

Ph.D. értekezés tézisei

Deák András

**Nanorészecskés Langmuir- és Langmuir-
Blodgett-filmek: előállítás és jellemzés**

Témavezető: Dr. Hórvölgyi Zoltán
Konzulens: Dr. Hild Erzsébet

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Fizikai Kémia és Anyagtudományi Tanszék
2007

Bevezető

A nanorészecskék felhasználása reneszánszát éli. A klasszikus kolloidkémiai iparok mellett számos nanotechnológiai eljárás megalkotói (pl. nanoszerkezetű kerámiák, fotovoltaiikus eszközök, gyógyszerhordozók és diagnosztikai alkalmazások). A nanorészecskék alkalmazhatóságát egy adott feladatra azonban nemcsak a részecskék egyedi (pl. elektromos, mágneses vagy nedvesíthetőségi) tulajdonságai szabják meg, hanem hogy milyen szerkezetbe rendeződnek. A nanorészecskék filmjei különféle nanofizikai, ill. nanokémiai módszerekkel állíthatók elő. A nanorészecskés fim létrehozásának legprecízebb („nedves”) kémiai eljárása a film rétegenkénti felépítésén alapul („layer-by-layer assembly”). Ezek közé sorolható a Langmuir-Blodgett (LB) technika, melyet csak a legutóbbi időkben javasoltak nanorészecskés filmek szilárd hordozón történő előállítására.

Doktori disszertációmban Stöber-szilika nanorészecskék szilárd hordozón kialakított Langmuir-Blodgett-filmjeinek előállításáról és vizsgálati eredményeiről számolok be. A Stöber-szilika részecskék számos előnyös tulajdonsággal rendelkeznek. A részecskék izometrikusak, közel gömb alakúak, szűk méreteloszlással rendelkeznek, valamint széles részecskeméret tartományban előállíthatóak. Mindezek alapján rendkívül alkalmasak modellvizsgálatokra és gyakorlati felhasználásra egyaránt.

Céltűzések

Céltűzésem kettős: egyrészt eljárásokat kívántam kifejleszteni nanorészecskék különleges optikai tulajdonságokkal rendelkező LB-filmjeinek előállítására, másrészt tanulmányoztam az előállított LB-film, ill. annak prekursor (Langmuir) filmjének szerkezetét. Ezzel kapcsolatban a dolgozat négy fő kérdéssel foglalkozik: hogyan állítható elő LB-film képzési eljárással antireflexiós hatású bevonat transzparens hordozókon (1); hogyan határozható meg részlegesen nedvesedő nanorészecskék víz peremszöge (2); milyen a szilika részecskékből létrehozott Langmuir- és LB-típusú filmeknek – a peremszöggel is kapcsolatba hozható – szerkezete (3), valamint a nanoléptékű szerkezettől függő optikai tulajdonsága (4).

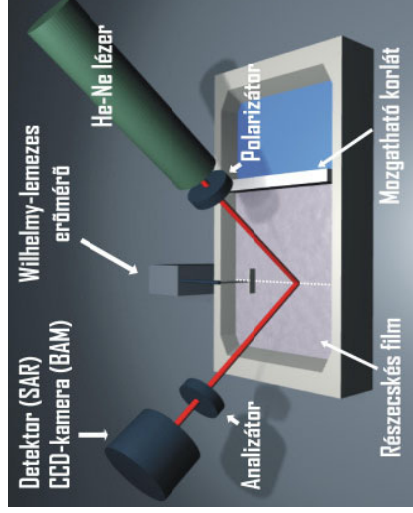
Módszerek

A preparációs eljárás három fő lépésből áll: előállítom a filmeket felépítő nanorészecskéket (1), a nanorészecskékből monorétegű (Langmuir) filmeket hozok létre víz/levegő határfeületen Wilhelmym-filmmérlegben (2), majd a Langmuir-filmekből, megfelelő szilárd hordozókon, kialakítom a részecskék Langmuir-Blodgett típusú filmjeit (3). Az alkalmazott vizsgálati módszereket ebben a tagolásban mutatom be.

(1) Vizsgálataimhoz a 20-350 nm részecskeméret tartományban szűk méreteloszlású, különböző méretű és nedvesíthetőségű Stöber-szilika részecske mintát állítottam elő.

(2) A nanorészecskék peremszögét – a hagyományos módszer továbbfejlesztésével – a Langmuir filmek oldalnyomás-terület

izotermáinak ún. „nem-disszipatív” szakasza alapján határoztam meg. Független módszerként *in-situ* pásztázó szög reflektometriát (SAR) (1. ábra) alkalmaztam, amelynek ilyen irányú felhasználása szisztematikus vizsgálatokban, gyakorlatilag ismeretlen az irodalomban. A SAR-mérések értelmezéséhez két különböző vékonyréteg optikai modellt illesztettem a mért értékekhez, melyeket részben továbbfejlesztettem. A *homogén réteg modell* a filmet egyetlen homogén vékonyréteggént kezeli, a *gradiens réteg modell* figyelembe veszi a film részecskés jellegét. A modellparaméterekből következtettem a filmszerkezetre, ill. a nanorészecskék peremszögére. A Langmuir-filmek nagyléptékű szerkezetének kiegészítő vizsgálatára Brewster-szög mikroszkópot használtam (1. ábra). A mérésekhez szükséges mérőhelyet hardveresen és szoftveresen is továbbfejlesztettem.

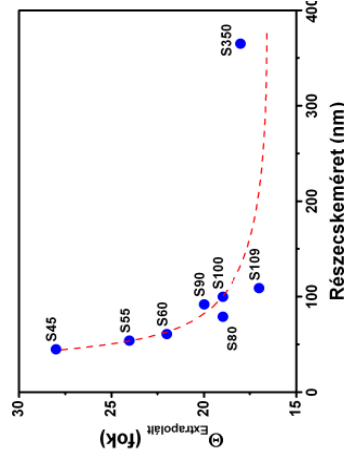


1. ábra: A vízfelszíni filmek optikai vizsgálatához használt készülék vázlatos rajza.

(3) A vízfelszíni filmeket Langmuir-Blodgett-technikával szilárd hordozóra telepítve egy- és többrétegű, hordozós filmeket állítottam elő. A hagyományos felépítésű (csak azonos méretű részecskéket tartalmazó), mono- és többrétegű LB-filmeken kívül olyan – új típusú – összetett LB-filmeket is előállítottam, amelyek rétegenként különböző méretű részecskékből állnak. Az LB-filmek kiépülését és szerkezetét optikai spektroszkópiai, valamint pásztázó szög reflektometriai módszerekkel tanulmányoztam. Vékonyréteg optikai modellek adaptálásával meghatároztam a filmek vastagságát és effektív törésmutatóját. Ezek közvetett információt szolgáltatnak a film szerkezetéről, így a szerkezet és a filmek optikai tulajdonsága közötti kapcsolatról.

Eredmények

1. A peremszög-meghatározás mikrorészecskékre már bevezetett módszerét először alkalmaztam nanorészecskék rendszerére. Az oldalmomás (Γ) - terület (A) izotermák „nem-disszipatív” szakaszából meghatározott peremszög értékek az irodalomban eddig bevettnek számító módszernél reálisabb értékeket mutattak. A Γ - A izotermákból meghatározott peremszögek méretfüggését tapasztaltam (2. ábra), melynek alapvető okaként a részecskefelület mérettel változó kémiai összetételét jelöltem meg. (Közlemény: 9)



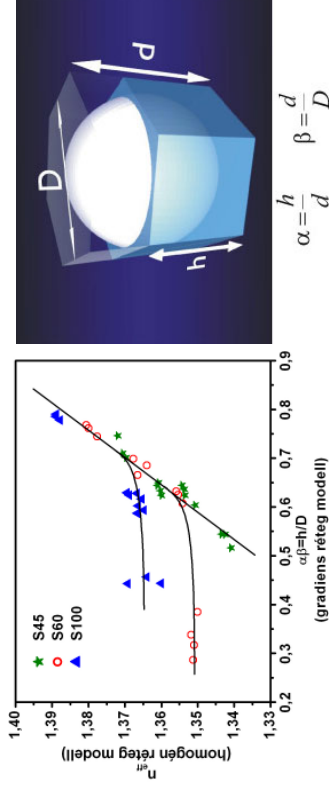
2. ábra: Az oldalmomás-terület izotermákból meghatározott peremszögek a Stöber sziliká részecskék méretének függvényében.

2. Megállapítottam, hogy a részecskeméret csökkenésével nő a Langmuir-filmek relatív komprimálhatósága és a rétegek relaxációjának mértéke is. Mindkét hatást a kisebb részecskékből felépülő filmek rendezetlenségének, lazább szerkezetének tulajdonítottam. A relaxáció oka, hogy a komprimálás megszüntével a film szerkezete átrendeződik.

3. A pásztázó szögű reflektometriás mérésekből kapott adatokat a homogén modellel értékelve, meghatároztam a filmek effektív törésmutatóját (n_{eff}), valamint vastagságát, és megállapítottam, hogy a felületkezeletlen részecskék filmjeire kapott n_{eff} értékek jól korreáltnak a Γ - A izotermák „nem-disszipatív” szakaszából meghatározott peremszögekkel. A jó korrelációt annak tulajdonítottam, hogy n_{eff} értékeiben együttesen jelenik meg az egyedi részecskék merülési mélységének és a film szerkezetének hatása, melyek a Γ - A izotermákból meghatározható peremszögek értékét is befolyásolják. (Közlemény: 9)

4. a) Továbbfejlesztettem a reflexió-mérések analizisére használt gradiens modellel való értékelést: a reflektancia görbék értékelésekor figyelembe vettem a Γ - A izotermákból meghatározott részecske-részecske távolságot. Megállapítottam, hogy ezzel a módszerrel nanorészecskék átmérője és merülési mélysége (peremszöge) a részecskék nedvesíthetőségének széles tartományában egyértelműen meghatározható.
b) Megállapítottam, hogy a felületkezeletlen részecskék esetén mind a homogén, mind a gradiens modellek a transzmissziós elektronmikroszkópiai felvételek alapján meghatározott részecskeátmérőkkel jól egyező rétegvastagságot eredményeznek, ill. a homogén modellel kapott effektív törésmutató lineáris függvénye a gradiens modellel meghatározott h/D (részecske merülési mélység/ r -r távolság $-(3. \text{ábra})$) értékeknek.

c) Megállapítottam továbbá, hogy felületkezelt részecskék esetén a két modell közötti korreláció a részecskeméret, ill. a hidrofobitás növekedésével erősen romlik (3. ábra). Ennek oka az, hogy a felületkezelt részecskék egyre kisebb merülési mélysége következtében a film optikai szempontból már nem tekinthető egyetlen homogén vékonyrétegnek. (Közlemény: 9)

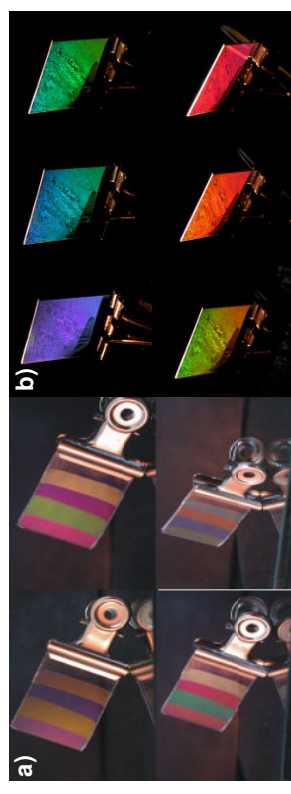


3. ábra: A homogén és a gradiens modellek közötti korreláció: a homogén modellből meghatározott effektív törésmutató az inhomogén modellből kapott ($\alpha = \beta = h/D$) függvényében.

5. a) Igazoltam, hogy az összes – általam előállított – modellanyagból LB-filmeket lehet preparálni különböző hordozókon (4. ábra). Az egy-, ill. többrétegű LB-filmek UV-Vis spektroszkópiai vizsgálatának eredményeképpen megmutattam, hogy a rétegeknek jelentős antireflexiós hatása van, ami a filmek nanoléptékű szerkezetének következménye. A filmek transzmittancia spektrumának szimulálására a részecskés film, ill. a hordozó törésmutatójának diszperzióját is figyelembe vevő optikai modellt fejlesztettem ki, ami a látható hullámhossz-tartományban jól leírja a mért spektrumot.

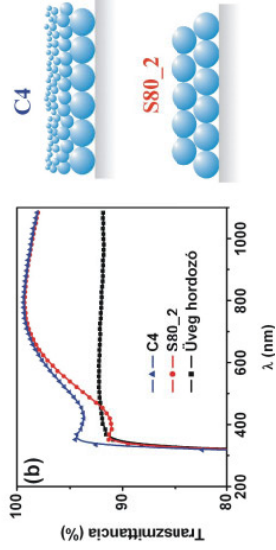
b) Megmutattam, hogy a különböző nedvesíthetőségű, de azonos méretű részecskék egyrétegű LB-filmjein meghatározott effektív törésmutató a hidrofobitással együtt nő. Ezt a filmek növekvő fényszórásával magyaráztam, melynek oka a film egyre nagyobb mértékben tagolt szerkezete a részecskék hidrofobitásának növekedésével.

c) Többrétegű filmekre UV-Vis spektroszkópiai módszerrel meghatározott filmvastagság adatok a filmeknek rétegenkénti felépítésével együtt járó tömörödését jelzik, a filmvastagság eltérése a szoros illeszkedésű szerkezetnek megfelelő értékektől - nagyobb részecskék esetén - a rétegek számának függvényében telítéské hajlik. Ezt a részecskék polidiszperzitásából származó geometriai okoknak tulajdonítottam. Ezzel összhangban a többrétegű minták esetén megnövekedő törésmutató értéket az egyre tagoltabb filmfel szín miatt jelentkező fényszórás következményeként értelmeztem. (Közlemények: 2, 3)



4. ábra: Különböző méretű részecskék különböző rétegszámú LB-filmjei különböző megfigyelési szögekből: kb. 10 nm-es részecskék részben átfedő 5 rétegű LB-filmje üveg hordozón (a) és kb. 350 nm-es részecskék monorétege szilícium hordozón (b).

6. Eltérő méretű nanorészecskéket felhasználva többrétegű, komplex LB-filmeket hoztam létre, melyek antireflexiós tulajdonsága meghaladja a közel azonos vastagságú, csak egyetlen részecske típusból felépülő LB-filmekét. A komplex film fényáteresztő képessége a transzmittancia minimumban meghaladja a hordozóét (5. ábra). Rámutattam, hogy ez a komplex LB-filmben létrejövő törésmutató-gradiens következménye, amely a megnövekedett fényáteresztést is indokolja széles hullámhossz-tartományban. (Közlemények: 3, 10)



5. ábra: Közel azonos vastagságú, de különböző felépítésű nanorészecskés LB-filmek transzmittancia spektruma: hagyományos szerkezetű (S80_2: azonos méretű részecskékből áll) és új típusú (C4: különböző méretű részecskékből áll) film.

7. A pásztázó szög reflektometria újszerű alkalmazásával vizsgáltam különböző méretű nanorészecskék LB-filmjeit szilárd/levégő határfelületen. A mérések eredményét UV-Vis spektroszkópiai mérések tapasztalataival összevetve demonstráltam a módszer alkalmazását nanorészecskés LB-filmek jellemzésére. (Közlemények: 6, 8)

Alkalmazási lehetőségek

Nanolitográfia: az általam létrehozott LB-filmek segítségével rövid idő alatt, viszonylag nagy felületen (több cm^2 -es léptékben) lehetséges periodikus szilícium szerkezet kialakítása költséghatékony módon úgy, hogy kristályos szilíciumszelet felületi rétegének ion-implantációval történő adalékolása során a részecskés LB-filmeket használjuk maszkként. A maszk eltávolítását követően, elektrokémiai és lúgos maratás után az LB-filmek rétegszámától, az implantált adalékionok, valamint a kiindulási szilíciumszelet típusától függően változatos morfológiájú kristályos szilícium struktúrák hozhatók létre [5, 7].

Multifunkcionális filmek (antireflexiós tulajdonságú öntisztító, valamint szuperhidrofób felületek): jelenleg is folyamatban van olyan LB-filmek létrehozása, amelyek a különböző típusú nanorészecskék filmjeinek előnyös tulajdonságait ötvözik. ZnO és szilika részecskékből többrétegű filmszerkezetet kialakítva az LB-film mind antireflexiós, mind fotokatalitikus tulajdonsággal rendelkezik, így a megnövekedett fényáteresztés mellett öntisztító jellegű is a film [0]. Ha alternálva, ugyanezen részecskékből többrétegű LB-filmet hozunk létre, tervezett törésmutató-profilit is kialakíthatunk [10, 28]. Az LB-technikával ZnO, ill. TiO_2 részecskékből UV-fény hatására reverzibilis nedvesedést mutató bevonatok hozhatóak létre [0]. A szilika nanorészecskék LB-filmjét utólag módosítva szuperhidrofób felület állítható elő [0], melyek a hordozóét meghaladó fényáteresztéssel rendelkeznek.

Megfelelő adhéziós viszonyok mellett lehetséges a filmek áthelyezése bármilyen – akár flexibilis - hordozóra. Ez egyben ablakot nyit a hajlékony fotonikus struktúrák és érzékelők izgalmas világára.

Publikációk

Közlemények - Folyóirat cikkek

1. A. Agod, A. Deák, E. Hild, E. Kálmán, A. L. Kovács, Gy. Tolnai, Z. Hórvölgyi: Contact Angle Determination of Nanoparticles: Real Experiments and Computer Simulations, *J. Adhesion*, 80(10-11) (2004) 1055. IF: 0,505
2. A. Deák, I. Székely, E. Kálmán, Zs. Keresztes, A. L. Kovács, Z. Hórvölgyi: Nanostructured silica LB films on glass substrate with antireflective properties, *Thin Solid Films*, 484 (2005) 310. IF: 1,647
3. A. Deák, B. Bancsi, A. L. Tóth, A. L. Kovács, Z. Hórvölgyi: Complex Langmuir-Blodgett films from silica nanoparticles: an optical spectroscopy study, *Coll. Surf. A*, 278 (2006) 10. IF: 1,513
4. N. Nagy, A. Deák, Z. Hórvölgyi, M. Fried, A. Agod, I. Bársony: Ellipsometry of Silica Nanoparticulate Langmuir-Blodgett Films for the Verification of the Validity of Effective Medium Approximations, *Langmuir*, 22 (2006) 8416. IF: 3,705
5. N. Nagy, A. E. Pap, A. Deák, E. Horváth, J. Volk, Z. Hórvölgyi, I. Bársony: Large area self-assembled masking for photonics applications, *Applied Physics Letters*, 89 (2006) 063104. IF: 4,308
6. L. Naszályi, A. Deák, E. Hild, A. Ayrál, A. L. Kovács, Z. Hórvölgyi: Langmuir-Blodgett films composed of size-quantized ZnO nanoparticles: fabrication and optical characterization, *Thin Solid Films*, 515 (2006) 2587. IF: 1,647
7. N. Nagy, A. E. Pap, A. Deák, J. Volk, E. Horváth, Z. Hórvölgyi, I. Bársony: Regular patterning of PS substrates by a self-assembled mask, *Phys. Stat. Sol. (C)*, 4(6) (2007) 2021. IF: 0,860
8. A. Deák, E. Hild, A. L. Kovács, Z. Hórvölgyi: Characterisation of solid supported nanostructured thin films by scanning angle

reflectometry and UV-Vis spectrometry, *Mater. Sci. Forum*, 537-538 (2007) 329. IF: 0,498

9. A. Deák, E. Hild, A.L. Kovács, Z. Hórvölgyi: Contact Angle Determination of Nanoparticles: Film Balance and Scanning Angle Reflectometry Studies, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, elfogadva (2007) IF: 2,519
10. E. Hild, A. Deák, L. Naszályi, Ö. Sepsi, N. Ábráham, Z. Hórvölgyi: Use of the optical admittance function and the WKB approximation to simulate and evaluate transmittance spectra of graded-index colloidal films, *Journal of Optics A: Pure and Applied Optics*, beküldve (2007).

Közlemények - Előadás kivonatok (proceedings)

11. A. Deák, I. Székely, Z. Hórvölgyi: Investigation of the optical properties of silica thin layers prepared by a wet colloid chemical method (in Hungarian: Kolloidkémiai eljárással előállított szilika vékonyrétegek optikai tulajdonságainak tanulmányozása), in *Proc. (Ed.: K. Majdik) of the 10th Vegyészkonferencia 2004, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, Kolozsvár, Romania, (2004) 166-172.*
12. A. Deák, Z. Hórvölgyi: Nano-strukturierte Dünnschichte von Silica Partikeln (Herstellung und optische Eigenschaften), 16., in *Proc. (Ed.: J. Ginzler) of the 16th Frühlingsakademie, München, Germany, (2004) 13-16.*
13. I. Székely, A. Deák, Z. Hórvölgyi: Langmuir-Blodgett Films of Silica Nanoparticles: Preparation and Characterization (in Hungarian), in *Proc. (Ed.: J. Filka) of Műszaki Kémiai Napok '2004, Veszprém, Hungary, (2004) 314-317.*
14. A. Deák, L. Naszályi, Z. Hórvölgyi: Preparation and characterization of particulate Langmuir-Blodgett films, 4th International Conference on Research and Education, *Inter-Academia 2005, Wuppertal, Germany, Proc. Vol. 2 (2005) 603-608.*

Előadások

15. Székely I., Deák A., Hórvölgyi Z.: Langmuir-Blodgett Films of Silica Nanoparticles: Preparation and Characterization (in Hungarian), Műszaki Kémiai Napok '2004, Veszprém, Hungary, 2004, Proc. (Ed.: J. Filka)
16. A. Deák, Z. Hórvölgyi: Nano-strukturált Dünnschicht von Silica Partikeln (Herstellung und optische Eigenschaften), 16. Frühlingssakademie 2004, München, Germany, 2004, Proc (Ed.: J. Ginsztler).
17. A. Deák, I. Székely, E. Kálmán, Zs. Keresztes, Z. Hórvölgyi: LB films composed of Stöber silica nanoparticles: structure and antireflective properties, PORANAL 2004, Balatonfüred, 2004, Abstr. 35.
18. A. Deák, I. Székely, Z. Hórvölgyi: Investigation of the optical properties of silica thin layers prepared by a wet colloid chemical method (in Hungarian: Kolloidkémiai eljárással előállított szilika vékonyrétegek optikai tulajdonságainak tanulmányozása), 10th Vegyészkonferencia 2004, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, Kolozsvár, Romania, 2004, Proc. (Ed.: K. Majdik).
19. A. Deák, L. Naszályi, Z. Hórvölgyi: Preparation and characterization of particulate Langmuir-Blodgett films, 4th International Conference on Research and Education, Inter-Academia 2005, Wuppertal, Germany, Proc.
20. Z. Hórvölgyi, A. Tóth, A. Deák: Langmuir and Langmuir-Blodgett films composed of silica nanoparticles: preparation and optical characterization, 1st South East European Congress of Chemical Engineering (1st SEECChE), Belgrade, Serbia-Montenegro, 2005, Abstr. 220.
21. A. Deák, Z. Hórvölgyi: Investigation of solid supported nanostructured thin films by scanning angle reflectometry, 5th Hungarian Conference and Exhibition on Materials Science,

- Testing And Informatics (V. OAAAKK), Balatonfüred, Hungary, 2005, Abstr. CD-ROM (ISBN: 963 219 274 5) O-III-04.
22. L. Naszályi, V. Feuillade, A. Deák, Z. Hórvölgyi and A. Ayrál.: Couches minces nanocristallines d'oxyde de zinc préparées par voie sol-gel, Journée Chimie Grand Sud-Ouest de la Société Française de Chimie, November 25, 2005, Montpellier, France
23. Z. Hórvölgyi, I. Bársony, A. Deák, N. Nagy, L. Naszályi, R. Tóth: Preparation of functional nanoparticulate films by Langmuir-Blodgett technique (Funkcionális nanorétegek előállítása Langmuir-Blodgett technikával), 12th International Conference of Chemistry, Miercurea Ciuc, Romania, 2006. Abstr. 55
24. N. Nagy, A. E. Pap, A. Deák, E. Horváth, J. Volk, Z. Hórvölgyi, I. Bársony: Large area self-assembled masking for photonics applications, Physics of linear, nonlinear, and active photonic crystals/COST P11 meeting 2006, Brussel (2006)
25. A. Deák, E. Hild, Z. Hórvölgyi: Estimation of contact angles from film balance and reflectometry studies of nanoparticulate films, 20th ECIS Conference, Budapest, 2006, Abstr. P6.7.
26. N. Nagy, A. E. Pap, A. Deák, J. Volk, E. Horváth, Z. Hórvölgyi, I. Bársony: Regular Patterning of Large Area Silicon Substrates Using Stöber Silica LB Films, 20th ECIS Conference, Budapest, 2006, Abstr. P6.20.
27. N. Nagy, A. Deák, A. Hámori, M. Fried, Z. Hórvölgyi, I. Bársony: Investigation of Silica Nanoparticulate LB Films by Ellipsometry and OWLS, 20th ECIS Conference, Budapest, 2006, Abstr. P6.21.
28. L. Naszályi, N. Ábrahám, A. Deák, A. L. Kovács, A. Ayrál, E. Hild, Z. Hórvölgyi: Preparation and Characterization of Nanoparticulate Langmuir-Blodgett Films with Gradient Refractive Index, 20th ECIS Conference, Budapest, 2006, Abstr. P6.23.

29. R.C.S. Tóth, L. Naszályi, A. Deák, J. Szira, F. Bosc, A. Ayrál, Z. Hórvölgyi: Functional properties of Langmuir-Blodgett films, 20th ECIS Conference, Budapest, 2006, Abstr. P.6.36.
30. N. Nagy, A.E. Pap, A. Deák, J. Volk, E. Horváth, Z. Hórvölgyi, I. Bársony: Regular patterning of PS substrates by a self-assembled mask, International Congress of "Porous Semiconductors-Science and Technology", PSST 2006, Sitges (Barcelona) Spain, 12-17 March, 2006 (extended abstract).
31. R.Cs. Tóth, N. Ábrahám, A. Deák, L. Naszályi, A. Ayrál, F. Bosc, Z. Hórvölgyi: Fabrication of antireflective and self-cleaning coatings by wet colloid chemical methods (in Hungarian, Antireflexiós és öntisztító bevonatok előállítása nedves, kolloidkémiai eljárással), Műszaki Kémiai Napok '2006/Conference of Chemical Engineering, Veszprém, Hungary, 2006, Abstr. 40.
32. Z. Hórvölgyi, I. Bársony, A. Deák, N. Nagy, L. Naszályi, R. Tóth: Preparation of functional nanoparticulate films by Langmuir-Blodgett technique (Funkcionális nanorétegek előállítása Langmuir-Blodgett technikával), 12th International Conference of Chemistry, Miercurea Ciuc, Romania, 2006. Abstr. 55.
33. N. Nagy, A.E. Pap, A. Deák, E. Horváth, A.L. Tóth, P. Fürjes, Z. Hórvölgyi, I. Bársony: Large area periodic silicon structures by a LB mask for photonic applications, Symposium K : Nanoscale self-assembly and patterning of the E-MRS 2007 Spring Meeting, Strasbourg, France, May 28 to June 1, 2007.
34. N. Nagy, A. Deák, A. Hámori, Z. Hórvölgyi, M. Fried, P. Petrik and I. Bársony: Comparative investigation of Stöber silica Langmuir-Blodgett films as optical model structures, 4th International Conference on Spectroscopic Ellipsometry, Stockholm, Sweden, June 11-15, 2007
35. L. Naszályi, R. Tóth, A. Deák, A. van der Lee, V. Rouessac, Z. Hórvölgyi, A. Ayrál: Sol-gel synthesis of ZnO-based thin layers with enhanced optical properties, XIV International Sol-Gel

Conference, September 2-7, 2007, Montpellier, France (accepted for oral presentation)

Egyéb publikációk

36. A. Deák, Z. Hórvölgyi, Zs. Németh: Development of Novel Separation Technique of Fine Particles Used in Linear Fluorescent Lamps: Pre-Studies, 8th Conference on Colloid Chemistry, Keszthely, 2002, Abstr. 69.
37. A. Deák, Z. Hórvölgyi, Zs. Németh: Separation of Powder Mixtures of Practical Importance Based on Flotation Technique (in Hungarian), Műszaki Kémiai Napok '2003, Veszprém, Hungary, 2003, Proc. (Ed.: J. Filka) 115-116.
38. Zs. Németh, A. Deák, Z. Hórvölgyi: Development of Novel Separation Technique of Phosphors Used in Fluorescent Lamps: Preliminary Studies, in Proc. of the 10th International Symposium on Science and Technology of Light Sources, Light Sources 2004 (Ed.: G. Zissis) Institute of Physics Conference Series, 182 (2004) 599-600. IF: 0,112
39. Z. Hórvölgyi, T. Horányi, A. Deák: Characterization of interfacial properties of water-glass drops in 3P and hybrid resins (in Hungarian), 3P and hybrid resins conference 2004, 2004, Budapest-Gyál.
40. T. Horányi, A. Deák, L. Halász, K. Gál-Sólymos, Z. Hórvölgyi: Structural characterization of 3P and hybrid resins, 3P and hybrid resins conference 2004, 2004, Budapest-Gyál.