Doktori (Ph. D.) értekezés tézisei

Cink-peroxid és cink-oxid tartalmú hibrid rétegek optikai, szorpciós és szenzorikus tulajdonságai

Sebők Dániel
okl. fizikus

Témavezető:

Dr. Dékány Imre
egyetemi tanár, az MTA rendes tagja

SZTE, Kémia Doktori Iskola

Szegedi Tudományegyetem
Fizikai Kémiai és Anyagtudományi Tanszék
Szeged, 2012

1. Bevezetés, az értekezés célkitűzései

"Törődés az emberiséggel és annak sorsával – ez álljon az érdeklődése középpontjában minden technikai erőfeszítésnek." ***(Albert Einstein)***

A nanotechnológia és a hozzá kapcsolódó inter- ill. multidiszciplináris tudományágak robbanásszerű fejlődésen mennek keresztül, hetek-hónapok alatt produkálnak annyi új eredményt, mint korábban évtizedek alatt. A nanotudományok alapját egyértelműen a kolloidkémia fontos eredményei, megállapításai képezik, így célkitűzéseinek megvalósításához a fizika és kémia határmezsgyéjén vezet az út. Napjainkra a biológia, biotechnológia és az orvostudomány is szerves alkotójává és felhasználójává vált a kutatási eredményeknek. A vizsgálatok főként nanorészecskék, nanoszerkezetű anyagok előállítására irányulnak, illetve ezen anyagok felhasználhatóságára valamely tudományos vagy hétköznapi célú problémafelvetés megoldására. Mindennapi életünkben is egyre többször találkozunk újabb és újabb vívmányaival (nanoelektronika, **szenzorok**, antibakteriális hatás, fotokatalízis stb.).

Szabályozott méretű és alakú, nagy fajlagos felületű nanorészecskék ill. nanoszerkezetű anyagok előállítása főként kolloidkémiai módszereket igényel, de különleges elektromos és optikai tulajdonságaik is ezen ismeretekkel magyarázhatók. Ezek közül is kiemelkedő fontosságúak a félvezetők ill. a félvezető nanorészecskék. Az utóbbi évtizedek elektronikai fejlődését a félvezető ipar megjelenése és exponenciális fejlődése váltotta ki, melynek fő irányvonala a miniatürizálás, melynek korlátain túlmenően még számos lehetőséget rejt a nano-mérettartomány különleges tulajdonságainak széles tárháza. A méret, alak, törésmutató, pórusosság, felületmódosítás stb. szerint szabályozható tulajdonságú részecskék szintetizálhatók, majd ezekből a célnak megfelelő, praktikus eszközök (pl. szenzorok, bevonatok) készíthetők és anyagok (pl. gyógyszerek, kompozitok) állíthatók elő. Bátran kijelenthetjük tehát, hogy közel másfél évszázad várakozás után a kolloidkémia ill. a nanotudományok forradalmasították, és napról-napra bővítik a fizikai-kémia, az elektronika és az orvostudományok vívmányait.

Kutatásaim célja volt cink-peroxid nanorészecskék vizes diszperzióban történő szintézise. Vizsgáltam az előállított részecskék optikai és szerkezeti tulajdonságait, meghatároztam méretüket, tanulmányoztam termikus bomlásukat, valamint felületi töltésállapotukat.

A pozitív felületi töltésű ZnO_2 részecskékből és a negatív felületi töltésű kötőanyagokból (PSS, *poli(sztirolszulfonát)*; PAAm, *poli(akrilamid)* és PNIPAAm, *poli(N-izopropil-akrilamid)*, mint makromolekulák és Na-hektorit, mint rétegszilikát) ún. pórusos hibrid vékonyrétegeket állítottam elő bemerítéses (Layer-by-Layer, LbL) önrendeződő eljárással szilárd hordozó felületén. A lineáris polimer (PSS) tartalmú hibrideket hagyományos bemerítéses technikával készítettem, míg a térhálós polimer (PAAm, PNIPAAm) tartalmúak elkészítésénél az LbL technikát ötvöztem fotopolimerizációval, így a térháló „in-situ" a szilárd hordozó felületén jött létre. A ZnO_2/Na-hektorit filmek 400 °C fok hőmérsékleten történő kezelésével nyertem ZnO tartalmú rétegeket, a cink-peroxid termikus bomlása eredményeképpen.

Vizsgáltam a filmek felépülését UV-látható abszorpciós ill. reflexiós spektrofotometriával és kvarckristály mikromérleg segítségével. A szerkezeti tulajdonságokat röntgendiffrakcióval, a morfológiát pedig atomerő mikroszkóppal és pásztázó elektronmikroszkóppal vizsgáltam.

Célul tűztem ki az elkészített hibrid vékonyrétegek optikai tulajdonságainak mérésére és jellemzésére szolgáló módszerek kidolgozását, első sorban a rétegvastagságot és a törésmutatót illetően. Ez utóbbi fontossága abban rejlik, hogy gázok, gőzök jelenlétében a filmek reflexió spektruma a vörös színtartomány irányába tolódik el, a törésmutató növekedése miatt. Ezért további célom volt a vékonyrétegek szenzorként való alkalmazhatóságát vizsgálni saját fejlesztésű áramlásos rendszerben, különböző polaritású gőzök jelenlétében. A hibrid filmeket speciális kötőanyaggal (PAAm, PNIPAAm) ill. felületmódosítással (butiltriklórszilán, oktántiol) szelektívvé, azaz egyes anyagokra specifikusan érzékennyé tettem.

2. Alkalmazott kísérleti anyagok és módszerek

Kísérleti anyagok

A ZnO_2 részecskéket cink-acetát-dihidrát fotolízisével állítottam elő vizes közegben. ZnO nanorészecskéket közvetlenül nem szintetizáltam, hanem a cink-peroxidból készített vékonyrétegek kalcinálásával nyertem őket indirekt úton, film formájában.

0.01% koncentrációjú poli(sztirolszulfonát) oldat és 0.1% konc. Na-hektorit szuszpenzió felhasználásával szilícium és üveg hordozó felületén cink-peroxid/poli(sztirolszulfonát) és cink-peroxid/Na-hektorit hibrid vékonyrétegeket építettem fel önrendeződéses, bemerítéses (LbL) módszerrel. Az előkísérletek során a szerves és szervetlen kötőanyagok mennyiségét változtattam (az oldatuk ill. szuszpenziójuk koncentrációján keresztül), majd az optimális

körülmények meghatározása után különböző rétegszámú ZnO_2 vékonyrétegeket állítottam elő. A ZnO_2/Na-hektorit filmekből ZnO tartalmú rétegeket nyertem 400 °C fok hőmérsékletű kalcinálással.

A felületmódosítási kísérletek során a vékonyrétegek felületét butil-triklórszilán 0.192 % (0.01 M) hexános oldatával és oktántiollal borított felületű arany nanoszollal (0.01%) kezeltem.

1 M koncentrációjú akrilamid és N-izopropil-akrilamid oldatok felhasználásával cink-peroxid/akrilamid és cink-peroxid/N-izopropil-akrilamid vékonyrétegeket állítottam elő üveg és aranybevonatú kvarckristály felületén, majd térhálósítóként 0.05 M koncentrációjú N,N-metilén-biszakrilamidot és fotoiniciátorként Irgacure 651 –et felhasználva a hibrideket ultraibolya besugárzással polimerizáltam, melynek eredményeképpen nyertem cink-peroxid/poli(akrilamid) és cink-peroxid/poli(N-izopropil-akrilamid) filmeket.

A kísérletekhez felhasznált vegyszerek analitikai, illetve reagens tisztaságúak voltak.

Vizsgálati módszerek

A nanorészecskék és vékonyrétegek optikai tulajdonságait UV-látható spektrofotometriás (abszorpció, transzmittancia, reflexió) módszerrel vizsgáltam.

A minták szerkezetvizsgálatához, illetve a bennük lévő kristályfázisok azonosításához röntgendiffrakciós (XRD) méréstechnikát alkalmaztam.

A minták termoanalitikai vizsgálata során termogravimetriás (TG, DTG) méréstechnikákat alkalmaztam.

A morfológiai vizsgálatokhoz transzmissziós és pásztázó elektronmikroszkópiát (TEM, SEM), illetve atomerő mikroszkópiát (AFM) használtam.

Az átlagos részecskeméretet dinamikus fényszórás méréssel (DLS) határoztam meg.

A nanorészecskék felületi elektromos tulajdonságainak és a polielektrolit makromolekulák ill. a rétegszilikát töltésének meghatározásához áramlási potenciál, illetve elektrokinetikai potenciál méréseket végeztem.

Az önrendeződéses technikával előállított vékonyrétegek épülésének követését, illetve a filmek adszorpciós tulajdonságainak meghatározását kvarckristály mikromérleggel (QCM) és reflexiós spektroszkópiával 25±0,1 °C -on végeztem.

A vékonyrétegek hidrofilitását ill. felületi energiáját peremszög méréssel jellemeztem.

3. Az értekezés tézisei

T1. Cink-peroxid előállítása cink-acetát fotolízisével

1.1. Igazoltam, hogy a cink-acetát-dihidrát vizes közegben történő fotolízise 15-60 nm átmérőjű ZnO_2 nanorészecskék képződéséhez vezet. Megállapítottam, hogy T = 200 - 220 °C fok hőmérséklet tartományban a cink-peroxid fázisátalakuláson megy keresztül, és termikus bomlásának következtében ZnO részecskék keletkeznek. Az optikai tulajdonságokból meghatározott tiltott sáv energia a szintézis során E_g=4.46-3.76 eV között változik.

1.2. Hőkezelés (200-800 °C) során a krisztallitok mérete 15 nm -ről 60 nm –ig nőtt (Debye-Scherrer-egyenletből számítva).

T2. A kötőanyagok (PSS és Na-hektorit) koncentrációjának optimalizálása áramlási potenciál méréssel

A [cink-peroxid / lineáris polimer ill. rétegszilikát] filmek szerves kötőanyaga poli(sztirolszulfonát) (PSS), szervetlen kötőanyaga szintetikus Na-hektorit (Optigél®) volt. A vékonyrétegek építéséhez 0.85 % (g/L) koncentrációjú ZnO_2 szolt, 0.1 % hektorit szuszpenziót és 0.01 % PSS oldatot használtam.

2.1. A rétegalkotó komponensek koncentrációjának kiválasztásában döntő szerepet játszott a fajlagos felületi töltés meghatározása, melyhez áramlási potenciál mérést alkalmaztam annak érdekében, hogy a rétegek épüléséhez szükséges komponensek arányát optimalizálni tudjam. Az áramlási potenciál mérés eredményei a következők:

1. Táblázat *Töltésarányok ZnO_2/PSS és ZnO_2/Na-hektorit rendszerek esetében, különböző kötőanyag arányok mellett*

	ZnO_2	**PSS**			**Na-hektorit**		
Koncentráció (%)	0.85	0.005	**0.01**	0.05	0.05	**0.1**	0.2
Töltésarány (ZnO_2 : X)	-	1:10	**1:5**	1:1	1:10	**1:5**	1:2.5

2.2. Kísérleteim során azt tapasztaltam, hogy a 0.005 % koncentrációjú PSS oldatból és 0.05 % konc. Na-hektorit szuszpenzióból (1:10 töltésarány mellett) készített rétegek felépülése vagy nem egyenletes (az azonos hullámhosszakon mért *abszorbancia értékek nem lineárisan* növekednek a rétegszámmal), vagy pedig a kívánt rétegszám előtt telítődött a

rendszer, azaz megszűnt az elektrosztatikus vonzóerő (a kötőanyag felől), amely szükséges a rétegek alternáló egymásra épüléséhez.

2.3. A 0.05 % koncentrációjú PSS oldatból és 0.02 % konc. Na-hektorit szuszpenzióból (1:1 ill. 1:1.25 töltésarány mellett) készített rétegek esetében szintén az elektrosztatikus vonzás hiánya lépett fel túlzottan hamar (a cink-peroxid töltésének túlzott kompenzációja miatt), és/vagy a magas kötőanyag mennyiség miatt *a rétegek rendezetlenül épültek, ezáltal átlátszatlanná váltak, erős fényszórással.*

2.4. 0.01 % PSS oldatból ill. 0.1 % Na-hektorit szuszpenzióból (1:5 töltésarány mellett) a rétegek egyenletesen, rendezetten, lineáris abszorbancia növekedéssel épültek, így megállapítottam, hogy az optimális töltésarány a cink-peroxid és a kötőanyag közt 1:5, munkám során ezért mindvégig ezt az arányt használtam.

T3. A tiltott sávra jellemző („bandgap”) energia értékének befolyásolása a kötőanyaggal a ZnO_2/PSS és ZnO_2/Na-hektorit rendszerekben

A félvezetőknél fellépő tiltott sáv (angolul „bandgap”) a nanorészecskéknél is megjelenik, és így a vékonyrétegekben is. A tömbi fázissal (ZnO: 3.2-3.3 eV, ZnO_2: 3.7-3.8 eV) ellentétben ez nem állandó érték, hanem a nanoszerkezetű anyag diszkontinuitásainak méretétől (pl. részecske esetében átmérőtől) függ. Ez az érték így befolyásolható, ezt a jelenséget nevezzük méret kvantálási effektusnak.

3.1. Kísérleteim során megállapítottam, hogy a cink-peroxid/Na-hektorit vékonyrétegek esetében a tiltott sáv energiája független maradt a rétegek számától, értéke állandó 3.98 eV, mivel a szilikát lamellák közt (ún. szabályozott térben) interkalálódott nanorészecskék mérete nem változik meg. Ez a tulajdonság kalcinálás után jellemző lesz a ZnO/Na-hektorit filmekre is, de értéke a szerkezet megváltozása miatt 3.2 eV –ra csökken.

3.2. A polimer tartalmú filmek esetében a tiltott sáv energiájának értéke a rétegszám növekedésével csökkent, 4.12 eV –ról 3.74 eV -ra. Ennek oka, hogy a polimer láncok flexibilitása miatt a rétegszám növekedésével a méretszabályozás folyamatosan változik. A nanorészecskék felületén adszorbeálódott polimer láncok képesek a részecskéket mintegy körbehálózva meggátolni az aggregációt, ám a sztérikus stabilizáló hatás gyengülése következtében egyre kevésbé érvényesül a méret kvantálási effektus, a tiltott sáv energiája a rétegszám növekedésével fokozatosan a tömbi fázisra jellemző értékre csökken.

T4. A vékonyrétegek optikai tulajdonságainak meghatározására használt módszer ismertetése

A vékonyrétegek optikai jellemzésének legfontosabb része a törésmutató és a rétegvastagság meghatározása. Az általam kidolgozott technika analitikus görbék spektrumra történő illesztésével a törésmutatót folytonos függvényként állítja elő (ennek jelentősége főként a szenzorikai mérések során körvonalazódik, hiszen így válik lehetővé a törésmutató valós idejű követése minden időpillanatban, lsd. T7. tézispontban). Az optikai paraméterek kiszámításához három egymásra épülő modellt alkalmaztam:

4.1. A szilárdest modell (geometriai modell) tartalmazza a vékonyréteget felépítő anyagok fizikai, kémiai tulajdonságait, állandóit, valamint, hogy milyen geometria és orientáció szerint véljük az egységeket egymáshoz képest elhelyezkedni. A modellben három komponenst vettem figyelembe: egy hullámhossz-függő törésmutatóval rendelkező szilárd komponenst (részecskét), melynek refrakciós indexét szakirodalomban fellelhető információkból rekonstruáltam Cauchy-együtthatók segítségével; egy konstans törésmutatójú szilárd alkotót (a kötőanyag), ennek – látható tartományban kismértékű - diszperzióját elhanyagoltam; konstans törésmutatóval rendelkező pórusokat, melyek értéke a levegő törésmutatója.

4.2. Az effektív közeg modell határozza meg azt, hogy milyen megfontolások és egyenletek alapján kívánjuk homogenizálni a vékonyrétegünket, mely a legegyszerűbb esetben is két szilárd komponensből és pórusokból áll, valamint felületi érdességgel rendelkezik. Ennek eredményeképp kapunk egy állandó rétegvastagsággal és homogén törésmutatóval rendelkező rendszert. Az irodalomban számos fellelhető modell közül a 3 komponensre kiterjesztett Bruggeman-féle effektív közeg közelítést választottam. Ez az egyik legelterjedtebb modell, másfelől a számítógépes kiértékelő programba is könnyen beépíthetőnek bizonyult.

4.3. A hullámterjedési modell határozza meg, hogy levezetéseink során milyen, a hullámterjedésre, interferenciára vonatkozó egyenleteket, elméleteket használunk fel. Az immáron homogenizált rétegre vonatkozóan kétsugaras interferencia modellt alkalmaztam, azaz csak a réteg felületéről közvetlenül visszaverődő és a filmen keresztülhaladó, hordozó felületéről visszaverődő sugarakat összegeztem, komplex amplitúdók módszerével. A többi sugár elhanyagolása csak a reflektált fény intenzitásában okoz változást, a szélsőértékek helyében nem.

4.4. A fenti három modell egyidejű, egymásra épülő alkalmazásával kaptam végeredményül egy összefüggést, amely a reflektált fényintenzitás és a hullámhossz közt teremt kapcsolatot.

$$I_R \simeq a^2 \cdot \left[r^2 + r'^2 (1-r^2)^2 + 2rr'(1-r^2)\cos\left(\frac{4\pi n_e d \cos\beta}{\lambda}\right)\right] \quad (1)$$

ahol *r* és *r'* reflexiós együtthatók. Az (1) egyenlet alapján egy saját fejlesztésű szimulációs szoftverrel a legjobb illeszkedés alapján határoztam meg a vékonyrétegek rétegvastagságát és effektív törésmutatóját.

T5. „In-situ" fotopolimerizáció alkalmazása a vékonyréteg technikában

A hagyományos bemerítéses eljárás mellett fotopolimerizációval ötvözött technikával is állítottam elő cink-peroxid / polimer vékonyrétegeket, melynek eredményeképpen térhálós polimer tartalmú filmeket nyertem.

5.1. Az eljárás során kombináltam az önrendeződéses filmépítés és fénysugárzás hatására történő polimerizáció elemeit. *A PAAm és a PNIPAAm, mint térhálós polimerek a tömbi fázisú kísérletek során (mint hidrogélek) eltérően viselkednek: a poli(akrilamid) hidrofil, míg a poli(N-izoproplil-akrilamid) túlnyomórészt hidrofób tulajdonságokat hordoz.*

5.2. Fourier-transzformációs infravörös spektroszkópiával igazoltam, hogy a felépített ZnO_2/akrilamid és ZnO_2/N-izopropil-akrilamid hibrid vékonyrétegek térhálósító és fotoiniciátor oldatokba való merítés, és ultribolya fénnyel való besugárzás után ZnO_2/poli(AAm) és ZnO_2/poli(NIPAAm) filmekké alakultak.

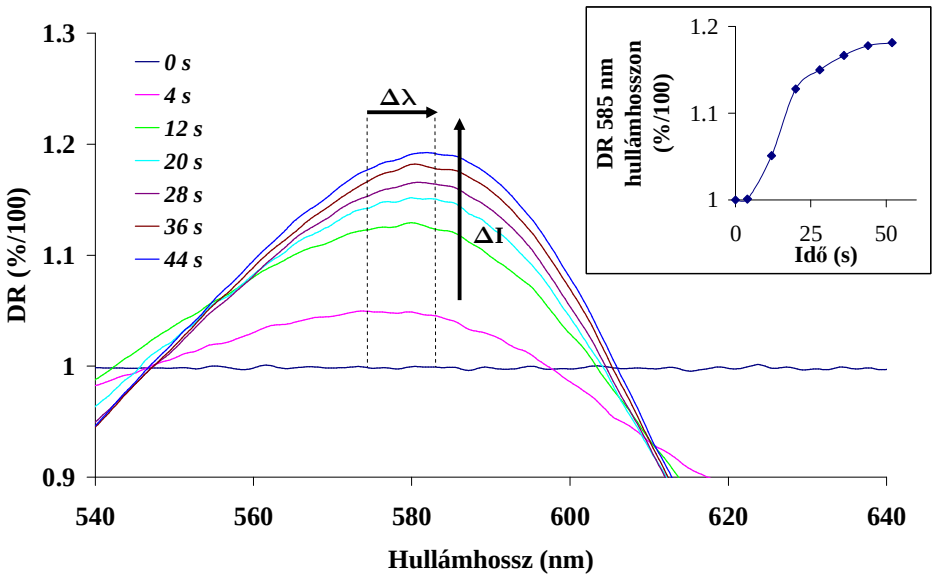
T6. Hidrofil-hidrofób hatás szabályozása a kötőanyagként használt polimerekkel ZnO_2/PAAm és ZnO_2/PNIPAAm rendszerekben

Víz- és etanolgőz adszorpciós kísérleteket végeztem abból a célból, hogy megvizsgáljam, a térhálós polimerek (PAAm, PNIPAAm) milyen hasonló illetve eltérő tulajdonságokkal bírnak vékonyrétegekben a tömbi fázishoz képest. A T.5 tézispont 5.2. pontjában ismertetett eljárás során a polimerizáció következtében minden esetben csökkent az adszorbeált víz és etanol mennyisége. Ez azzal magyarázható, hogy míg monomer állapot esetén számos kötőhely áll rendelkezésre a víz- és etanol molekulák számára, addig a polimerek esetében a térháló kialakulásával sok kötőhely eltűnik az adszorptívum elől. Csak a ZnO_2/AAm és a ZnO_2/poli(AAm) hibridek etanol adszorpciójánál volt megfigyelhető a növekedés a polimerizált forma javára. A részlegesen hidrofil/hidrofób hibridek közel azonos mennyiségű vizet és etanolt kötöttek meg, valamivel több etanolt, míg jelentősen nagyobb mennyiségű vizet adszorbeáltak a dominánsan hidrofil vékonyrétegek. Az eredmények jó összhangban állnak a tömbi fázisban kapott adatokkal.

T7. Gőzök adszorpciójának kimutatása és jellemzése optikai módszerrel

A T.4 tézispontban ismertetett eljárás alkalmas rendezett vékonyrétegek optikai paramétereinek meghatározására N_2 vagy légszáraz atmoszférában. Ha azonban a rétegek olyan környezetbe kerülnek, amely tartalmazza víz vagy illékony szerves oldószerek gőzét, a filmek reflexió spektruma eltolódik a nagyobb hullámhosszak irányába, az adszorpció miatt bekövetkező törésmutató növekedés következtében. Ezt a jelenséget kihasználva fejlesztettem gőzök adszorpciójának kimutatására és jellemzésére alkalmas, optikai elven működő eszközt (szenzort).

7.1. Megállapítottam, hogy az elkészített ZnO_2/PSS hibrid vékonyrétegek reflexió spektruma a nagyobb hullámhosszak irányába tolódik, ha etilalkohol ill. víz gőzével telített atmoszférába helyezem. Az aktuális időpillanatban mért reflexió spektrumok és a *t=0* spektrum – pontonkénti – hányadosa („relatív reflexió") olyan görbék halmazát eredményezte, melyek szélsőértékeinek mind a helye, mind pedig az amplitúdója növekedett az idő múlásával. Ez utóbbi adja meg azt, hogy az adott hullámhosszon hányszorosára növekedik a visszavert fény intenzitása, azaz szenzor esetén mekkora jelnövekedés érhető el a kimutatandó anyag jelenlétében.



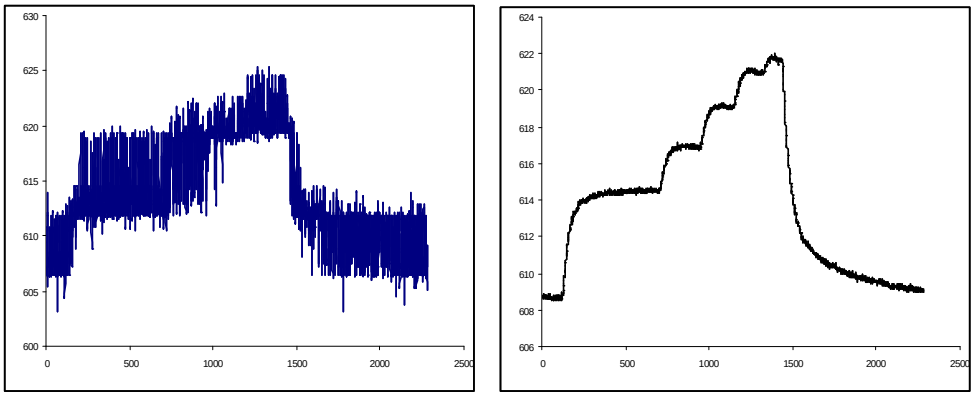
1. ábra *A relatív reflexió változása és az 585 nm hullámhosszon mért értékének növekedése az idő függvényében 20 kettősrétegű ZnO_2/PSS hibrid vékonyréteg esetén, vízgőz jelenlétében*

7.2. A 7.1. pontban ismertetett jelenség alapján négycsatornás áramló rendszerű gázszenzort fejlesztettem, melynek része egy fényforrás, egy hőmérsékletméréssel ellátott mintaadagoló

egység, egy gázkeverő rendszer (melyben a gőz(ök) és a nitrogén arányával változtatható a koncentráció), egy mintatartó- és mérőcella, valamint egy fotométer, mint detektor.

7.3. A rendszer alkalmas reflexió spektrumok másodpercenkénti rögzítésére, melynek során a spektrum valamely szélsőértékének eltolódásából ($\Delta\lambda$) törésmutató változást számít. A törésmutató változásokból következtettem az adszorpció mértékére.

7.4. A mérések sarkalatos pontja a szélsőérték keresése, mert a műszer zajszintje meghaladja azt az értéket, amennyi különbség lehet két szomszédos pixelen mért intenzitás érték között, ezért a szélsőérték keresés hamis eredményt adhat. A valódi szélsőérték megtalálásához polinom illesztést alkalmaztam. A cosinus-függvény Taylor-sorba való fejtésével egy 13 tagú sor másfél periódust teljes pontossággal lefed. Számomra elegendő egy periódus illesztése is, így kilencedfokú polinom illesztését végeztem el, ennek eredményeképpen kiváló hatásfokú simítást értem el, ezzel használható mérési adatokat nyertem.



2. ábra *Az eredeti görbéken meghatározott szélsőértékek (bal) és az illesztett görbék szélsőértékei (jobb) az idő függvényében*

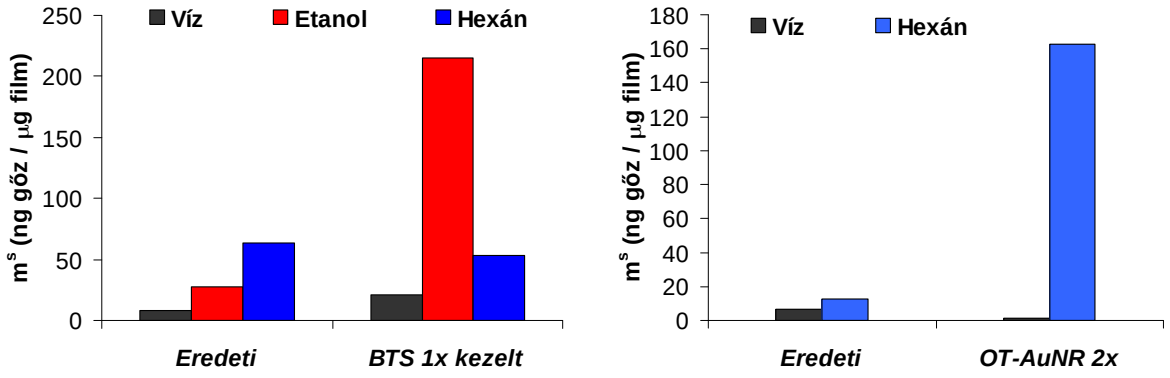
T8. Szelektivitás és hidrofobitás szabályozása felületmódosítással

Oktántiollal borított arany nanorészecskékkel és butiltriklórszilánnal módosítottam ZnO_2/PSS vékonyrétegek felületét, ezzel szabályoztam a vékonyrétegek specifikus érzékenységét ill. hidrofobitását.

8.1. A butiltriklórszilánnal való felületmódosítás során azt tapasztaltam, hogy a felület különösen szelektívvé vált etilalkohol gőzére, a fajlagos adszorbeált mennyiség a felületkezelés után közel kilencszerese volt az eredetinek. A vízgőz adszorpciója ezzel szemben alig háromszorosára nőtt, így ez a mennyiség közel tized része az adszorbeált etanol

mennyiségének a felületmódosított mintán. A hexán adszorpciója lényegesen nem változott a felületkezelés hatására.

8.2. Az oktántiollal borított arany nanorészecskékkel történő (második) kezelés hatására a vékonyréteg teljesen hidrofóbbá vált, a vízgőz adszorpciója közel ötöd részére csökkent, míg a hexáné háromszorosára nőtt, így összességében kimagasló érzékenységet, *28-szor nagyobb törésmutató változást tapasztaltam hexán adszorpció esetében, mint a vízgőz esetén.*



3. ábra *Eredeti és butiltriklórszilánnal (bal oldalon) ill. oktántiollal borított arany nanorészecskékkel (jobb oldalon) felületmódosított ZnO_2/PSS hibrid vékonyrétegeken mért törésmutató változások víz, etilalkohol és hexán adszorpció során p_r = 0.5 mellett*

Tudományos közlemények

Az értekezés témájához kapcsolódó tudományos dolgozatok

1. **Dániel Sebők**, László Janovák, Imre Dékány
Optical, structural and adsorption properties of zinc peroxide/hydrogel nanohybrid films
Applied Surface Science 256 (2010) 5349-5354

IF_{2010}: 1.793

2. **Dániel Sebők**, Tamás Szabó, Imre Dékány
Optical properties of zinc peroxide and zinc oxide multilayer nanohybrid films
Applied Surface Science 255 (2009) 6953-6962

IF_{2009}: 1.616

3. Edit Pál, **Dániel Sebők**, Viktória Hornok, Imre Dékány
Structural, optical, and adsorption properties of ZnO_2/poly(acrylic acid) hybrid thin porous films prepared by ionic strength controlled layer-by-layer method
Journal of Colloid and Interface Science 332 (2009) 173-182

IF_{2009}: 3.019

4. **Dániel Sebők**, Krisztina Szendrei, Tamás Szabó, Imre Dékány
Optical properties of zinc oxide ultrathin hybrid films on silicon wafer prepared by layer-by-layer method
Thin Solid Films 516 (2008) 3009-3014

IF_{2008}: 1.884

5. **Dániel Sebők**, Imre Dékány
Sensorial application of zinc peroxide ultrathin hybrid films with modified surfaces for detection of ethanol and n-hexane vapours
Nanotechnology: Sensing and actuating (közlésre beadva, 2012)

IF_{2010}: 3.652

ΣIF = 8.312
(11.964)

Az értekezés témájához részben vagy nem kapcsolódó tudományos dolgozatok

6. N. Ábrahám, **D. Sebők**, Sz. Papp, L. Kőrösi, I. Dékány
Two-dimensional arrangement of monodisperse ZnO particles with Langmuir–Blodgett technique
Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Eng. Aspects 384 (2011) 80-89

IF_{2010}: 2.130

7. Edit Pál, Viktória Hornok, **Dániel Sebők**, Andrea Majzik, Imre Dékány
Optical and structural properties of protein/gold hybrid bio-nanofilms prepared by layer-by-layer method
Colloids and Surfaces B: Biointerfaces 79 (2010) 276-283

IF_{2010}: 2.780

8. Cs. Vass, **D. Sebők**, B. Hopp
Comparing study of subpicosecond and nanosecond wet etching of fused silica
Applied Surface Science 252 (2006) 4768-4772

IF_{2006}: 1.436

Összesített hatástényező: 14.658
(18.31)

Konferencia részvételek

Előadások

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 International Conference on Surface and Colloid Science (IACIS), Peking, 2006. október 15-20., p. 22

2. I. Dékány, E. Pál, V. Hornok, T. Aradi, **D. Sebők**
Nanostructured ultrathin hybrid layers prepared by LBL method
COST D43 Meeting, Cracow, Poland, 2007. március 18-21.

3. Dániel Sebők, Krisztina Szendrei and Imre Dékány
Changing of optical properties of $Zn(OH)_2$ / polymer nanofilms prepared by LbL method under various ethanol vapor pressure
9th Conference on Colloid Chemistry, 2007. október 3-5., Siófok, p. 62.

4. Daniel Sebők, Edit Pál**,** Robert Kun, Tamas Szabó, Judit Ménesi, Andrea Majzik, Viktoria Hornok, Imre Dékány
Functional and reactive surfaces prepared by layer-by-layer assembly of nanohybrid materials
22nd ECIS Conference and Workshop of Cost action D 43, 2008. augusztus 31- szeptember 05., Cracow, Poland, p. 58.

5. Sebők Dániel, Janovák László, Dékány Imre
In situ fotopolimerizációval előállított cink-peroxid / hidrogél hibrid vékonyrétegek optikai és adszorpciós tulajdonságainak vizsgálata
VII. Országos Anyagtud. Konferencia, Balatonkenese, 2009. október 11-13.

6. Dániel Sebők, Laszló Janovák and Imre Dékány
Optical and adsorption properties and sensorial application of thin films containing ZnO and ZnO_2
2011. október 24., Kairó, Egyiptom

7. Imre Dékány, Tamás Szabó, Viktória Hornok and **Dániel Sebők**
Self-assembled nanohybrid thin films prepared from inorganic colloids, polyelectrolytes and proteins
Beyond Self-Assembly, 2012. január 22-25., Bad Gastein, Ausztria

Poszterek

1. Dániel Sebők, Krisztina Szendrei and Imre Dékány
Changing of optical properties of $Zn(OH)_2$ nanoparticles / layer silicate nanofilms prepared by LBL method under ethanol vapour
20th Conference of the European Colloid and Interface Society and 18th European Chemistry at Interfaces Conference (ECIS-ECIC), Budapest, 2006. szeptember 17-22., p. 397

2. Krisztina Szendrei, **Dániel Sebők**, Tamás Szabó, and Imre Dékány
Optical Properties of ZnO nanoparticles in ultrathin films prepared by LBL method.
20th Conference of the European Colloid and Interface Society and 18th European Chemistry at Interfaces Conference (ECIS-ECIC), Budapest, 2006. szeptember 17-22., p. 399

3. É. Bazsó, J. Ménesi, **D. Sebők**, N. Buzás, L. Reich, and I. Dékány
Photocatalytic destruction of methylene blue and sudan red dyes in TiO_2 suspensions and films
20th Conference of the European Colloid and Interface Society and 18th European Chemistry at Interfaces Conference (ECIS-ECIC), Budapest, 2006.

4. Sebők Dániel, Patzkó Ágnes, Fodor Krisztina, Erdőhelyi András, Dékány Imre
A metán adszorpciós tárolása
Szeged, Ipari Kapcsolatok Napja, 2006.

5. E. Pál, **D. Sebők**, R. Kun, V. Hornok**,** A. Majzik, I. Dékány
Layer-by-layer self-assembly of organic/inorganic colloids
Gordon Conference, Italy, 2007

6. A. Majzik, R. Patakfalvi, E. Pál, **D. Sebők**, I. Dékány
Surface functionalization and self-assembly of metal oxide and gold colloids
21th ECIS Conference, 2007. szeptember 10-15., Geneve, Switzerland

7. D. Sebők, L. Janovák, E. Pál, I. Dékány
Adsorption and reflection properties of functional hybrid nanofilms
22nd ECIS Conference and Workshop of Cost action D 43, 2008. augusztus 31- szeptember 05., Cracow, Poland, p. 606.

8. Edit Pál, **Dániel Sebők**, László Janovák, Imre Dékány
Self-assembled hybrid nanostuctured films
Workshop of Cost action D 43 „Functionalizes materials and Interfaces”,
2008. április 2-4., Berlin, Germany

9. Edit Csapó, **Dániel Sebők** and Imre Dékány
Detection of gases/vapours and proteins on the surface of functionalized gold nanoparticles and thin layers
ISIRR 2010, Szeged

10. Edit Csapó, **Dániel Sebők,** Viktória Hornok and Imre Dékány
Detection of gases/vapours and proteins on the surface of functionalized gold nanoparticles and thin layers
Euronanoforum 2011, 2011. május 30 – június 1., Budapest

11. D. Sebők, E. Csapó, J. Homola, I. Dékány
Immobilization of amino acids and proteins on pure and modified gold surface using Surface Plasmon Resonance (SPR) technique
25nd ECIS Conference, 2011. szeptember 4-9., Berlin, Németország

Társszerzői lemondó nyilatkozat

Alulírott nyilatkozom, hogy a jelölt téziseit ismerem, a tézisekben foglalt tudományos eredményeket fokozat megszerzéséhez nem használtam fel és azokat ilyen célból a jövőben sem fogom.

.....
Dr. Pál Edit
(Folyóiratban: 3)

.....
Prof. Dr. Dékány Imre
(Folyóiratban: 3)

.....
Hornok Viktória
(Folyóiratban: 3)