

## MTA DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉZISEINEK ÖSSZEFOGLALÁSA

### OXIDALAPÚ RENDSZEREK SZOL-GÉL SZINTÉZISE

**Sinkó Katalin**

Eötvös Loránd Tudományegyetem  
Kémiai Intézet



2017

#### 1. Bevezetés és célkitűzés

A szol-gél előállítási módszer alkalmazásának fő célkitűzései egyrészt a nagy energiájú, tradicionális olvasztási folyamatok kiváltása; másrészt olyan összetételek kialakítása, amelyeket nem lehet olvasztással létrehozni. Napjainkban a módszer alkalmazásának fő iránya pedig a tervezett szerkezetű és tulajdonságú anyagok szintetizálása.

A szol-gél módszer alapelve, hogy a térszerkezetet létrehozó kötések, jellemzően fém-oxigén, illetve azok perkurzoraiként a fém-hidroxid kötések már oldatfázisban kialakulnak kémiai reakcióval. A kémiai kötések létrejöttével alapvetően kétféle módon fejlődhet a rendszer: vagy tömör, kolloid méretű részecskék, vagy elágazó láncok képződnek. Az előbbi esetben szol vagy olyan csapadék keletkezik, amelyből peptizálással szol készíthető; elágazó láncok esetén térhálósító polimerizációval közvetlenül gél alakul ki. A szol-gél módszer befejező szakasza a gélek szárítása és hevítése/szinterelése. A végső szerkezet kialakításához az olvasztásnál jóval alacsonyabb – általában 1000 °C alatti – hőkezelés is elégséges, szemben az olvasztás jellemzően jóval 1000 °C feletti értékeivel.

A doktori munka fő célkitűzései:

- A hagyományos, nagy energiaigényű olvasztási technológia kiváltása jóval kisebb energiát felhasználó eljárással – alumínium-oxid-hidroxid; kalcium-szilikát; alumínium-szilikát rendszerek kutatási feladatai példázzák.
- Olvasztás útján nem kialakítható szilikát összetételek készítése és szerkezetvizsgálata – kalcium-szilikát; alumínium-szilikát rendszerek kutatásai reprezentálják.
- Mezopórusos és hierarchikus pórusszerkezetű anyagok előállítása: extrém kis sűrűségű, kontrollált pórusrendszerű aero- és kriogélek gyártása – alumínium-oxid, szilika, alumínium-szilikát, hibrid aerogélek kutatási feladatai tükrözik.
- Irányított szerkezetű rendszerek szintetizálása, a szintézis paraméterek irányító hatásának meghatározása – az alumínium-oxid-alapú rendszerek (különböző porozitású rendszerektől, a szálalható összetételeken keresztül, a tömör tömbmintáig) kialakításának feladataihoz tartozik.
- Többkomponensű, összetett rendszerek kialakítása – extra kemény nanokompozitok és szerves-szervetlen hibrid rendszerek szintetizálása és szerkezetvizsgálata – alumínium-szilikát és hibrid rendszereinek kutatásai példázzák.
- Kontrollált méretű nanoporok előállítása – kobalt-oxid és kobalt-ferrit nanorészecskék kutatásai reprezentálják.

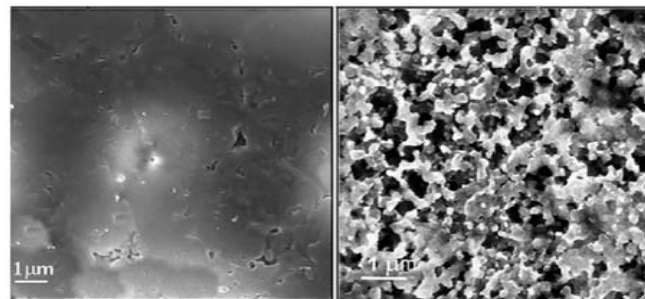
## 2. Vizsgálati módszerek

- A gélesedési idő meghatározása viszkozitás méréseken alapult golyós Höppler mikroviszkoziméter segítségével. A gélesedési idő azzal az időtartammal azonos, amely alatt a viszkozitás értéke eléri a végtelent.
- A gélesítés kémiai átalakulásainak megismerésében gázkromatográfiás-tömegspektrometriás (APCI MS és electrospray MS) mérések játszottak döntő szerepet. Kiegészítő technikaként termoanalízis (TG /DTA) alkalmazására került sor.
- Kémiai analízis: totál reflexiós röntgen fluoreszcenciás (TXRF) spektroszkóppal és ICP-vel zajlottak. A nitrát-koncentráció meghatározása UV-VIS spektrofotométerrel történt.
- A termikus folyamatok energiaváltozásainak követése differenciál termoanalízis (DTA) mellett differenciál kaloriméter (DSC) segítségével zajlott, N<sub>2</sub>-atmoszférában.
- Kémiai kötések azonosításában Fourier-transzformációs (FTIR) és totál reflexiós (ATR) infravörös spektroszkópiai mérések nyújtottak segítséget.
- <sup>27</sup>Al, <sup>29</sup>Si, <sup>31</sup>P MAS NMR spektroszkópia az atomi mérettartományú szerkezetvizsgálatot szolgálták.
- Kis- és nagyszögű röntgenszórás, SAXS, WAXS laboratóriumi berendezés; valamint szinkrotron sugárforrás felhasználásával zajlottak. A szórás intenzitását  $[I(q)]$  a szórási vektor  $[q = 4\pi \cdot \sin(\theta/2) / \lambda]$  függvényében értékeltük ki, ahol  $\theta$  a beeső és a szórt sugárzás közötti szög.
- Nagy felbontású röntgen pordiffrakciós vizsgálatok (XRD) szinkrotron sugárforrással, 1 mm-es átmérőjű kvarc kapillárisban folytak. A röntgen-diffrakciós berendezés fűthető cellája *in situ* mérésekre nyújtottak lehetőséget.
- Pásztázó elektronmikroszkópos felvételek (SEM) Everhart-Thornley szekunder elektron-detektorral (ETD), nagy vákuumban, vezető bevonatok nélkül készültek. Az energia-diszperzív röntgen mikroanalízissel (EDX) kombinált SEM felületi kémiai analízist szolgált. Készültek 3D-os SEM-felvételek is.
- Transzmissziós elektronmikroszkópos vizsgálatok (TEM) JEOL JEM-3010 HREM készüléken zajlottak nagy vákuumban.
- Keménység meghatározások: A kisebb mechanikai szilárdság mérése Brinell-keménység (HB) mérővel, egy automatikus penetrométerrel zajlottak. Nagy mechanikai szilárdság mérésére a Vickers-keménység (HV) mérő bizonyult alkalmasnak.

## 3. Új tudományos eredmények tézisszerű összefoglalása

### Kalcium-szilikát rendszerek

1. Kidolgoztam egy új szol-gél technikán alapuló szintézist kalcium-szilikát rendszerek előállítására, melynek jóval kisebb az energiaigénye (a maximális hőmérséklet 600-700 °C), mint a hagyományos olvadék technológiáé ( $\geq 1500$  °C).
2. Megállapítottam, hogy az új, ammónia katalízist alkalmazó eljárással jelentősen megnőtt a szilikátmátrixhoz kötődő Ca-ionok aránya, bioaktivitásuk jobb az olvasztottakéhoz képest, míg a mechanikai szilárdságuk alig marad el azoktól. A megnövekedett bioaktivitás a porózus szerkezethez, valamint a karbonáttartalomhoz köthető.
3. Sikertült FTIR és NMR spektroszkópiával azonosítani a szakirodalomban alig, vagy egymásnak ellentmondóan ismertetett Ca-O-Si és Si-O-P kötésekkel amorf és kristályos ( $\beta$ -dikalcium-szilikát, dikalcium-szilikát-hidrát) szerkezetekben. FTIR és XRD segítségével igazoltuk különböző kristályos fázisokhoz köthető Si MAS NMR szignált [ $\beta$ -dikalcium-szilikát,  $\beta$ -,  $\gamma$ -Ca<sub>2</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub>,  $\delta$ -Ca(PO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, 2Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> · Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>].



Ábra: Olvasztott és ammóniával katalizált szol-gél kalcium-szilikát minták SEM-felvételei.

### Alumínium-szilikát rendszerek szol-gél előállítása

4. Új szol-gél módszert fejlesztettem ki optikailag tiszta, homogén alumínium-szilikát gélek előállítására – széles intervallumú, 0-80% kötött Al-aránnyal. Az új, kis energiafelhasználású, az irodalomtól eltérően Al(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>-ból kiinduló szintézissel időigényes szolkészítés nélkül sikerült 3D-os térhálót kialakítani.
5. Igazoltam, hogy a szol-gél módszerrel azért lehet sokkal nagyobb Al-beépülést elérni, mint olvasztással (10%), mert a Si-tetraéderek helyébe belépő AlO<sub>4</sub><sup>-</sup>-tetraéderek töltését az elemi egységek felületén oktaéderesen kötött Al(III)-ionok kompenzálják.

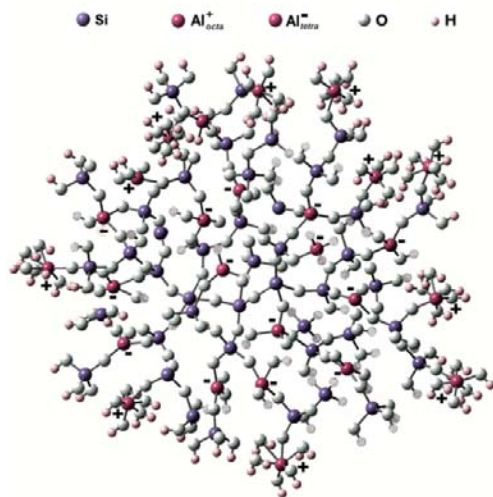
6. Feltérképeztük az oldószer szerepét a szintézisben. A n-propanol az oldás mellett elősegíti a  $\text{NO}_3^-$ -ionok nitrózus gázként való távozását, így szükségtelenné válik a mosási lépés. A nitráttartalom lassú csökkenése fokozatosan növeli a pH-t, mely támogatja az Al-ionok kondenzációját, de megakadályozza a bázikus csapadék kiválását. A gélesítés folyamán a propanol ecetsavvá oxidálódik, mely kétfogú ligandumként hozzájárul a 3D-os térháló kialakulásához.

#### Alumínium-szilikát nanokompozitok szol-gél szintetizálása

7. Alumínium-szilikát alapú nanokompozit kialakításával olyan gélstruktúrát szintetizáltam, melyet gyorsan lehet szárítani repedezés nélkül, megőrizve a tömbjellegét. A nanokompozit extrém nagy szilárdsággal rendelkezik. Igazoltam, hogy az alumínium-szilikát nanokompozit egyrészt amorf alumínium-szilikát térhálóból áll, másrészt nanoméretű (ca. 2 nm) kristályos ( $\text{NaAlSiO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) részecskékből, melyek erősítő fázisként szolgálnak. A nanokompozit csak 2,0-4,0 Al/Si mólarányánál ad stabil szerkezetet.

#### Szol-gél módszerrel előállított aerogélek

8. A TEOS-ból és Al-nitrátból általam kifejlesztett új módszerrel nyert aerogélek laza, fraktál szerkezettel, jelentős szilikáttérhálóba kötött Al-tartalommal jellemezhetők. Az Al-beépülés megduplázza ( $600\text{-}1100\text{ m}^2\text{g}^{-1}$ ) a fajlagos felületet, a pórusátmérő átlag harmadára, az elemi egységek mérete pedig 50-30 %-ra csökken a szilika aerogélekhez képest.



Ábra: alumínium-szilikát fraktál szerkezetének kötés-rendszere (Gauss View).

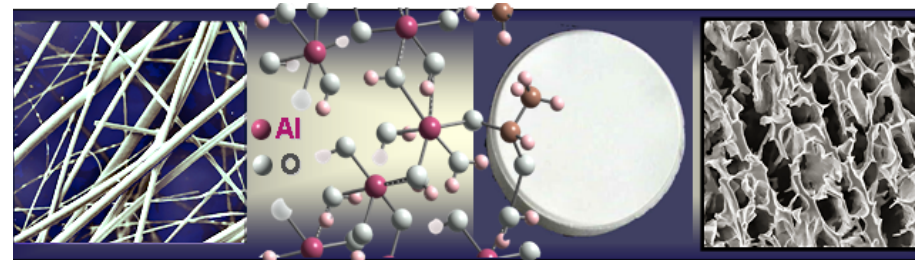
9. Az új szerkezet új tulajdonságokat eredményez; az alumínium-szilikát aerogélek piezoelektromos karaktert mutatnak. Megállapítottam, hogy a fraktálszerkezetnek és a kötött Al-tartalomnak döntő szerepe van a piezoelektromosságban.

#### Alumínium-oxid-hidroxid rendszerek előállítása

10. Alumínium-nitrátból n-propanolos közegben pusztán a gélesítés körülményeinek variálásával rendkívül sokféle szerkezetű anyagot – a szálalagú terméktől az áttetsző, rugalmas gélen keresztül, a kompakt vagy porózus tömbig – sikerült előállítani. Ennek alapját egy gyors, kis költségű, egyszerű, energia-takarékos, az irodalomban leírtakhoz képest teljesen újszerű szol-gél módszer kifejlesztése adta. A kiindulási oldatból közvetlenül gél keletkezik, kiiktatva a szolok időigényes gélesítését. Szintén új megoldás, hogy nincs szükség sem bázikus, sem komplexképző anyagra. A gélesítés és a hőkezelés során a nitráttartalom döntő hányada elbomlik, így nem kell külön mosási lépést sem alkalmazni.

11. Meghatároztam a termékek különböző szerkezetét és tulajdonságát biztosító kötésrendszereket. A jó szálalagúságot a nagy szerves anyag és kis víztartalom biztosítja – az Al(III)-ionok túlnyomóan szerves molekulákon, főleg *in situ* keletkező acetátionokon keresztül kapcsolódnak egymáshoz. Az elasztikus, átlátszó monolit hidrogélekben OH-, O-kötésekkel, valamint acetátionokkal összetartott, oktaéderesen koordinált Al-ionok találhatóak. A xerogélekben már csak O-kötések és kevés megosztott OH-híd azonosítható.

12. Sikerült nagy (60-85 %) és hierarchikus porozitású  $\text{Al}_2\text{O}_3$  kriogéleket előállítani liofilizálással az irodalomtól eltérően 3D-os gélrendszerből. Ezek a kriogélek a tipikus szerves oxidozott kriogélektől különböző amorf, 3D-os vázstruktúrából, és csatornába rendezett makropórusokból (8-16  $\mu\text{m}$ ) állnak. A csatornák fala nanopórusokat (7-8 nm) zár be. Az irodalmi adatokkal szemben az  $\text{Al}_2\text{O}_3$  kriogélek 800 °C felett (1600 °C-ig) is megőrzik porozitásukat. Az új technológiának köszönhetően a 800 °C felett kialakuló korund fázis 10 nm alatti kristályokból áll, megtartva ezáltal a porozus, 3D-os szerkezetet.



Ábra: Szálalagú, kompakt tömb és nagy porozitású alumínium-oxid kriogél minták.

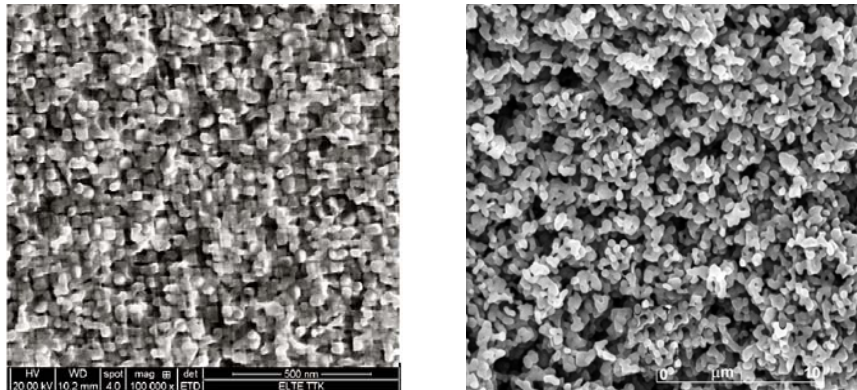
13. Kidolgoztam egy új szintézist és hőkezelési technikát nagy szilárdságú, alumínium-oxid alapú tömb kerámiák készítésére. A szintézis alapját az Al-ionok kis fokú (<1,5) hidrolízise biztosítja, mely kisebb aggregátumokat eredményez, felületükön sok aktív kapcsolódási hellyel. Az új hőkezelési technikával az illékony komponensek jelentős hányadának eltávolítása után is folytatódnak a kondenzációs reakciók támogatva a tömbszerkezet kialakulását.

#### Nanorészecskék szol-gél előállítás

14. Nanorészecskék előállítására egy szol-gél kémián alapuló új eljárást dolgoztam ki, mely olcsó szervesetlen sókból indul ki, és nem alkalmaz sem lecsapószer, sem komplexképzőt. Mind a CoO és Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanorészecskék (~85 nm) szol-gél kísérleteiben, mind a kobalt-ferrit nanoporok (~40 nm) szintézisei közül a 40 m/m% etil-acetátos közegben születtek a legjobb eredmények.

15. Megállapítottuk, hogy a CoO és Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> részecskék aggregálódnak fázis átalakuláskor (300 °C: Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> keletkezése; 900 °C: CoO-dá alakulás), és további hevítésre újra szétessenek. Így a hőkezelés ideális hőmérséklete 700 és 1000 °C körüli.

16. Sikerült elkerülni az új módszer alkalmazásával a szakirodalomban ismertett ferrites eljárások gyakori problémáját, a hematit képződését.



Ábra: Kobalt-ferrit (bal) és kobalt-oxid (jobb) nanorészecskék

#### 4. Eredmények hasznosításának lehetőségei

Az általunk készített **kalcium-szilikátok** hasznosítási lehetőségeként főleg orvosi biológiai alkalmazásukat vettük számításba. A szol-gél módszerrel szintetizált kalcium-szilikát rendszerek bioaktivitása messze felülmúlja az olvasztott kerámiákat, és szilárdságuk sem sokkal marad el azokétól.

Nagy szilárdságú **alumínium-szilikát** minták hasznosítási lehetőségét nagyban növeli az új, gyors, kis energiaigényű, kompozitszerkezetet eredményező technika. A nanokristályos szekunder fázis által megerősített rendszerek mind szerkezeti, mind funkcionális anyagokként (pl. katalizátorként, adszorbensként, molekulaszűrőként stb.) felhasználhatók.

**Alumínium-szilikát aerogélek** alkalmazhatósága kis sűrűségüknek és nagy porozitásuknak köszönhető. Kiugró szigetelő karakterük van, egyúttal kiváló adszorbensek is. Nem várt felhasználási lehetőséget az aerogélek piezoelektromos tulajdonsága szolgáltatja.

A 2000 °C feletti olvasztási folyamat kiváltása egy jóval kisebb ( $\leq 700$  °C) energiaigényű technikával az **alumínium-oxid-(hidroxid)** rendszerek ipari hasznosíthatóságát alapozza meg. A különböző alumínium-oxid-(hidroxid) rendszerek közül a viszkózus elegy a szálalás technikától függően különböző átmérőjű (nm  $\rightarrow$  mm) szálak készítésére; a kompakt szinterelt tömbök implantátumokként alkalmazhatók; a nagy porozitású krio- és aerogélek pedig kiváló szigetelő és adszorpciós képességekkel rendelkeznek. A kriogélek 1000 °C feletti hőmérsékleten is jól szigetelő karakterrel rendelkeznek, mely újrjárművekben (MASZAT 2 űrszonda) és olvasztókemencékben való alkalmazásukat teszi lehetővé.

Mind a **Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>**, mind a **CoO** gyenge ferromágnességgel jellemezhető nanoméretben. A Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanorészecskéket elektromos eszközök, mágneses és elektrokémiai rendszerek anyagaiként, gázszenzorokként lehet alkalmazni. A CoO nanorészecskék MRI diagnosztikai és gázszenzorok alapanyagai lehetnek, valamint lítiumionos akkumulátorok anódjaként szerepelhetnek.

Az egy vagy több dimenzióban nanoméretű **ferritek** előállítása új alkalmazási területeket nyit meg: pl. a mágneses adattárolást, a hatóanyag célba juttatást. A mágneses fém nanorészecskékkel szemben a nanoméretű ferritek nagyfokú stabilitást mutatnak számos különböző kémiai környezetben, ez biztosít számukra kiemelkedő jelentőséget az orvosi biológiai technikákban.

## 5. Közlemények és előadások az értekezés témaköréből

### 5. 1. Közlemények folyóiratokban

1. **K. Sinkó** „Absorbability of highly porous aluminum oxide ceramics” *J Materials Sci. Eng. A* **7**. (1-2) 37-43 (2017)
2. **K. Sinkó**, A. Meiszterics, J. Rohonczy, B. Kobzi, S. Kubuki „Effect of phosphorus precursors on the structure of calcium phosphate silicate system” *Materials Sci. Eng. C Materials for Biological Applications* **73**. 767–777 (2017)
3. **K. Sinkó** „Synthesis of aluminosilicate monolithic system by a novel fast ambient drying process” *Ceramics International* **42**. 5100-5106 (2016)
4. **K. Sinkó**, B. Kobzi, J. Sinclair, A. Baris, O. Temesi „Influence of cryogenic drying conditions on hierarchical porous structure of aluminum oxide systems” *Microporous & Mesoporous Materials* **218**. 7-14 (2015)
5. **K. Sinkó**, S. Kubuki, H. Peterlik „Various three-dimensional structures connected by Al–O/OH/Acetate–Al bonds” *Inorganic Chemistry* **52**. 13238-13243 (2013)
6. **K. Sinkó** „Gel-derived porous alumina systems” *Materials Letters* **107**. 344-347 (2013)
7. A. Meiszterics, K. Havancsák, **K. Sinkó** “Catalysis, nanostructure and macroscopic property triangle in bioactive calcium-containing ceramic system” *Materials Sci. Eng. C Materials for Biological Applications* **33**. 1371-1379 (2013)
8. **K. Sinkó**, E. Manek, A. Meiszterics, K. Havancsák, U. Vainio, H. Peterlik ”Liquid-phase syntheses of cobalt ferrite nanoparticles” *J. Nanoparticle Res.* **14**. 6. 1-14 (2012)
9. **K. Sinkó**, G. Szabó, M. Zrínyi: „Liquid-phase syntheses of cobalt oxide nanoparticles” *J. Nanosci. Nanotechn.* **11**. 1-9 (2011)
10. A. Meiszterics, L. Rosta, H. Peterlik, J. Rohonczy, S. Kubuki, P. Henits, **K. Sinkó**: “Structural characterization of gel-derived calcium silicate systems” *J. Phys. Chem. A* **114**. 10403-10411 (2010)
11. **K. Sinkó**. „Influence of Chemical Conditions on Nanoporous Structure of Silicate Aerogels” review, *Materials* **3**(1), 704-740. (2010)
12. **K. Sinkó**, V. Torma, A. Kovács: “SAXS Investigation of Porous Nanostructures” *J. Non-Cryst. Sol.* **354**. 5466-5474 (2008)
13. **K. Sinkó**, A. Meiszterics, L. Rosta: „Comparative study of calcium silicate bulk systems produced by different methods” *Prog. Coll. Polym. Sci.* **135**. 130-138 (2008)
14. A. Meiszterics, **K. Sinkó**: „Sol-gel derived calcium silicate ceramic” *Colloid Surface A* **319**. 143-148 (2008)
15. **K. Sinkó**, N. Hüsing, G. Goerigk, and H. Peterlik: „Nanostructure of gel-derived Aluminosilicate Materials” *Langmuir* **24**. 949-956 (2008)
16. **K. Sinkó**, V. Torma, I. Pászli: “Characterization of Porous Nanostructures” *Materials Science Forum* **514-516**. 1191-1195 (2006)
17. **K. Sinkó**, A. Neményi: “Effect of Al-and Si-containing precursors on the structures formed by sol-gel method” *Prog. Colloid Polym. Sci.* **125**. 103-110 (2004)
18. **K. Sinkó**, K. Fél, M. Zrínyi: “Preparation possibilities of Al- and Si-containing hybrid systems” *Polymers for Advanced Technologies* **14**. 776-783 (2003)
19. **K. Sinkó**, L. Pöpl: “Transformation of aluminosilicate wet gel to solid state” *J. Solid State Chem.* **165**. 111-118 (2002)
20. **K. Sinkó**, K. Fél, J. Rohonczy, N. Hüsing: “Piezoelectric property of sol-gel derived composite gels” *SPIE’s Smart Structures and Materials*, **4333**. 151-158 (2001)
21. **K. Sinkó**, K. Fél, J. Rohonczy, N. Hüsing: "Chemical processing of new piezoelectric materials" *Smart Mat. Struc.* **10**. 1078-1084 (2001)
22. **K. Sinkó**, R. Mezei, M. Zrínyi: “Gelation of aluminosilicate systems under different chemical conditions” *J. Sol-Gel Sci. Tech.* **21**. 147-156 (2001)
23. **K. Sinkó**, N. Hüsing, M. Zrínyi: ”Piezoelectric property of sol-gel derived composite gels” *SPIE’s Smart Structures and Materials*, **3992**. 630-635 (2000)
24. **K. Sinkó**, L.Cser, R. Mezei, M. Avdeev, H. Peterlik, G. Trimmel, N. Hüsing, P. Fratzl: ”Structure investigation of intelligent aerogels” *Physica B* **276-278**. 392-394 (2000)
25. **K. Sinkó**, R. Mezei, J. Rohonczy, P. Fratzl: "Gel structures containing Al(III)" *Langmuir* **15**. 6631-6636 (1999)
26. R. Mezei, **K. Sinkó**, P. Fratzl: ”Short and middle range structure of Al(III)-containing gels prepared from aluminum nitrate” *Chem. Phys.* **246**. 295-305 (1999)
27. R. Mezei, T. Karancsi, J. Rohonczy, **K. Sinkó**: "Chemical processes involved in the sol-gel preparation of an aluminum oxo-hydroxide gel from aluminum nitrate in organic medium” *J. Materials Chemistry* **8**. 2095-2101 (1998)
28. **K. Sinkó**, R. Mezei: "Preparation effects on sol-gel derived aluminosilicate gels" *J. Non-Cryst. Solids* **231/1-2**. 1-9 (1998)

29. **K. Sinkó**, R. Mezei, L. Cser, P. Fratzl: "SAS experiments on inorganic gels" *Physica B* **234**. 279-281 (1997)
30. R. Mezei, **K. Sinkó**: "Preparation of an aluminum oxo-hydroxide gel in organic medium" *Colloid and Polymer Science* **274**. 1054-1060 (1996)
31. **K. Sinkó**, M. Mészáros: "Manufacture of rock fibers from andesites" *Freiberger Forschungshefte A* **797**. 124-128 (1989)
32. **K. Sinkó**, B. Migály, M. Gábor: "Studies of the silicon dioxide - dolomite system by thermal analysis" *Thermochimica Acta* **148**. 473-478 (1989)
33. **K. Sinkó**, L. Pöppel, M. Gábor, B. Migály: "Study of CaCO<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> biner system by quantitative DTA method" *J. Thermal Analysis* **3**. 1003-1012 (1988)

## 5. 2. Könyvfejezet

1. **K. Sinkó**, A. Meiszterics: Chapt. "Application of the sol-gel process in the preparation of bioceramics" in „Bioceramics: Properties, Preparations and Applications” edited by W. Kossler, J Fuchs, Nova Science Publisher, ISBN 978-1-60741-056-0, NY (2009)

## 5. 3. További közlemények

1. **K. Sinkó** "Absorbability of Highly Porous Aluminum Oxide Ceramics" ACCMES Conf. Proceeding, Natural Sciences, Hokkaido, 671 (2016)
2. **K. Sinkó**, U. Vainio "SAXS, WAXS structure investigation of nanostructured aerogel systems" Annual Report, Hasylab, DESY 372-373 (2013)
3. Sippel, M., Kopp, A., **Sinkó, K.**, Mattsson, D. „Advanced hypersonic cryo-tanks research in CHATT 18th AIAA/3AF Proc. Int. Space Planes and Hypersonic Systems and Technologies Conference 1-13 (2012)
4. A. Meiszterics, **K. Sinkó** "Study of bioactive calcium silicate ceramic systems for biomedical applications" Int. Federation for Medical and Biological Engineering Proceedings Ed.: R. Magjarevic, Springer, ISSN: 1680-0737, **37**. 1098-1101 (2012)
5. **K. Sinkó**, A. Meiszterics, U. Vainio, C. Baetz: „Nanostructure of Gel-Derived Calcium Silicate Phosphate and Aluminum Oxide Biomaterials" Annual Report, DESY 545-546 (2008)
6. **K. Sinkó**, G. Goerigk C. Baetz: "Time resolved SAXS and XRD investigation of the formation and structure of calcium silicate bioceramics" An. Report DESY 771-772 (2006)

7. **K. Sinkó**, V. Torma: "Structure evaluation of aluminosilicate nanocomposite" *ELETTRA Progress Report* 109-110 (2005)
8. **K. Sinkó**, A. Neményi, Zs. Tihanysegi, H. Peterlik: „Study of Al- and Si-containing precursors in the sol-gel procedures" *Inter. Japan Sampe* **12**. 187-192 (2003)
9. **K. Sinkó**, M. Zrínyi: "Electrostrictive property of sol-gel derived aluminosilicate gels" *Proceeding of the 4th Int. Conference on Intelligent Materials*, 22-25 (1998)
10. R. Mezei, **K. Sinkó**, L. Cser : "SANS and SAXS measurements on inorganic gels" *Proceeding of International Workshop on Neutron Scattering Applications*, 50-55 (1995)
11. R. Mezei, **K. Sinkó**, M. Zrínyi: "SANS study on structure and growth process of sol-gel derived alumina and aluminosilicate gels" *BENSC Experimental Reports* 317-318 (1995)

## 5. 4. Az értekezés témájához kapcsolódó fontosabb előadások

1. K. Sinkó, L. Pöppel, M. Gábor, B. Migály: "Study of CaCO<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> biner system by quantitative DTA method" *F. European Symp. on Thermal Anal. and Calorimetry*, Jena (1987)
2. K. Sinkó, B. Migály, M. Gábor: "Studies on the silicon dioxide - dolomite system by thermal analysis" *9<sup>th</sup> Inter. Congress on Thermal Analysis*, Jerusalem (1988)
3. R. Mezei, K. Sinkó: "SANS study on alumina and aluminosilicate gels" *BENSC Workshop*, Berlin (1994)
4. R. Mezei, K. Sinkó: "Preparation of aluminum-oxide-hydroxide gel in organic medium" *Europhysics Conference on Gels*, Balatonszéplak (1995)
5. R. Mezei, K. Sinkó, L. Cser: "SANS and SAXS measurements on inorganic gels" *Workshop on Neutron Scattering Applications*, Praha (1995)
6. K. Sinkó, R. Mezei : "Study of sol-gel preparation's conditions on aluminosilicate gels" *7<sup>th</sup> Conference on Colloid Chemistry*, Eger (1996)
7. K. Sinkó, R. Mezei, L. Cser, Gy. Káli, P. Fratzl: "SAS experiments on inorganic gels" *1<sup>st</sup> European Conference on Neutron Scattering*, Interlaken (1996)
8. K. Sinkó, R. Mezei, J. Rohonczy, P. Fratzl : "Gel structures containing Al(III)" *7th International Conference on the Structure of Non-crystalline Materials*, Sardegna (1997)

9. R. Mezei, K. Sinkó, J. Rohonczy, P. Fratzl: "Short, medium and large scale structure in different Al(III) containing gels studied by  $^{27}\text{Al}$  MAS NMR and low X-ray scattering" 6th European Powder Diffraction Conf., Budapest (1998)
10. K. Sinkó, M. Zrínyi: "Piezoelectric property of sol-gel derived aluminosilicate gels" 4th International Conference on Intelligent Materials, Tokyo (1998)
11. K. Sinkó, L. Cser, R. Mezei, M. Avdeev, H. Peterlik, G. Trimmel, N. Hüsing, P. Fratzl: "Structure investigation of intelligent aerogels" 2nd European Conference on Neutron Scattering, Budapest (1999)
12. K. Sinkó, N. Hüsing, M. Zrínyi: "Piezoelectric property of sol-gel derived composite gels" 7th International Symposium on Smart Structures and Materials, Newport Beach (2000)
13. Rohonczy J., Fél K., Sinkó K.: „Alumínium-szilikát gélek CP/MAS NMR vizsgálata során felmerült elméleti és gyakorlati problémák” Vegyészkonferencia, Debrecen (2000)
14. J. Rohonczy, K. Fél, K. Sinkó: " $^{29}\text{Si}$  CP/MAS and  $^{27}\text{Al}$  MQ/MAS NMR investigation of short range structure in Al(III) containing gels" Prog. Magnetic Resonance of Bioactive Compounds and New Materials, Regensburg (2000)
15. K. Sinkó, K. Fél, J. Rohonczy, N. Hüsing: "Piezoelectric property of sol-gel derived composite gels" 8th International Symposium on Smart Structure and Materials, Newport Beach (2001)
16. K. Sinkó: "Effects on the porosity and structure of aerogels" PORANAL, Eger (2001)
17. K. Sinkó, K. Fél, J. Rohonczy, N. Hüsing: "Preparation of aluminum and silicon containing composite materials by sol-gel method" Sol-Gel Conference, Padova (2001)
18. K. Sinkó, K. Fél: "Effect of preparation's conditions on the structure of PDMS hybrid systems" XI. Int. Materials Research Congress, Cancun (2002)
19. K. Sinkó, K. Fél: "Structure of PDMS hybrid systems" Polymer Networks Conference, Autrans (2002)
20. K. Sinkó, A. Neményi: "Effect of Al- and Si-containing precursors on the structures formed by sol-gel method" 8th Conf. Colloid Chemistry, Keszthely (2002)
21. K. Sinkó, K. Fél, N. Hüsing: „Effects on Porosity of Inorganic and Hybrid Aerogels” Euromat 2003, Lausanne (2003)
22. K. Sinkó, A. Neményi, Zs. Tihanysegi, H. Peterlik: „Study of Al- and Si-containing Precursors in the Sol-Gel Procedures” 8th Japan International SAMPE Symposium (JISSE-8), Tokyo (2003)
23. Sinkó K.: „Nanoszerkezetű alumínium-szilikát rendszerek” Nanotechnikai Konferencia, Budapest (2004)
24. K. Sinkó, V. Torma: "Characterization of Porous Nanostructures" MATERIALS 2005, III International Materials Symposium, Aveiro (2005)
25. K. Sinkó: „Nanocomposite in aluminosilicate system" 12th Int. Conf. on Surface and Colloid Science, Peking (2006)
26. K. Sinkó, E. Horváth, R. Mezei: „Sol-Gel Derived Aluminum-oxo-hydroxide Systems, from Fiber to Bulk" 9th Conference on Colloid Chemistry, Colloid for Nano- and Biotechnology, Siófok (2007)
27. K. Sinkó, A. Meiszterics: "Comparative study of calcium silicate bulk systems produced by different methods" 9th Conference on Colloid Chemistry, Colloid for Nano- and Biotechnology, Siófok (2007)
28. A. Meiszterics, L. Rosta, U. Vainio, K. Sinkó: „Sol-gel derived bioactive calcium silicate systems" Inorganic Materials Conf. Biarritz (2010)
29. A. Meiszterics, L. Rosta, K. Sinkó: „Influence of nanostructure on properties of calcium silicate bioceramics" Euronano, Budapest (2011)
30. A. Meiszterics, K. Sinkó: „Study of bioactive calcium silicate ceramic systems for biomedical applications" 5th Europ. Conf. Int. Fed. for Medical and Biological Engineering (5th Europ. Conf. IFMBE) Budapest (2011)
31. K. Sinkó, J. Sinclair, O. Temesi: „High porosity aluminium oxide systems" 10. Kolloidkémiai Konferencia, Budapest (2012)
32. B. Kobzi, J. Sinclair, S. Kubuki, K. Sinkó "Study on the effect of cryogenic conditions on the porous aluminium oxide structures" Global Human Resource Program Bridging Across Physics and Chemistry, Int. Exchange Prog. Tokyo (2014)
33. B. Kobzi, A. Baris, S. Kubuki, K. Sinkó "Synthesis of highly porous aluminum oxide structures with sol-gel method" Global Human Resource Program Bridging Across Physics and Chemistry, Int. Exchange Prog., Tokyo (2015)
34. K. Sinkó, P. Ádám "Porous aluminum oxide fibers" XVIII. Int. Sol-Gel Conference, Kyoto (2015)
35. K. Sinkó „Absorbability of Highly Porous Aluminum Oxide Ceramics" ACCMES (Asian Conference on Civil, Material and Environmental Sciences), Sapporo (2016)

## **KÖSZÖNET NYILVÁNÍTÁS**

### **Hallgatóknak**

Ádám Péter, Fél Kornél, Földesi László, Horváth Eszter, Kórádi Zoltán, Manek Enikő, Musza Alexandra, Meiszterics Anikó, Mezei Rita, Neményi Anna, Piukovics Norbert, Sinclair Jeremy, Szabó Géza, Tihanszegi Zsolt, Ullmann Kristóf.

### **Kutatóknak**

Peter Fratzl (Max Planck Institut, Poznan),  
Günther Goerigk (DESY, Hamburg, Jülich),  
Nicola Hüsing (Technische Universität Wien, Ulm),  
Herwig Peterlik (Universität Wien, Fakultät Physik),  
Rohonczy János (ELTE, Kémiai Intézet),  
Ulla Vainio (DESY, Hamburg),  
Zrínyi Miklós (SOTE, Biofizika Tanszék)

### **Pályázati támogatásoknak**

#### **EU Mérés pályázatok:**

- Hahn-Meitner-Institute (BENSIC), Berlin
- Elettra Synchrotron Light Laboratory, Trieste
- Deutsches Elektronen-Synchrotron (DESY) Hamburg

#### **OTKA Kutatási és Műszer pályázatok**

#### **Jelentős kutatás-fejlesztési pályázatok:**

- EU Kutatási pályázat FP-7: Cryogenic Hypersonic Advanced Tank Technologies
- P13 „Hőszigetelő vékonyréteg pórusos alapanyag kutatás-fejlesztése”
- KFI 16 „Nagy hőállóságú alumínium-oxid szálas anyag kutatás-fejlesztés”

#### **TÉT Kétoldalú együttműködési pályázatok:**

- Osztrák-Magyar pályázatok
- Japán-Magyar pályázat

#### **Osztrák-Magyar Akció Alapítvány pályázata**