

Ako sa chytá hviezdny prach alebo Čo sú to sál-gélové metódy II.

Jesenák Karol · Prírodné vedy

16.09.2009



V predchádzajúcom príspevku sme sa venovali sál-gélovým metódam. Popísali sme si čo to sál-gélové metódy sú, ako sa gély pripravujú a starnú, aké defekty v géloch môžu vznikáť a metódy zbavovania sa vody v géloch. V dnešnej časti sa budeme venovať využitiu sál-gélových metód, kde sa ich produkty nachádzajú v prírode a ich využitiu pri

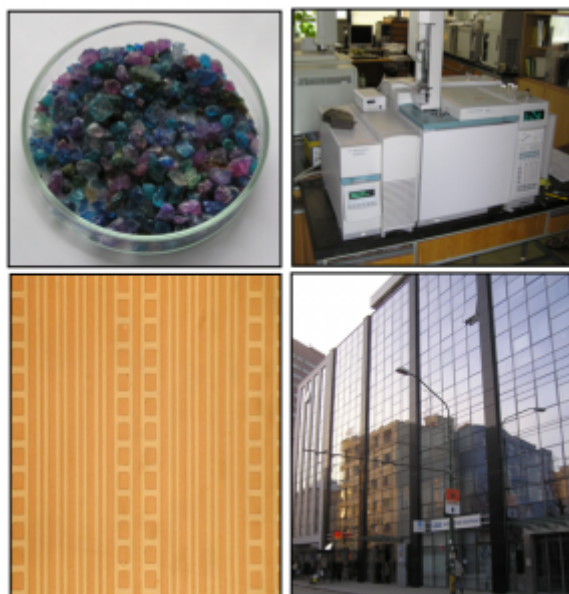
expedicií Stardust.

Využitie sál-gélových metód

Sál-gélovými metódami sa pripravujú jednak látky, ktoré sa dajú pripraviť aj iným spôsobom a jednak látky, ktoré inými spôsobmi pripraviť nemožno. V prvom prípade teda rozhoduje vzájomný pomer výhod a nevýhod oboch metód. K najvýraznejším prednostiam sál-gélových metód patrí vysoká čistota a homogenita produktov a zároveň aj nízka teplota prípravy. Gély sa najčastejšie pripravujú pri laboratórnej teplote a preto rozdiel teplôt oproti tradičným metódam môže dosahovať aj 500 °C. Táto výhoda sa uplatňuje najmä pri príprave a výrobe špeciálnej keramiky a skiel. Ďalšou výhodou sál-gélových metód je možnosť pripravovať telesá rôzneho tvaru metódou odlievania. Táto výhoda sa uplatňuje najmä pri príprave optických materiálov. K veľkým výhodám týchto metód patrí možnosť plynulej zmeny fyzikálnych vlastností sál-gélových produktov jednoduchou zmenou podmienok prípravy, napríklad zmenou koncentrácií látok, zmenou vzájomných pomerov reaktantov, zmenou teploty, pH a pod. K najvýznamnejším nevýhodám sál-gélových metód patrí vysoká cena vstupných surovín a často aj vysoké nároky na bezpečnosť syntéz.

Sál-gélovými metódami sa dnes pripravuje obrovské množstvo látok. Sú to jednak látky veľmi moderné, ale aj tradičné. Ako vyzerajú látky pripravované sál-gélovými metódami? Môžu to byť prášky, granule, monolitické telesá, tenké filmy a povlaky alebo aj vlákna (obr. 8). Sú to látky pórovité aj nepórovité, transparentné alebo netransparentné, farebné a tiež bezfarebné. Z hľadiska chemického zloženia sa môže jednať o látky veľmi jednoduché, ako sú napríklad oxidy prechodných prvkov alebo oxidy kovov (napr.: SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , NiO , ZnO , PbO). Pri tejto príležitosti je asi namieste otázka, ako je možné, že tak triviálne látky, ako sú spomenuté oxidy, môžu byť zároveň aj jednými z najmodernejších látok súčasnej chémie. Odpoveď na túto otázku vyplýva zo vzťahu medzi vnútornou štruktúrou a vlastnosťami látok. U amorfných látok je variabilita ich štruktúr neporovnateľne vyššia, ako

u kryštalických látok. Takmer neobmedzené možnosti zmien vnútornej štruktúry, ktoré vyplývajú už iba z neobmedzených variácií priestorového sieťovania polymérneho reťazca, dovoľujú získať materiály takmer s plynulou zmenou vlastností. Ako príklad je možné uviesť oxid kremičitý, ktorý sa ako kryštalická látka vyskytuje v troch štruktúrnych typoch, ako kremeň, cristobalit a tridymit. Kremeň je jednou z najrozšírenejších látok v prírode a jeho cena je spravidla veľmi nízka. Avšak amorfné formy SiO_2 predstavujú veľkú skupinu látok, s vlastnosťami, ktoré sa často pohybujú v obrovskom rozsahu. Ich cena je takmer vždy neporovnateľne vyššia, ako je cena kremeňa.



Obr. 8. Obrázky ukazujú výber niektorých dôležitých sól-gelových produktov. Sú to bežné laboratórne sorbenty (silikagél), špeciálne sorbenty používané v analytických prístrojoch, elektronické súčiastky (plošné spoje) a farebné a reflexné povlaky na obkladových sklách budov

Z hľadiska objemu výroby sú najvýznamnejším sól-gelovým produktom optické filmy. Z nich najväčšiu časť tvoria filmy na stavebných obkladových sklách. Ich ročná výroba predstavuje milióny štvorcových metrov. Tieto filmy určujú farbu skiel, ich transparentiu, reflexiu a index lomu. Podobnú funkciu môžu mať tieto filmy aj na okuliaroch a v optických častiach prístrojov. Dôležitým sól-gelovým produktom sú ochranné povlaky a filmy vyrovnávajúce nerovnosti povrchu. Využívajú sa pri výrobe zrkadiel do ďalekohľadov a prístrojov. Ďalšou skupinou sú elektronické vodivé, polovodivé a nevodivé filmy, využívané najmä v elektronike a optoelektronike.

Tradičnými sól-gelovými látkami sú sorbenty, vysušovadlá a katalyzátory. Mnohé z moderných analytických metód, ako sú napríklad plynová alebo kvapalinová chromatografia, sú založené na delení zmesí látok na rôznych sól-gelových sorbentoch. Dôvod, prečo sa tieto látky používajú práve týmto spôsobom, vyplýva práve z neobmedzených možností modifikácie zmien pórovitej štruktúry, ako aj fyzikálno-chemických vlastností týchto látok.

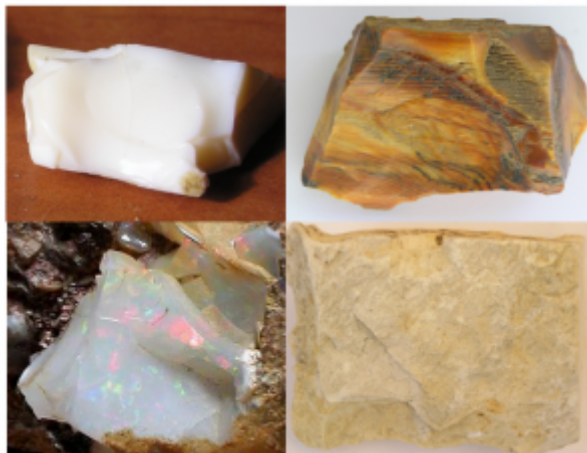
Veľkú skupinu sól-gelových produktov tvoria tepelno-izolačné, zvukovo-izolačné a elektro-izolačné materiály. Ich výhodou je vysoká tepelná stabilita a ekologická akceptovateľnosť; obe vlastnosti vystupujú do popredia najmä pri porovnaní s

organickými látkami.

Sól-gélové produkty v prírode

Napriek tomu, že sól-gélové metódy sú označením pre sofistikované syntetické produkty, existuje niekoľko látok, ktoré vznikajú podobným spôsobom aj v prírode. Sú reprezentované najmä minerálom opálom a horninami, obsahujúcimi tento minerál. Je niekoľko druhov opálu, avšak všetky vznikajú polymerizáciou kyseliny kremičitej alebo kremičitanov. Jedna zo zaujímavých variet opálu je tzv. drevný opál, ktorý vzniká impregnáciou odumretých stromov kyselinou kremičitou. Kyselina kremičitá polymerizuje tak, že postupne tvorí stále väčšie a väčšie častice. V počiatočných fázach polymerizácie sú tieto častice schopné prenikať do tkaniva rastlinných a živočíšnych zvyškov, avšak v dôsledku pokračujúcej polymerizácie sa veľkosť častíc zväčší natolko, že zostávajú v týchto tkanivách ako nevratne viazaná nerozpustná zložka konzervujúca tieto tkanivá. Takýmto spôsobom sa drevo stromu premieňa na mimoriadne tvrdú horninu, ktorá je omnoho odolnejšia voči zvetrávaniu ako pôvodný organický materiál. Takto sa nám až do dnešných čias zachovalo mnoho už neexistujúcich - milióny rokov starých stromov. Opály patria k bežným, často sa vyskytujúcim minerálom. Najznámejší je však tzv. drahý opál, ktorý je na Slovensku veľmi populárny. Je to preto, že je to jediný drahý kameň, ktorý sa na Slovensku ťažil. Lokality ich výskytu v Slánskych vrchoch boli niekedy najvýznamnejším svetovým náleziskom opálu. Tento fakt je doteraz dokumentovaný takmer vo všetkých významných svetových vydaniach mineralógií a atlasov minerálov.

Ak porovnáваме syntetické a prírodné „sól-gélové“ látky, zistujeme dva významné rozdiely. Po prvé, rozsah vlastností syntetických produktov je omnoho väčší ako u opálov. Napríklad, hustota syntetických látok sa pohybuje v rozsahu asi štyroch poriadkov, kým u opálov iba v rozsahu niekoľkých percent. Po druhé, homogenita a čistota syntetických produktov je neporovnateľne vyššia, ako u ich prírodných analógov. Paradoxne, cena najdrahších syntetických sól-gélových produktov, je neporovnateľne nižšia ako cena drahých opálov. Napríklad najkrajší drahý opál nájdený na Slovensku v roku 1775 sa predal koncom devätnásteho storočia za 700 000 viedenských zlatých; v súčasnosti sa tento opál nachádza v jednom z prírodovedných múzeí vo Viedni. Je zaujímavé, že opály môžu obsahovať aj „domény“ s mimoriadne vysokým stupňom usporiadanosti, ktoré sú na nerozoznanie od syntetických látok. Napriek popularite opálov, nemajú tieto minerály takmer nijaké priemyselné využitie. Na druhej strane, opálové horniny priemyselný význam majú. Z tohto hľadiska je najvýznamnejšou horninou diatomit, ktorý sa používal na výrobu dynamitu, kde slúžil ako stabilizátor nitroglycerínu. Dnes sa používa najmä ako tepelno-izolačný materiál. Opál v tejto hornine však vznikol biochemickou cestou.

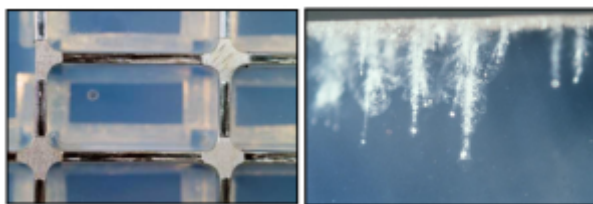


Obr. 9. Mliečny a drahý opál (ľavé obrázky), opál drewný (vpravo hore) a diatomit (vpravo dole)

Ako sa chytá hviezdny prach

Jedným z najzaujímavejších sál-gélových produktov je vysokopórovitá látka nazývaná SiO_2 -aerogél. Má mnoho použití, ale jedno z nich je predsa len veľmi zvláštne. Je ním záchyt hviezdneho prachu. Hviezdny prach je zvláštnym typom vesmírnej hmoty. Sú to častice s priemerom niekoľkých mikrometrov a tvoria ho najmä grafitové alebo silikátové častice. Hviezdny prach tvorí asi jednu desatinu hmotnostného percenta celkovej hmotnosti galaxií. Pretože najväčšiu časť vesmírnej hmoty tvoria subatomárne častice a plyny, prachové častice predstavujú významný podiel kondenzovanej vesmírnej hmoty. Napriek tomu, že tieto prachové častice sú malé, sú dobre viditeľné aj na vzdialenosti niekoľkých tisícov svetelných rokov; úchvatné obrázky hviezdnych hmlovín vidíme najmä vďaka rozptylu svetla na týchto prachových časticiach. Informácie o hviezdnom prachu v hmlovinách sú však prirodzene veľmi obmedzené, pretože vzhľadom na obrovské vzdialenosti, sa nám ho nikdy nepodarí získať.

Existujú však možnosti ako získať vzorky hviezdneho prachu. Sú tu tri cesty. Prvá, najjednoduchšia, je pokúsiť sa ich „uloviť“ v tesnej blízkosti našej Zeme. Takýto odber sa musí realizovať vo veľkých výškach atmosféry pomocou lietadiel. Vzorky mikroskopického vesmírneho materiálu sa získavajú pomocou výškových lietadiel vo výške približne 20 km nad zemským povrchom. Jedná sa vlastne o mikroskopické meteority. Druhá možnosť je zachytiť ich na obežnej dráhe Zeme pomocou kozmických staníc. Tretia, najťažšia cesta, je vydať sa za hviezdny prach mimo obežnú dráhu Zeme. Vo všetkých troch prípadoch sa jedná o riešenia, ktoré sú založené na rovnakom princípe. Načo potrebujeme hviezdny prach? Záujem o túto látku súvisí s tým, že sa jedná o jeden z reziduálnych produktov rozpadu hviezd, ale zároveň aj o zárodočný materiál pre vznik hviezd nových.

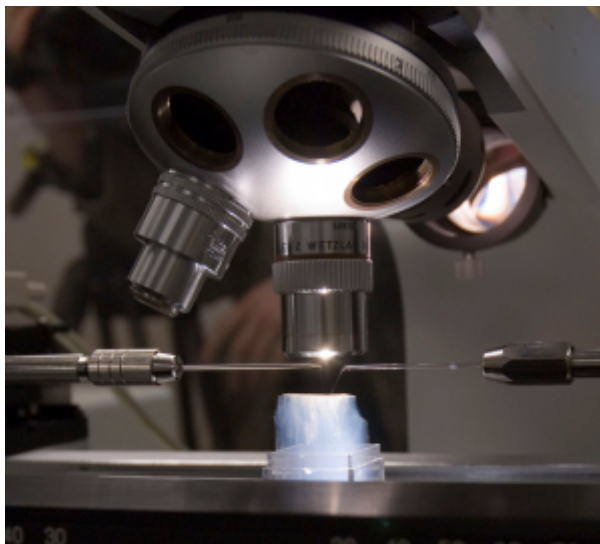


Obr. 10. Kazeta s SiO_2 -aerogélom a dráhy častíček hviezdneho prachu zachyteného kozmickou sondou v rámci projektu Stardust

Aký je problém pri záchyťte hviezdneho prachu? Predstava prachových častíc, pomaly sa vznášajúcich vo vzduchu, sa v žiadnom prípade nezlučuje s časticami hviezdneho prachu. Sú tu minimálne dva rozdiely. Prvý sa týka jeho zloženia - veľkú časť prachových častíc na zemi tvoria organické látky. Takéto častice sa vo hviezdnom prachu nenachádzajú. Druhý rozdiel je v smere a rýchlosti prachových častíc. „Pozemský prach“ chaoticky poletuje malou rýchlosťou v smere prúdenia vzduchu, naproti tomu častice hviezdneho prachu letia priamočiaro veľkou rýchlosťou. Práve rýchlosť na úrovni desiatok kilometrov za sekundu, je zdrojom najväčších ťažkostí so záchyťtom týchto častíc. V podstate sa jedná o problém, ktorý je analogický záchyťtu letiaceho projektilu. Rozdiel je v tom, že tento vesmírny projektil má vyššiu rýchlosť a nižšiu hmotnosť a je potrebné ho zachyťtiť bez poškodenia na veľmi krátkej brzdnjej dráhe. Toto je však problém, pretože veľká zmena hybnosti častíc na extrémne krátkej dráhe, zákonite spôsobuje tvarovú deformáciu častíc. Najdôležitejšou požiadavkou pri záchyťte častíc hviezdneho prachu je však to, aby sme ho získali v nezmenenom stave.

Riešenie v podobe záchyťtu prachu v SiO₂-aerogéle spočíva v tom, že jeho častice sa spomaľujú na veľkom počte „jemných“ prekážok, ktoré majú veľmi nízky odpor proti prieniku častice a preto nespôsobujú ich deformáciu. Zároveň transparentnosť tejto látky umožňuje vidieť aj celú dráhu prieniku častice do aerogélu. Najdrahšia vzorka prachu, ktorá kedy bola na zemi analyzovaná, je prachový materiál s hmotnosťou asi jedného mikrogramu, pochádzajúci z chvosta kométy Wild 2. (Táto kométa bude zo Zeme opäť viditeľná až v marci r. 2010.) Odber prachu bol cieľom vesmírneho programu Stardust, realizovaného vesmírnou agentúrou NASA (National Aeronautics and Space Administration). Hlavný argument pre realizáciu tohoto mimoriadne drahého projektu bola skutočnosť, že kométa je výnimočným rezervoárom rôzneho vesmírneho materiálu, ktorého vek môže siahať až do obdobia vzniku Slnečnej sústavy.

Expedícia Stardust začala 7. februára v roku 1999, keď z mysu Canaveral (USA) odštartovala raketa Delta II so zariadením pre odber prachového materiálu. Ten sa uskutočnil v januári roku 2004 po prelete 4,6 miliárd kilometrov. Padák so vzorkami pristál na Zemi 15. januára 2006. Na analýze prachových častíc sa podieľal kolektív 150 vedcov z rôznych krajín. Tento prach obsahoval jednak malé sklovité častice, ktoré sú typické pre objekty pochádzajúce z priestoru mimo Slnečnej sústavy, ale zároveň aj veľké kryštalické častice, ktorých pôvod je v skorých štádiách vzniku Slnečnej sústavy. Najväčšia častica mala veľkosť približne 10 mikrometrov. Prach obsahoval častice olivínu, pyroxénu, sulfidy železa a niklu. Zároveň sa v ňom našli tepelne veľmi stabilné minerály, ktoré vznikli kondenzáciou z plynu. Tvorili ich zlúčeniny titánu, vanádu a dusíka, ako aj veľmi jemné častice titánu, osmia, ruténia, volfrámu a molybdénu.



Obr. 11. Obrázok ukazuje separáciu mikroskopických častíc hviezdneho prachu pomocou dvoch počítačom riadených manipulačných ihiel



Obr. 12. Obrázok ukazuje separované častice hviezdneho prachu získané v rámci misie Stardust. Veľkosť najväčšej častice je približne desať mikrometrov

Poznámka

Obrázky 10, 11 a 12 sú prevzaté z voľne prístupnej Internetovej stránky:
http://www.nasa.gov/mission_pages/stardust/main/index.html (dňa 5. 5. 2007).

Pracovisko autora: Katedra anorganickej chémie, Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského, Mynská dolina CH-2, 842 15 Bratislava
