oxidot eddig nem vizsgálták ESR-spektroszkópiával. Mi először mutattunk rá, hogy a részlegesen oxidált grafit-oxidok mikrohullámú elnyeléssel rendelkeznek, míg a jól oxidált minták nem mutatnak spin-rezonanciát. A spin specieszek az előbbi anyagokban nem lokalizált szabad gyökök vagy a grafitban található vezetési elektronok, hanem a tökéletlen oxidáció miatt megmaradt, nanometrikus területekre kiterjedő kondenzált aromás gyűrűrendszerek mobilis π-elektronjai.

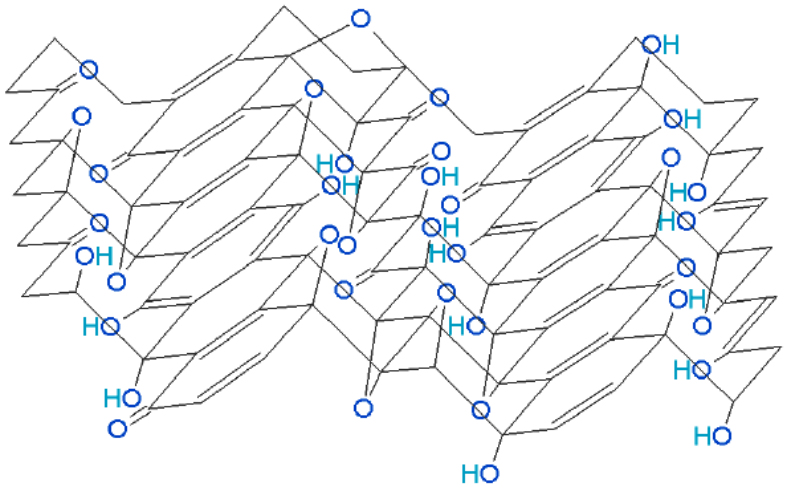
1.e A grafit-oxidokból önhordozós vékonyrétegek állíthatók elő nagyon jól diszpergált, kis részecskéket tartalmazó szuszpenzió beszárításával. Az így kapott, 15 μm vastagságú membrán flexibilis, mechanikailag ellenálló és elméletileg tetszőleges formára alakítható. Vizsgálataim alapján (az ESR és XPS eredményekkel összhangban) megállapítható, hogy a grafit-oxidok elektromos vezetőképessége az oxidációs

kezelések egyszerű ismétlésével széles tartományban változtatható, a félvezetőn át a szigetelő állapotig.

T.2 *A grafit-oxid kémiai szerkezetének új modellje*

A fenti eredmények világosan rámutattak arra, hogy a grafit-oxid korábbi szerkezeti modelljei nem tarthatók fenn, ezért javaslatot tettem egy új modellre.

A modell szerint a GO kémiai szerkezetének alapja egy redőzött szénatomháló, amely síkalkatú szén-hatszögeket és transz állásban összekapcsolt, szék konformációjú ciklohexángyűrűket tartalmaz, a mérsékelten oxidált minták esetén pedig szórványosan megmaradhatnak az oxidálatlan aromás gyűrűrendszerek nanometrikus körzetei is. A modellben szereplő oxigéntartalmú funkciós csoportok (alkoholos és fenolos hidroxil- és ketocsoportok, valamint 1,2-és 1,3-éterek) a szénvázhoz kovalens kötéssel kapcsolódnak és a rétegek általános síkja alá és fölé is orientálódhatnak, a lamellaéleket pedig COOH- vagy OH-csoportok zárják le.



A grafit-oxid javasolt szerkezeti modellje

A javasolt modell a grafit-oxid tapasztalati összegképletével, oxidatív és savas karakterével, valamint IR-, NMR-, ESR- és XPS-spektrumaival összeegyeztethető anélkül, hogy torzult vagy nagymértékben instabilis szerkezeti elemeket feltételezne, ellentétben a korábbi modellekkel.

T.3 *A grafit-oxid nanoszerkezete és kolloidkémiai tulajdonságai*

3.a Szilárd állapotú mintákon elsőként vizsgált kisszögű röntgenszórással megállapítottam, hogy a grafitlamellák teljesen sík felületével ellentétben a grafit-oxid rétegei az oxidáció során egyre nagyobb mértékben töredezettek lesznek. A jól oxidált minták felületi fraktáldimenziójának 3 körüli értékei összhangban vannak a TEM-felvételeken látható membránokkal, amelyek redőzöttsége a teljes lamellafelületre kiterjedt. A minták korrelációs hosszai csökkenő tendenciát mutattak: az oxidáció folyamán részleges dezaggregáció játszódik le. A SAXS módszerével meghatározott fajlagos felületek – bár nem közelítik meg a geometriai felületet – a BET-felületeknél egy nagyságrenddel nagyobbnak adódtak, mutatván egyrészt azt, hogy a minták zárt pórusokat is tartalmaznak és azt is, hogy az összetapadt lamella-aggregátumok esetén nem jelentkezik a szórást előidéző elektronsűrűség-különbség.

3.b A grafit-oxid fajlagos felületének meghatározására egy geometriai modellszámítást végeztem el. A kapott geometriai felületek az oxidáció mértékétől függően 1650-1800 m^2/g közötti értékek, amelyek jól egyeznek az irodalomban korábban közölt, elegyadszorpciós kísérletekből meghatározott fajlagos felületekkel.

3.c Igazoltam, hogy a potenciometriás sav-bázis titrálás alkalmazható az elektrolitközegben diszpergált grafit-oxid lamellák felületi töltésállapotának kvantitatív jellemzésére. A felületi protontöbblet-pH függvényeket a vizes közeg jellemzői (pH és az elektrolitkoncentráció) jelentős mértékben befolyásolják.. A titrálási eredmények így arra hívják fel a figyelmet, hogy a grafit-oxidok ioncsere-kapacitását nem lehet egy egyszerű számértékkel jellemezni, mert az a fenti paraméterektől erősen függ. A felületi protontöbblet-pH függvények és a GO fajlagos felületének ismeretében kiszámítottam a disszociált funkciós csoportok felületi sűrűségét is. A nitrogénadszorpcióval meghatározott BET-felületek irracionálisan magas értékeket szolgáltattak, míg a geometriai megfontolások alapján kiszámolt fajlagos felületek elfogadható helysűrűségeket eredményeztek. Végezetül az is megállapítható volt, hogy az egymást követő oxidációs lépések során a grafit-oxid aciditása egyre kifejezettebb.

T.4 *Elektromosan vezető szén nanofilm előállítása ultravékony, önrendeződő grafit-oxid/polimer multirétegekből*

A grafit-oxidot egy kationos polielektrolittal (PDDA) sikeresen rögzítettem üvegfelületen, az ún. önrendeződéses adszorpciós módszer szerint. Az alternáló GO/PDDA multirétegek optikai vastagsága arányos volt a depozíciós műveletek számával. XRD vizsgálatokkal azt is megállapítottam, hogy az ultravékony filmek-

ben a GO rétegek hidratált állapotban vannak. A nanofilm hidrazinos redukciójával a grafit-oxid nem alakul vissza grafittá, az XRD mintázat, valamint AFM felvételek ehelyett egymással párhuzamos, ám háromdimenziós rendezettséggel nem rendelkező grafénekből felépülő turbosztratikus szén jelenlétét mutatják. A szén/PDDA film ugyanakkor 400 °C-on történő kalcinálással egy részben grafitizált vékonyréteggé alakítható, amelynek elektromos vezetőképessége több mint négy nagyságrenddel nagyobb a hőhezelés előtti állapothoz képest.

T.5 *Szuperparamágneses tulajdonságú szén nanokompozit előállítása*

A grafit-oxidból egy mágneses nanorészecskékkel módosított turbosztratikus szén állítható elő. A szintézis két lépésből áll: a grafit-oxid $[Fe(bipy)_3]^{2+}$-ionokkal történő ioncseréje után kapott terméket a GO deflagrációs pontja feletti, kb. 400 °C-os hőmérsékleten kell kalcinálni. Az előállítás sikere döntően függ az ioncseréhez felhasznált reakcióelegy pH-jától: az eredeti, enyhén savas pH-n csak jelentéktelen mennyiségű vas-prekurzor adszorbeálódik a grafit-oxidon. A pH növelésével viszont – az ioncsere-kapacitás növekedése és a lamella-aggregátumok peptizációja miatt – jelentősen lehet növelni a grafit-oxid felületein ill. az interlamelláris térben rögzített vaskompex mennyiségét. A kalcinálás után kapott nagy fajlagos felületű turbosztratikus szénkompozit az XRD és TEM vizsgálatok alapján a hematit mellett nagy diszperzitásfokú, szuperparamágneses maghemit-kristályokat is tartalmaz, amelyek a nanokompozitnak makroszkópos méretekben is jól észlelhető mágnesezhetőséget biztosítanak.

4. A DOKTORI ÉRTEKEZÉS ALAPJÁT KÉPEZŐ KÖZLEMÉNYEK

1. Athanasios B. Bourlinos, Dimitrios Gournis, Dimitrios Petridis, **Tamás Szabó**, Anna Szeri and Imre Dékány: *Graphite Oxide: Chemical Reduction to Graphite and Surface Modification with Primary Aliphatic Amines and Aminoacids*
Langmuir 2003, *19*, 6050-6055. *(IF: 3,098)*

2. **Tamás Szabó**, Anna Szeri and Imre Dékány: *Composite graphitic nanolayers prepared by self-assembly between finely dispersed graphite oxide and a cationic polymer*
Carbon 2005, *43*, 87-94. *(IF (2004): 3,331)*

3. **Tamás Szabó**, Ottó Berkesi and Imre Dékány: *DRIFT study of deuterium-exchanged graphite oxide*
Carbon 2005, *43*, 3186-3189. *(IF (2004): 3,331)*

4. **Tamás Szabó**, Etelka Tombácz, Erzsébet Illés and Imre Dékány: *Enhanced acidity and pH-dependent surface charge characterization of successively oxidized graphite oxides*
Carbon 2006, *44*, 537-545. *(IF (2004): 3,331)*

5. A. Lerf, A. Buchsteiner, J. Pieper, S. Schöttl, I. Dekany, **T. Szabo** and H.-P. Boehm: *Hydration behavior and dynamics of water molecules in graphite oxide*
Journal of Physics and Chemistry of Solids 2006, közlésre elfogadva. *(IF (2004): 0,988)*

6. **Tamás Szabó**, Ottó Berkesi, Péter Forgó, Katalin Josepovits, Yiannis Sanakis, Dimitris Petridis and Imre Dékány: *Evolution of Surface Functional Groups in a Series of Progressively Oxidized Graphite Oxides*
Chemistry of Materials 2006, közlésre elfogadva *(IF (2004): 4,103)*

A tudományos közlemények összesített impaktfaktora: ΣIF = 18,182

5. KÖNYVFEJEZET

Károly Mogyorósi, Róbert Kun, **Tamás Szabó**, Imre Dékány and István Ilisz: *Preparation and Photocatalytic Application of Different TiO2 and Zn(OH)2/ZnO Nanoparticles and Hydrophilic/Hydrophobic Layered Silicates*
In: S. Barany (ed.) NATO ASI Series, Role of Interfaces in Environmental Protection, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2003, 425-443.

6. EGYÉB KÖZLEMÉNYEK

1. Pernyeszi Tímea, **Szabó Tamás** és Dékány Imre: *Vizes közegben szolubilizált és emulgeált szerves molekulák fotooxidációs lebontása TiO2 alkalmazásával*
Magyar Kémiai Folyóirat 2002, *108*, 204-213. *(IF: 0)*

2. **Tamás Szabó**, József Németh and Imre Dékány: *Zinc oxide nanoparticles incorporated in ultrathin layer silicate films and their photcatalytic properties*
Colloids and Surfaces A - Physicochemical and Engineering Aspects 2003, *230*, 23-35.
(IF: 1,440)

3. Imre Dékány, **Tamás Szabó** and László Kőrösi: *Metal and semiconductor nanoparticles stabilized in ultrathin nanofilms and layer structured materials*
Invited paper in Proceedings of SPIE Vol. 5118 *Nanotechnology*, Robert Vajtai, Xavier Aymerich, Laszlo B. Kish, Angel Rubio (eds.), (SPIE, Bellingham, WA, 2003) 441-455.

4. Márta Szekeres, Krisztina Szendrei, **Tamás Szabó**, Robert A. Schoonheydt and Imre Dékány: *Layer-by-Layer Self-Assembly Preparation of Functional Hybride Biofilms with Saponite and Proteins*
Biomacromolecules 2006, közlésre beküldve *(IF (2004): 3,299)*

5. Imre Dékány, **Tamás Szabó**, Aristides Bakandritsos, Vassilios Tzitzios, Gábor Galbács, Kuan Musabekov and Dimitris Petridis: *Magnetic iron oxide/clay derivatives: role of the layer silicate support on the microstructure and phase formation of magnetic nanoparticles*
Applied Clay Science 2006, közlésre beküldve *(IF (2004): 1,267)*

7. ELŐADÁSOK ÉS POSZTEREK HAZAI ÉS NEMZETKÖZI KONFERENCIÁKON

1. **Szabó Tamás** és Dékány Imre: *Félvezető nanofilmek előállítása és fotokatalitikus lebontása szerves anyagok lebontására*
VIII. Országos Felsőoktatási Környezettudományi Diákkonferencia Programfüzete, p 115. Veszprémi Egyetem, 2002.

2. **Szabó Tamás** és Dékány Imre: *Félvezető nanorészecskéket tartalmazó nanofilmek előállítása önrendeződéses adszorpciós módszerrel*
XXV. Kémiai Előadói Napok Programfüzete, p 54-55. JatePress, Szeged, 2002.

3. **Szabó Tamás** és Dékány Imre: *Félvezető nanofilmek előállítása és fotokatalitikus vizsgálata szerves anyagok lebontására*
XXVI. Országos Tudományos Diákköri Konferencia Programfüzete, p 184. ELTE Budapest, 2003.

4. Imre Dékány, **Tamás Szabó**, Rita Patakfalvi, Szilvia Papp and Márta Szekeres: *Noble metal and phoocatalyst nanoparticles stabilized in self-assembled films and layer structured maretials*
Euroclay2003 Conference., Abstacts of papers, p. 79, Modena, Italy, 2003.

5. **Tamás Szabó** and Imre Dékány: *Preparation and surface modification of graphite oxide nanoparticles for deposition of thin composite films*
COST Workshop on Nanomaterials and Catalysis, Leuven, Belgium, 2004. február 5.

6. Imre Dékány, **Tamás Szabó** and László Kőrösi: *Preparation of nanostructured semiconductor/clay composites and their application for photocatalysis*
COST Workshop on Nanomaterials and Catalysis, Leuven, Belgium, 2004. február 5.

7. Imre Dékány, László Kőrösi, Róbert Kun, **Tamás Szabó**, Rita Patakfalvi and Szilvia Papp: *Nanoparticle stabilization in layer structured materials*
9th International Symposium on Particle Size Analysis, Environmental Protection and Powder Technology PORANAL 2004, Abstracts of papers, p. 33, Balatonfüred, 2004.

8. **Tamás Szabó**, Athanasios B. Bourlinos and Imre Dékány: *Preparation and surface modification of grapite oxide for the deposition of hybrid graphitic nanofilms*
9th International Symposium on Particle Size Analysis, Environmental Protection and Powder Technology PORANAL 2004, Abstracts of papers, p. 17, Balatonfüred, 2004.

9. **Tamás Szabó**, Athanasios B. Bourlinos, Dimitrios Petridis and Imre Dékány: *Graphitic nanolayers prepared by self-assembly of graphite oxide and a cationic polymer*
2nd Szeged International Workshop on Advances in Nanoscience SIWAN 2004, Abstracts of papers, p 24, Szeged, 2004.

10. Imre Dékány, László Kőrösi, Róbert Kun, **Tamás Szabó** and Szilvia Papp: *Structural and photocatalytical properties of semiconductor and noble metal/layered material nanocomposites and ultrathin films*
Proceedings of the 2nd Int. COE Symposium for Giant Molecules and Complex Systems. Abstracts of papers. p 13., Sendai, Japan, 2004.

11. Imre Dékány, László Kőrösi, Róbert Kun, **Tamás Szabó**, Judit Ménesi and Szilvia Papp: *Structural and photocatalytical properties of self-assembled ultrathin films prepared from inorganic/organic colloids*
European Materials Research Society (EMRS) 2005 Spring Meeting, Strasbourg, France, 2005. május 31- június 3.

12. Krisztina Szendrei, **Tamás Szabó**, József Németh, László Kőrösi and Imre Dékány: *Optical properties of ZnO/hectorite in ultrathin nanofilms for sensor application* **(poszter)**
8th International Symposium on Interdisciplinary Regional Research ISIRR-8, Szeged, 2005. április 20-21.

13. **Tamás Szabó**, Imre Konfár, Judit Ménesi, Viktória Hornok and Imre Dékány: *Structure and electronic prperties of graphite oxide and its polymer composite nanofilms* **(poszter)**
European Materials Research Society (EMRS) 2005 Spring Meeting, Strasbourg, France, 2005. május 31- június 3.

14. Krisztina Szendrei, **Tamás Szabó**, József Németh, László Kőrösi and Imre Dékány: *Optical properties of ZnO nanoparticles stabilized in layer silicate dispersions and ultrathin films* **(poszter)**
European Materials Research Society (EMRS) 2005 Spring Meeting, Strasbourg, France, 2005. május 31- június 3.