

Doktori (Ph.D.) értekezés tézisei

**Cink-oxid nanorészecskék és hibrid vékonyrétegek optikai, szerkezeti és
fényelektromos tulajdonságai**

Kunné Pál Edit

Témavezető: Dr. Dékány Imre

Tanszékvezető egyetemi tanár, az MTA rendes tagja

Kémia Doktori Iskola
Szegedi Tudományegyetem
Kolloidkémiai Tanszék

2009

Bevezetés, célkitűzések

A nanoszerkezetű anyagokkal kapcsolatos kutatási eredményeket és az azokból származó innovációs technológiákat számos tudományterületen ma már a gyakorlatban is alkalmazzák. A kutatások egyik fontos célja nanodiszperz rendszerek tervezése és szabályozása az 1-100 nm-es mérettartományban, mellyel a tömbi fázisú anyagokhoz képest új tulajdonságok és felhasználási lehetőségek adódnak. Kolloidkémiai módszerek alkalmazásával lehetőségünk nyílik e szabályozott méretű, alakú, nagy fajlagos felülettel és eltérő kristályossági fokkal rendelkező nanorészecskék előállítására.

A nanorészecskék közül kitüntetett figyelmet érdemelnek a félvezető tulajdonsággal rendelkező fém-oxid nanorészecskék, mint például a cink-oxid. Az előállítás módjától függően különböző morfológiájú félvezető nanorészecskék előállítására van lehetőség, melyek más és más optikai, elektromos és katalitikus tulajdonságokkal rendelkeznek. Ezen rendkívüli tulajdonságainak köszönhetően a cink-oxid hatékonyan alkalmazható gáz/gőz szenzorként, katalizátorként, antireflexiós bevonatok alapanyagaként, illetve a napenergia közvetlen elektromos energiává történő átalakítására alkalmas berendezések, azaz napelemek alapanyagaként.

Kutatásaim egyik fontos célja az volt, hogy újszerű fotoemissziós és szerkezeti tulajdonságokkal rendelkező, szabályozott méretű cink-oxid és indiumionnal adalékolt cink-oxid nanorészecskéket állítsak elő szerves közegben. A részecskék felületi elektromos, optikai és szerkezeti tulajdonságait a cinkion koncentrációval és a cink-oxid rács különböző mértékű indiumionnal való adalékolásával szándékoztam befolyásolni.

Vizes közegben, hidrotermális eljárással különböző morfológiájú (virág és prizma alakú) cink-oxid és indiumionnal adalékolt cink-oxid részecskéket állítottam elő. Ezen kísérletsorozat célja a részecskék emissziós tulajdonságainak a részecskék morfológiájától és indiumion tartalmától való függésének bemutatása.

A kolloid diszperz rendszerek ismeretén alapuló előállítási módok mellett értekezésem második részében a kvázi kétdimenziós szerkezetek létrehozásával kapcsolatos eredményeimet mutatom be. Az önrendező vékonyrétegek előállítása során először - a micelláris rendszerek kolloidkémiai viselkedését kihasználva- szilárd hordozó felületén hexagonálisan rendezett nanomintázatokat hoztam létre diblokk-kopolimer micelláris rendszerek segítségével, majd elvégeztem azok morfológiai és szerkezetvizsgálatát.

Mivel a kolloid diszperziókban ismert a nanorészecskék és a polielektrolitok között kialakuló kölcsönhatások természete, és a kialakuló rendszerek szerkezete, ezért következő

céломnak tekintetem, hogy rámutassak, milyen kétdimenziós önszerveződő szerkezetek alakulnak ki– néhány száz nm-es rétegvastagság tartományban-, ha ugyanazokat a paramétereket (polielektrolit oldat elektrolit tartalma, pH-ja) változtatjuk, mint a tömbfázisú rendszerekben. Önrendeződéses technikával különböző NaCl-tartalmú és különböző pH-jú polielektrolit-oldatok felhasználásával ZnO₂/polielektrolit hibrid vékonyrétegeket állítottam elő és meghatároztam optikai, szerkezeti és vígőz adszorpciós tulajdonságaikat.

Rádiófrekvenciás katódporlasztásos technikával szabályozott szerkezetű ZnO/polielektrolit vékonyrétegeket állítottam elő, majd vizsgáltam azok optikai, szerkezeti és vígőz adszorpciós tulajdonságait.

A cink-oxid rétegek megújuló energia technológiában való gyakorlati felhasználásának bemutatásaként porlasztásos pirolízissel ZnO/In₂S₃/CuInS₂ napelemeket állítottam elő, majd meghatároztam optikai, szerkezeti és fényelektromos tulajdonságaikat.

Kísérleti anyagok és módszerek

Kísérleti anyagok

A ZnO és az indiumionnal adalékolt ZnO részecskéket kétféle módszerrel, dimetil-szulfidban homogén nukleációval, illetve vizes közegű diszperziókban L-hisztidin jelenlétében hidrotermális eljárással állítottam elő. Az előállítások során a cinkionok koncentrációját és/vagy az indiumion/cinkion arányt változtattam.

Szilícium-hordozó felületén hexagonálisan rendezett nanorészecskéket poli(sztírol)-b-poli(2-vinil-piridin) (PS₁₃₅₀-b-P2VP₄₀₀) diblokk-kopolimer micellák segítségével toluolos közegből állítottam elő bemeztési technikát alkalmazva. A nanomintázatok előállítása során a micella magban levő prekursor ionok minőségét (cink-acetát dihidrát és cink-nitrát hexahidrát) és mennyiségét változtattam.

A ZnO₂/poli(akrilsav) üvegfelületen rögzített vékonyrétegeit önrendeződéses, bemeztési (LbL, layer by layer self assembly) módszerrel állítottam elő, különböző NaCl-tartalmú ($c_{\text{NaCl}}=0-0,1 \text{ mol/dm}^3$) és pH-jú (pH=5, 6) poli(akrilsav) oldatok alkalmazásával.

Rádiófrekvenciás katódporlasztással különböző rétegszámú (n=5, 10, 20) ZnO/pol(akrilsav) vékonyrétegeket állítottam elő. A ZnO prekursoraként cink-peroxidot alkalmaztam.

A ZnO, In₂S₃ és CuInS₂ rétegekből felépülő napelemeket porlasztásos pirolízissel állítottam elő. Az előállítás során az In₂S₃ puffer réteg vastagságát változtattam.

A kísérletekhez felhasznált vegyszerek analitikai, illetve reagens tisztaságúak voltak.

Vizsgálati módszerek

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

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

Bizonyos minták termoanalitikai vizsgálata során termogravimetriás (TG) és differenciál pásztázó kalorimetriás (DSC) mérés technikákat alkalmaztam.

Alacsony hőmérsékletű ($T = 77 \text{ K}$) nitrogén adszorpciós technikával a hidrotermális módszerrel előállított ZnO és indiumionnal adalékolt ZnO minták fajlagos felületére és porozitására jellemző adatokat határoztam meg.

A ZnO és az indiumionnal adalékolt ZnO részecskék felületi összetételének meghatározásához röntgenfotoelektron spektroszkópiát (XPS) és energia diszperzív röntgen spektroszkópiát (EDX) alkalmaztam.

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

Bizonyos minták esetében az átlagos részecskeméretet dinamikus fényszórás méréssel (DLS) határoztam meg.

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

A különböző pH-jú és NaCl-tartalmú polielektrolit-oldatok relatív viszkozitását $25 \pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ -on kapilláris viszkoziméterrel határoztam meg.

Az önrendeződéses technikával előállított vékonyrétegek épülésének követését, illetve a filmek vízgőz adszorpciós tulajdonságainak meghatározását kvarckristály mikromérleggel (QCM) $25 \pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ -on végeztem.

A ZnO és az indiumionnal adalékolt minták fényelektromos tulajdonságainak meghatározásához egymásba fogazott fésűelektródokat használtam.

Új tudományos eredmények tézisszerű összefoglalása

T1. A cinkion koncentráció és az $\text{In}^{3+}/\text{Zn}^{2+}$ arány befolyása az indiumionnal adalékolt ZnO nanorészecskék méretére, optikai tulajdonságaira

1.a A cinkion koncentráció és az $\text{In}^{3+}/\text{Zn}^{2+}$ arány befolyása az indiumionnal adalékolt ZnO nanorészecskék méretére és az aggregátumok szerkezetére

A TEM és DLS mérések eredményei bebizonyították, hogy a cinkion koncentrációja és a részecskék indiumion tartalma befolyásolja a részecskék primer méretét, illetve a primer részecskék által alkotott aggregátumok méretét. Minden koncentráció sorozaton belül megfigyelhető, hogy az $\text{In}^{3+}/\text{Zn}^{2+}$ arány növekedésével a részecskék primer mérete csökken, ami az indiumionok stabilizáló hatásának következménye. Megállapítható, hogy a rendszer tökéletesen modellezi a kolloidkémia egyik alapszabályát, a Weimarn-szabályt. Kis cinkion koncentrációk (0,01 és 0,025 mol/dm³) esetén a keletkező gócok akadálytalan növekedése nagyobb primer részecskemérettel rendelkező részecskék és kisebb méretű aggregátumok kialakulását eredményezi. A cinkion koncentrációt növelve (0,05 és 0,1 mol/dm³) azonban a nagyszámú góc gátolja egymás növekedését, ami kisebb primer méretű részecskék és nagyobb méretű aggregátumok kialakulását eredményezi.

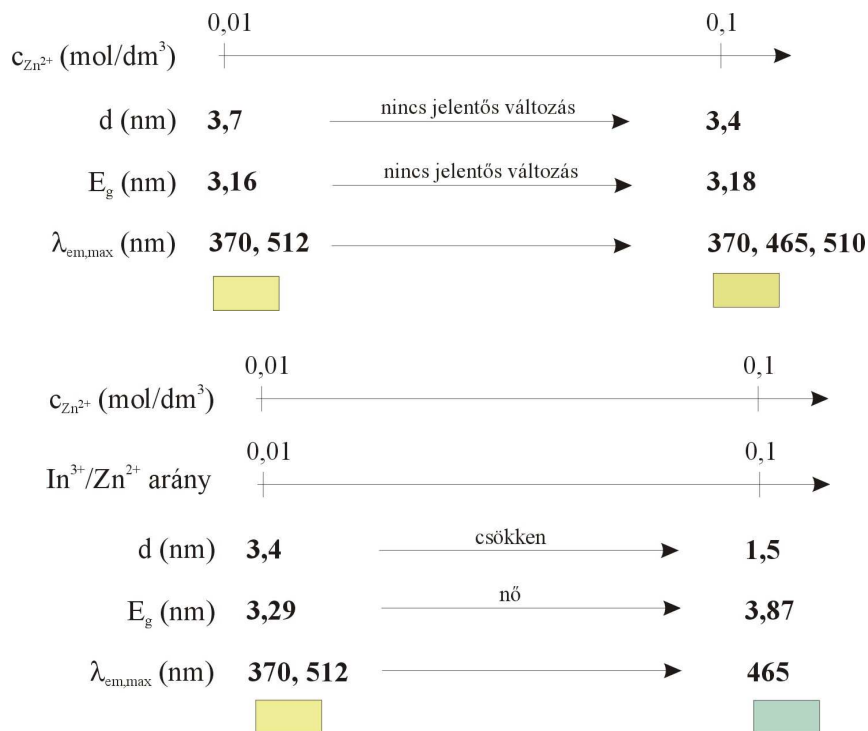
1.b A cinkion koncentráció és az $\text{In}^{3+}/\text{Zn}^{2+}$ arány hatása az indiumionnal adalékolt ZnO nanorészecskék gerjesztési küszöbenergiájára

Az UV-látható abszorpciós mérések eredményei alapján megállapítható, hogy egy adott koncentrációsorozaton belül az indiumion tartalommal, illetve egy adott indiumion tartalomnál a növekvő cinkion koncentrációval a részecskék gerjesztési küszöbenergiája nő. A gerjesztési küszöbenergia növekedésének magyarázata egyrészt a részecskék primer méretének csökkenése, másrészt az indiumionok jelenléte a kristályrácsban, amit röntgendiffrakciós és termoanalitikai módszerekkel igazoltam.

1.c A cinkion koncentráció és az $\text{In}^{3+}/\text{Zn}^{2+}$ arány hatása az indiumionnal adalékolt ZnO nanorészecskék fotoemissziós tulajdonságaira

A minták emissziós tulajdonságait vizsgálva megállapítottam, hogy az indiumionnal adalékolt ZnO nanorészecskék újszerű emissziós tulajdonsággal rendelkeznek, mivel emissziós spektrumukban egy új, 465 nm-es maximummal rendelkező csúcs jelenik meg,

melynek intenzitása a minták indiumion tartalmával növekszik. Ezen új emisszió megjelenése, illetve intenzitásának növekedése a rácsközi cinkionok jelenlétével, illetve koncentrációjuk növekedésével magyarázható, melyet az indiumionok rácsba történő beépülése okoz.



A részecskeméret, a gerjesztési küszöbenergia és az emissziós maximumok változása a cinkion koncentrációval és az In^{3+}/Zn^{2+} aránnyal

T2. Komplexképződés által szabályozott ZnO és indiumionnal adalékolt ZnO részecskék kolloidkémiai sajátosságaival kapcsolatos megállapítások

2.a Az In^{3+}/Zn^{2+} arány hatása az indiumionnal adalékolt ZnO részecskék morfológiájára és szerkezetére

A különböző morfológiával (virág és prizma alak) rendelkező részecskék morfológiai (TEM, SEM) és felületkémiai (XPS, EDX) vizsgálati eredményei bebizonyították, hogy az indiumionnal adalékolt minták morfológiája torzul az adalékolatlan ZnO részecskék morfológiájához képest, illetve az indiumionok feldúsulnak a részecskék felületén, eloszlásuk nem homogén. Az eloszlás inhomogenitásának magyarázata az indiumionoknak kristályok felületén kialakuló hibahelyeken történő specifikus adszorpciója.

2.b Az In^{3+}/Zn^{2+} arány hatása az indiumionnal adalékolt ZnO részecskék gerjesztési küszöbenergiája

A különböző morfológiájú sorozatok UV-diffúz reflexiós spektrumainak vörös eltolódása figyelhető meg az In^{3+}/Zn^{2+} arány növelésének hatására, amely a gerjesztés küszöbenergia csökkenését jelzi. A gerjesztési küszöbenergia csökkenést magyarázata az, hogy az indiumionok ZnO rácsba történő beépülésének köszönhetően egy új donor energianívó jelent meg a ZnO vegyérték sávjában.

2.c Az In^{3+}/Zn^{2+} arány hatása az indiumionnal adalékolt ZnO részecskék emissziós tulajdonságaira

A minták fotoemissziós tulajdonságait vizsgálva megállapítottam, hogy a minták fotolumineszcenciás sajátosága függ a részecskék morfológiájától és a minták indiumion tartalmától. A virág alakú sorozat ZnO tagjának emissziós spektrumában egy széles emissziós sáv jelenik meg a zöld-sárga tartományban ($\lambda_{max}=565$ nm), míg a prizma alakú ZnO minta a zöld tartományban ($\lambda_{max}=509$ nm) emittál. Ezen maximumok a minták indiumion tartalmának növekedésével a kisebb hullámhosszak felé tolódnak el, miközben jelentős intenzitásnövekedés következik be. A csúcsok eltolódásának oka a V_o^+ hibahelyek eltérő kémiai környezete, melyet az indiumionok ZnO rácsba történő beépülése okoz, míg az intenzitásnövekedés a V_o^+ hibahelyek koncentrációjának növekedésével magyarázható.

T3. Felületi nanostruktúrált mintázatok készítése diblokk-kopolimer micellák alkalmazásával

3.a A micella magban levő prekursor ionok koncentrációjának befolyása a micella magok méretére

Az AFM vizsgálatok eredményei alátámasztották, hogy a cink sóval töltött PS_{1350} -b- $P2VP_{400}$ micellák oldatából szilícium hordozó felületén bemerítéses technikával létrehozott monorétegben a micellák hexagonálisan helyezkednek el. A micella magok átlagos távolsága kb. 98 nm, amely nem változik jelentősen sem a cink prekursor minőségének, sem pedig koncentrációjának változtatásával. Ebből megállapítható, hogy nanomintázatok szerkezete alapvetően a diblokk-kopolimer kémiai szerkezetével, nem pedig a prekursor koncentrációval szabályozható. Azt is megállapítottam, hogy a micellák átlagos magassága kismértékű

növekedést mutat a töltésarány (cinkion/piridin egység arány) növelésének hatására, illetve megfigyelhető, hogy cink-nitrát alkalmazása esetén magasabb micella magok alakulnak ki, mint cink-acetát prekursor alkalmazása esetén. Ennek oka lehet a nitrát só nagyobb kristályvíz tartalma, ami nagyobb mértékben képes duzzasztani a micella magját.

3.b A micella magban levő cinkionok koncentrációjának befolyása a részecskék méretére

A nanomintázatok AFM vizsgálata során megállapítottam, hogy a cink-nitrát prekursor esetén a részecskék a maximális magasságot ($3,5 \pm 0,5$ nm) 0,3-es töltésarány esetén érik el. A cink-acetátból előállított részecskék kisebb átlagos magassággal rendelkeznek, amely a micella magban levő cinkionok koncentrációjától függetlenül 0,9 és 1,8 nm között változik. A részecskék röntgendiffraktogramjaiból a Scherrer-egyenlet segítségével meghatározott krisztallitméretek a prekursor koncentrációtól függetlenül mindkét prekursor esetén 17-25 nm között változnak. Ebből arra következtettem, hogy a részecskék nem félgömb, hanem lencse alakúak, hiszen magasságuk sokkal kisebb, mint átmérőjük. Ezen morfológia annak köszönhető, hogy a plazmakezelés során a hordozó felülete és a részecske között fellépő adhéziós erők, illetve határfelületi feszültség torzíthatja az eredeti félgömb alakot.

3.c A részecskék kémiai összetételére vonatkozó megállapítások

A kísérletek célja hexagonálisan rendezett ZnO részecskék előállítása volt, azonban a részecskék szerkezetvizsgálata során (XPS, XRD) bebizonyosodott, hogy mindkét cink só elreagált a szilícium hordozó felületi oxidrétegével, mely során cink-szilikát nanorészecskék keletkeztek cink-oxid nanorészecskék helyett. A cink-szilikát nanorészecskék keletkezése a micellák magjában levő nyomnyi mennyiségű víz jelenlétével magyarázható.

T4. Az önrendeződéses technikával előállított ZnO₂/poli(akrilsav) hibrid nanofilmek optikai, morfológia és adszorpció tulajdonságai

4.a A poli(akrilsav) konformációjának szabályozó hatása a ZnO₂/poli(akrilsav) filmek optikai és morfológiai tulajdonságaira

A ZnO₂ nanorészecskékből és poli(akrilsav) polielektrolitból- különböző pH-jú és NaCl-tartalmú poli(akrilsav)-oldatok alkalmazásával-, önrendeződéses technikával létrehozott vékonyrétegek felépülését különböző módszerekkel (UV-látható abszorbancia, reflexió,

AFM, QCM) nyomon követve megállapítottam, hogy az alkalmazott pH-tartományban a filmek épülése független a pH-tól, a filmek épülése lineáris és a poli(akrilsav)-oldatok elektrolit tartalmával nő a filmek vastagsága. A filmek rétegvastagságának a poli(akrilsav) oldatok elektrolit tartalmától való függésének magyarázata az, hogy az elektrolit mentes oldatban ($c_{\text{NaCl}}=0 \text{ mol/dm}^3$) a poli(akrilsav) láncok töltése nagyobb ($\zeta = -19,2 \text{ mV}$), ezért nyújtott állapotban vannak, ami vékonyabb réteg kialakulását eredményezi. Ha a polielektrolit oldat hozzáadott elektrolitot tartalmaz, a poli(akrilsav) láncok az ellenionok árnyékoló hatása miatt összegombolyodnak ($\zeta = -4,8 \text{ mV}$), csökken a felülethez közvetlenül kapcsolódó szegmensek száma, nő a hurkok és a láncvégek hossza, ami által egy vastagabb polielektrolit réteg alakul ki a felületen. A filmek felületének AFM vizsgálatával bebizonyosodott továbbá, hogy a poli(akrilsav)-oldat elektrolit tartalmának növekedésével érdekesebbé válik a filmek felülete, ami szintén a polielektrolit aggregált szerkezetére utal.

4.b A poli(akrilsav)-oldat elektrolit tartalmának befolyása a ZnO_2 /poli(akrilsav) filmek vízgőz adszorpciós tulajdonságaira

A pH=5 sorozathoz tartozó 10 és 20 réteges, $c_{\text{NaCl}} = 0 \text{ mol/dm}^3$ és $0,05 \text{ mol/dm}^3$ jelű, QCM kristály felületére és üveghordozóra épített önrendeződő ZnO_2 /poli(akrilsav) filmek vízgőz adszorpciós tulajdonságait QCM és UV-látható reflexiós mérésekkel határoztam meg. A QCM mérések során meghatározott adszorpciós izotermákon adszorpciós hiszterézis jelenik meg, ami egyértelműen bizonyítja a filmek pórusos szerkezetét. A filmek pórusméret eloszlásából megállapítottam, hogy az elektrolitot nem tartalmazó poli(akrilsav)-oldatból épített filmek 5-8 nm-es pórusátmérővel rendelkező pórusokat, míg az elektrolitot tartalmazó ($c_{\text{NaCl}}=0,05 \text{ mol/dm}^3$) poli(akrilsav)-oldatból épített filmek több kisebb méretű ($d=3-6 \text{ nm}$) pórust tartalmaznak. Továbbá megállapítottam, hogy a filmek monomolekulás borítottsága, fajlagos felülete, porozitása nő a poli(akrilsav)-oldat elektrolit tartalmával. A filmek vízgőz adszorpciójának követésére alkalmas módszernek bizonyult a filmek UV-látható reflexiójának mérése, hiszen az adszorpció során a filmek reflexiós spektrumai eltolódnak. Ez az eltolódás a vízgőz relatív nyomásának változásával egyre jelentősebb. A spektrumok eltolódásának oka a film effektív törésmutatójának növekedése. Mivel az adszorpció során a film optikai választ ad, a ZnO_2 /poli(akrilsav) filmek alkalmasak lehetnek optikai szenzorként való alkalmazásra.

T5. Rádiófrekvenciás katódporlasztásos technikával előállított ZnO/poli(akrilsav) filmek optikai és szerkezeti tulajdonságai

5.a A ZnO/poli(akrilsav) filmek gerjesztési küszöbenergiája

A különböző rétegszámú ($n=5, 10, 20$) ZnO/poli(akrilsav) filmek gerjesztési küszöbenergiáinak a Tauc-módszer segítségével történő meghatározása során azt tapasztaltam, hogy filmek gerjesztési küszöbenergiája csökken a filmek rétegvastagságával (az 5, 10 és 20 réteges filmekre rendre 3,40 eV, 3,39 eV és 3,36 eV), amely a ZnO részecskék méretének növekedésével magyarázható.

5.b A ZnO/poli(akrilsav) filmek fotoemissziós tulajdonságai

A filmek fluoreszcencia tulajdonságait vizsgálva megállapítottam, hogy a filmekben a ZnO rétegek a fény látható tartományában emissziós tulajdonsággal rendelkeznek. Az 5 réteges film spektrumában egy vörös emissziós csúcs jelenik ($\lambda_{\max}=669$ nm), amely a rétegszám növekedésével a nagyobb energiák felé tolódik el- a 10 réteges film spektrumában a zöld-sárga tartományban ($\lambda_{\max}=575$ nm), a 20 réteges film esetén a zöld tartományban ($\lambda_{\max}=531$ nm) jelenik meg-, miközben intenzitása jelentősen lecsökken. Az eltolódás a filmképzés során bekövetkező kb. 120 °C-on történő, az egyes rétegszámok esetén különböző ideig tartó hőkezeléssel, azaz az öregedéssel magyarázható, amely során átalakul a ZnO kristályszerkezete. A kristályszerkezet átalakulása során megváltozik a ZnO kristályrácsában a látható emisszió kialakulásáért felelős hibahelyek (Zn_i és V_o^+) minősége és mennyisége. Az intenzitás csökkenés a hibahelyek koncentrációjának csökkenésének következménye.

5.c A ZnO/poli(akrilsav) filmek szerkezete

A ZnO/poli(akrilsav) filmek keresztmetszeti SEM felvételei egyértelműen bebizonyították, hogy a filmek valóban réteges szerkezetűek. A filmek kb. 60 nm vastag ZnO és kb. 30 nm vastag poli(akrilsav) rétegekből épülnek fel. A felvételek alapján meghatároztam a filmek rétegvastagságát (az 5, 10 és 20 réteges filmekre rendre 430 nm, 640 nm, és 1450 nm), melyek jó egyezést mutatnak a reflexiós spektrumokból meghatározott értékkel (az 5, 10 és 20 réteges filmekre rendre 423 nm, 622 nm és 1426 nm).

5.d A ZnO/poli(akrilsav) filmek vízgőz adszorpciós tulajdonságaira vonatkozó megállapítások

A filmek vízgőz adszorpciós tulajdonságainak meghatározása során bebizonyítottam, hogy az ezen kísérleti körülmények között katódporlasztásos technikával előállított filmek szerkezete tömör, nem tartalmaznak pórusokat. Ezért nem képesek jelentős mennyiségű vízgőz megkötésére, vagyis az önrendeződes technikával előállított ZnO₂/PAA filmekkel ellentétben interferencia elven működő optikai szenzorként való alkalmazásuk nem lehetséges.

T6. A ZnO/In₂S₃/CuInS₂ napelemek fényelektromos tulajdonságai

A napelemek fényelektromos tulajdonságainak jellemzése során megállapítottam, hogy a puffer réteg (In₂S₃) vastagsága (0,45 μm és 0,91 μm) jelentősen befolyásolja a napelemek fényelektromos tulajdonságait. A rövidzárási áram és a kapocsfeszültség közel kétszeresére, a maximális teljesítmény és a hatásfok pedig közel háromszorosára nő kétszeres puffer réteg vastagságát esetén. Ennek az a magyarázata, hogy a vastagabb puffer réteg egy jobb p-n átmenet alakít ki, ami által a puffer réteg jobban hozzá tud járulni az áramtermeléshez.

Tudományos közlemények

Az értekezés témájában megjelent tudományos dolgozatok

1. **Edít Pál**, Imre Dékány

Structural, optical and photoelectric properties of indium-doped zinc oxide nanoparticles prepared in dimethyl sulphoxide

Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 318(2008) 141-150

IF₂₀₀₇: 1,601

2. **Edít Pál**, Albert Oszkó, Petra Mela, Martin Möller, Imre Dékány

Preparation of hexagonally aligned inorganic nanoparticles from diblock copolymer micellar systems

Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 331 (2008) 213-219

IF₂₀₀₇: 1,601

3. **Edít Pál**, Torben Seemann, Volker Zöllmer, Matthias Busse, Imre Dékány

Hybrid ZnO/polymer thin films prepared by RF magnetron sputtering

Colloid and Polymer Science, nyomtatásban

IF₂₀₀₇: 1,62

4. **Edít Pál**, Dániel Sebők, Viktória Hornok, Imre Dékány

Structural, optical and adsorption properties of ZnO₂/poly(acrylic acid) hybrid thin porous films prepared by ionic strength controlled layer-by-layer method

Journal of Colloid and Interface Science, nyomtatásban

IF₂₀₀₇: 2,309

5. **Edit Pál**, Viktória Hornok, Albert Oszkó, Imre Dékány
Hydrothermal synthesis of prism-like and flower-like ZnO and indium-doped ZnO structures
Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, közlésre elfogadva
IF₂₀₀₇: 1,601

Az értekezés témájához nem kapcsolódó tudományos dolgozatok

6. Szilágyi István, **Pál Edit**, Horváth László, Labádi Imre
Az N-hidroxietil-glicin kölcsönhatása fémionokkal
Magyar Kémiai Folyóirat, 2 (2005) 83-87

IF: -

7. Labadi I, **Pal E**, Tudose R, Costisor O
Thermal behaviour of complexes antipyrine derivatives – part III.
Journal of Thermal Analysis and Calorimetry 83 (2006) 681-686

IF₂₀₀₆: 1,438

Összesített hatástényező: 10,17

Konferencia részvételek (előadások, poszterek)

1. **E. Pál**, V. Hornok, I. Dékány
Investigation of fluorescent CdS, ZnO, and Cd doped ZnO nanolayers prepared by LBL method

20th Conference of the European Colloid and Interface Society and 18th European Chemistry at Interfaces Conference, 2006. szeptember 17-22, Budapest, Magyarország, (poszter)
Előadás összefoglaló: 391. o.

2. **E. Pál**, K. Szabó, R. Kun, I. Dékány
Adsorption and photocatalytic degradation of acridin orange on TiO₂/layer silicate nanocomposites

20th Conference of the European Colloid and Interface Society and 18th European Chemistry at Interfaces Conference, 2006. szeptember 17-22, Budapest, Magyarország, (poszter)
Előadás összefoglaló: 422. o.

3. **E. Pál**, V. Hornok, I. Dékány
Investigation of fluorescent ZnO and CdS /polymer and Cd doped ZnO/polymer hybrid nanolayers and their photocatalytic activity

12th IACIS International Conference on Surface and Colloid Science, 2006. október 15-20, Peking, Kína, (poszter), Előadás összefoglaló:125. o.

4. I. Dékány, R. Kun, **E. Pál**, L. Körösi, 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, 2006. október 15-20, Peking, Kína, (előadás), Előadás összefoglaló: 22. o.

5. Imre Dékány, Rita Patakfalvi, **Edit Pál**
Preparation, stabilization and rheological properties of CdS, ZnS and silver nanodispersion
2nd Vienna International Conference, Micro- and nano Technology, 2007. március 14-16, Bécs, Ausztria, (előadás), Előadás összefoglaló: 181-185 o.

6. I. Dékány, **E. Pál**, V. Hornok, T. Aradi, D. Sebők
Nanostructured ultrathin hybrid layers prepared by LBL method.
COST D43 Meeting, 2007. március 18-21, Krakko, Lengyelország, (előadás)
7. A. Majzik, R. Patakfalvi, **E. Pál**, D. Sebők, I. Dékány
Surface functionalisation and self-assembly of metal oxide and gold colloids
21th ECIS Conference, 2007. szeptember 10-15. Genf, Svájc, (poszter), Előadás
összefoglaló:330. o.
8. **Edit Pál**, Imre Dékány
Preparation and investigation of In³⁺-doped ZnO fluorescent nanoparticles
9th Conference on Colloid Chemistry, 2007. október 3-5, Siófok, Magyarország, (előadás),
Előadás összefoglaló: 22. o.
9. **Edit Pál**, Dániel Sebők, László Janovák, Imre Dékány
Self-assembled hybrid nanostructured films
Workshop of Cost action D 43 „Functionalizes materials and Interfaces”, 2008. április 2-4,
Berlin, Németország (poszter)
10. **E. Pál**, A. Oszkó, P. Mela, M. Möller, I. Dékány
Preparation of hexagonally aligned inorganic nanoparticles from diblock-copolymer micellar systems
22nd ECIS Conference and Workshop of Cost action D 43, 2008. augusztus 31-szeptember
05, Krakko, Lengyelország, (poszter), Előadás összefoglaló: 595. o.
11. 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, Krakko, Lengyelország, (előadás), Előadás összefoglaló: 606. o.
12. Dániel Sebők, **Edit Pál**, Róbert Kun, Tamás Szabó, Judit Ménesi, Andrea Majzik,
Viktória 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, Krakko, Lengyelország, (poszter), Előadás összefoglaló: 58. o.