

Матеріали на основі аерогелів:  
класифікація, підходи до синтезу та сфери  
застосування

Лекція 14

03.06.2015



1. Поняття про аерогелі

2. Історія та класифікація аерогелів

3. Перетворення гелів в аерогелі

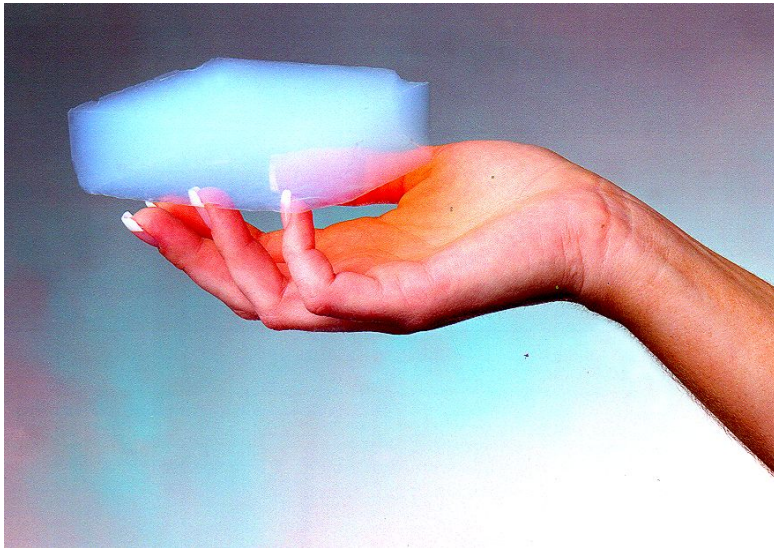
4. Структура та мікротекстура

5. Сфери застосування аерогелів



# Поняття про аерогелі

Аерогель – це синтетичний пористий надлегкий матеріал, одержаний з гелю шляхом заміни рідкого розчинника на газоподібний без зміни структури.



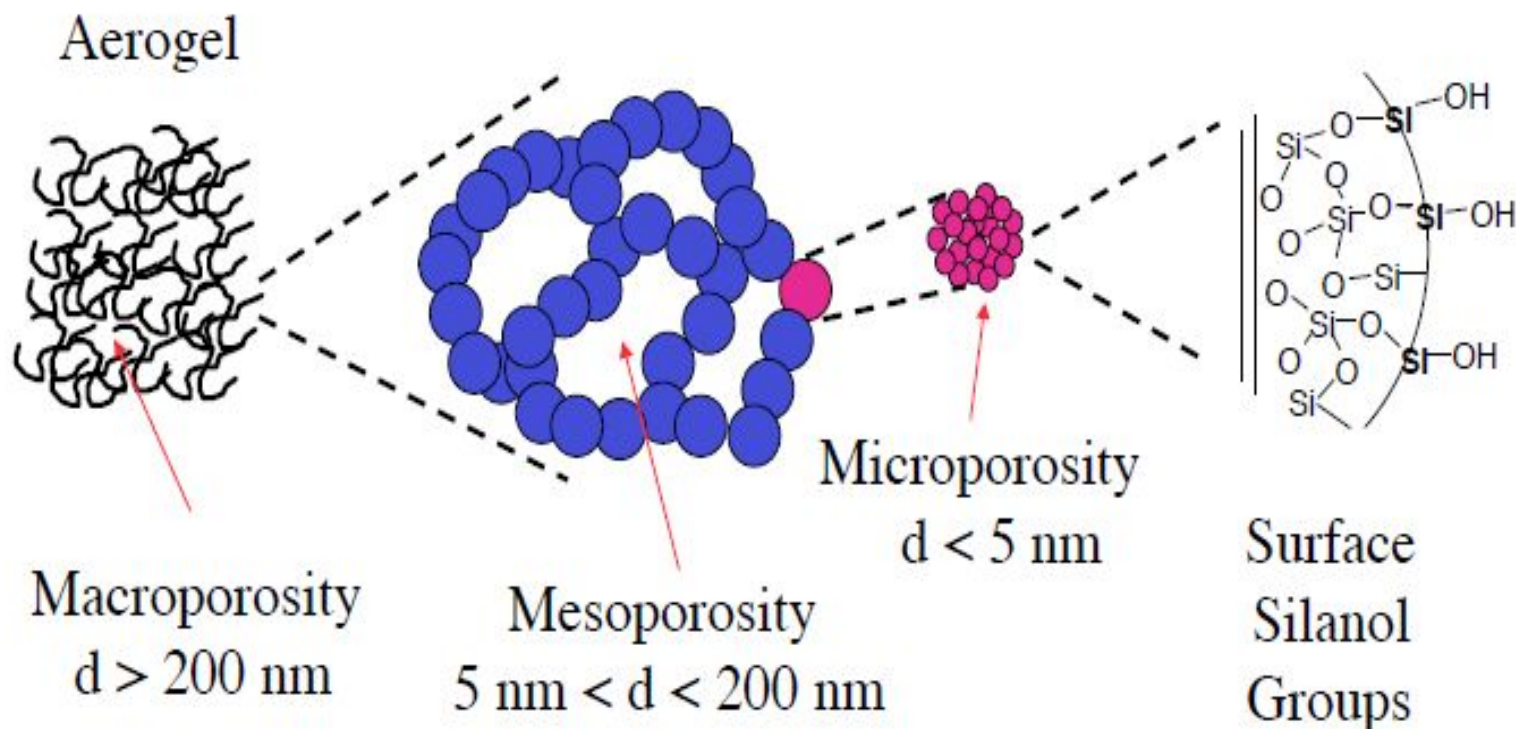
IUPAC: Aerogel is a gel comprised of a microporous solid in which the dispersed phase is a gas

Property	Silica Aerogel	Silica Glass
Density (kgm <sup>3</sup> )	5 – 200	2300
Specific Surface Area (m <sup>2</sup> /g)	500 – 800	0.1
Refractive Index at 632.8 nm	1.002 – 1.046	1.514 – 1.644
Optical Transmittance at 632.8 nm	90%	99%
Coefficient of Thermal Expansion 1/C at 20–80 deg C	$-2 \times 10^{-6}$	$10 \times 10^{-6}$
Thermal Conductivity (W/mK) at 25 deg C	0.016 – 0.03	1.2



# Характеристики аерогелів

## ■ Структурні (пористість та фрактальність)



## ■ Властивості композиту (Ефект Кнудсена...)



# Історія відкриття



Aerogels invented



Aerogels for spacesuits



Aspen makes fiber-reinforced aerogels



Aerogels offshore

Pyrogel 6350 created for the petrochemical processing industry



From the 30's to the 80's, many large chemical companies tried to produce aerogels



Aspen Aerogels born



7-10 MM sqft capacity

Plant 1 opens

Plant 2 opens





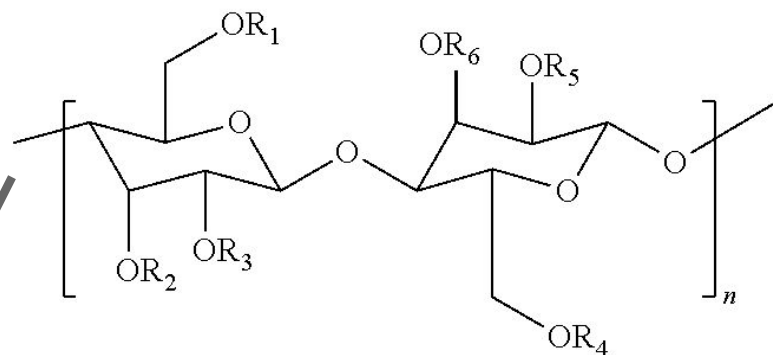
# Класифікація аерогелів

- Аерогелі
  - За агрегатним станом
    - - Моноліт
    - - Порошок
    - - Плівка
  - За методом синтезу
  - За структурою
  - За складом
    - - Однокомпонентні
    - - Багатокомпонентні
- - Ксерогелі
- - Кріогелі
- - Мікропористі
- - Мезопористі
- - Змішані

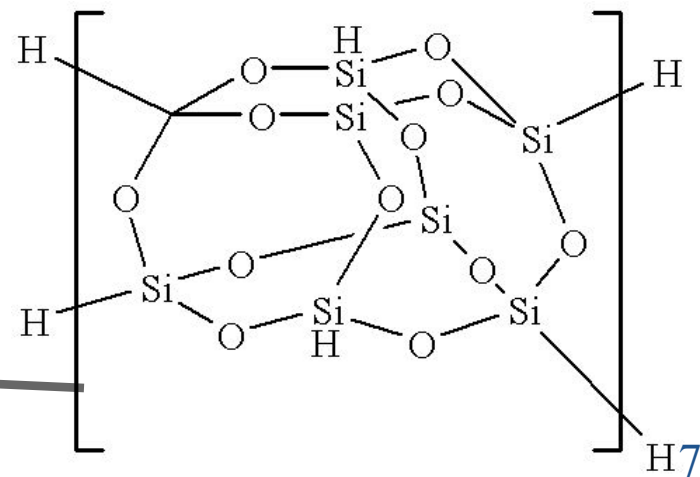


# Класифікація за хімічним складом

- Металічні
- Вуглецеві
- Органічні
- Оксидні
- Силікатні

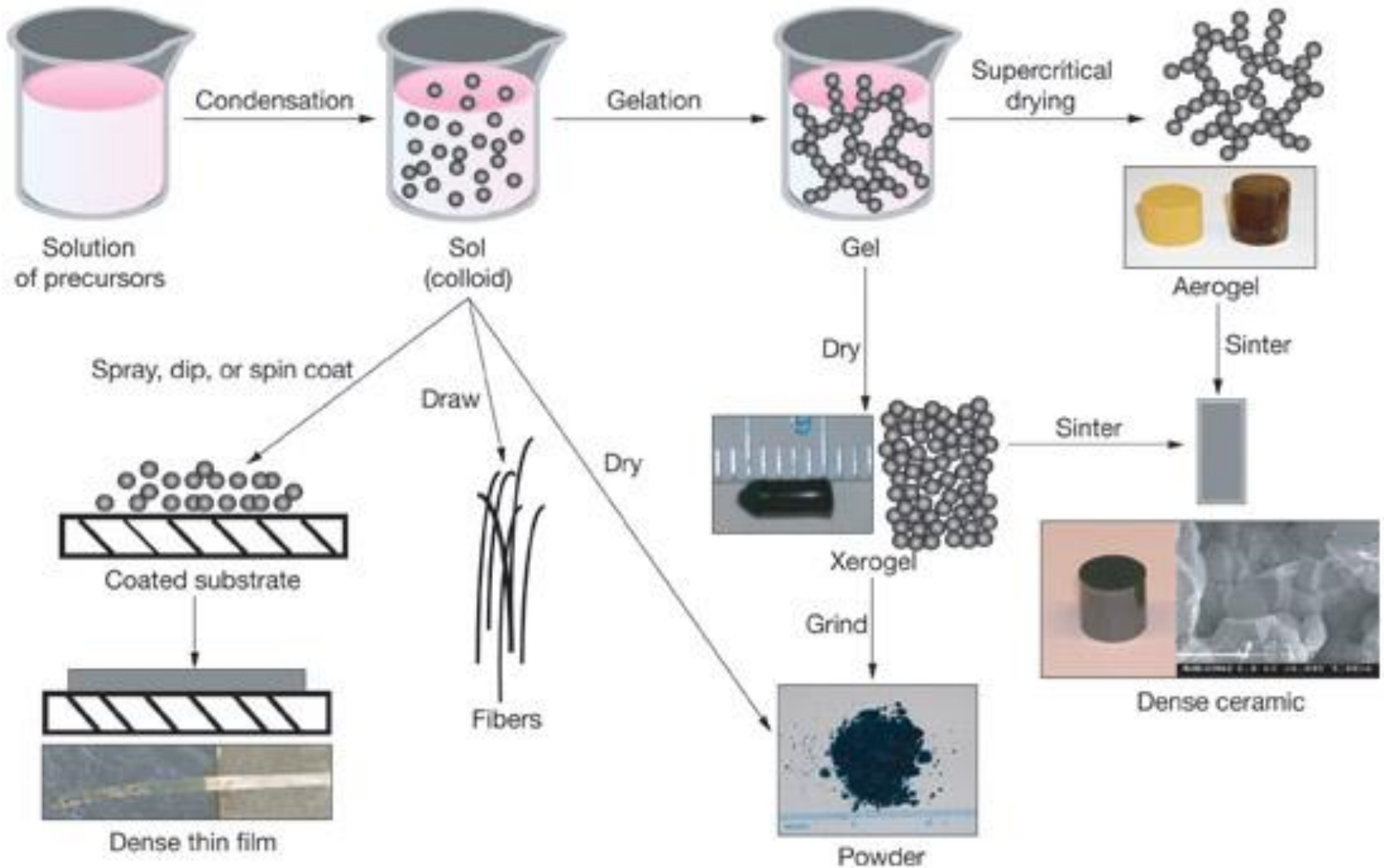


ZrO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,  
V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>



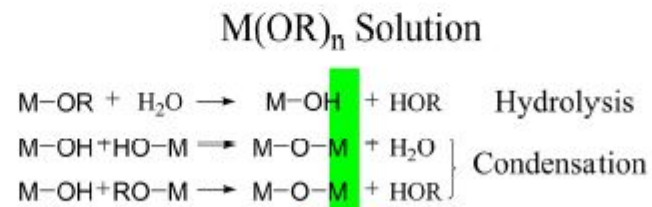
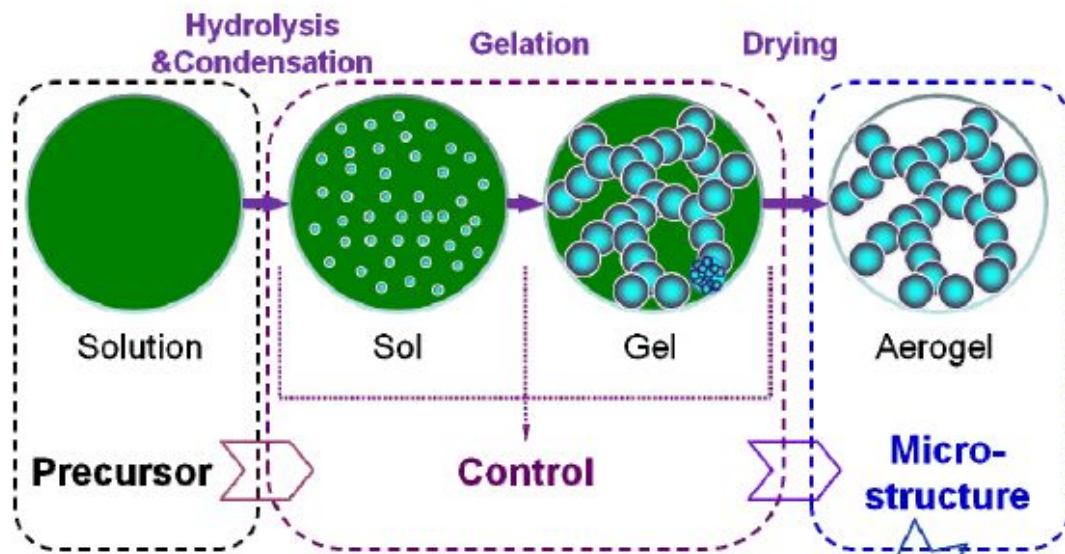


# Золь-гель синтез





# Дизайн силікатних аерогелів



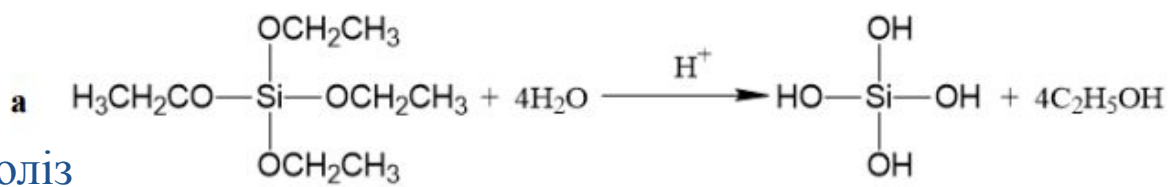
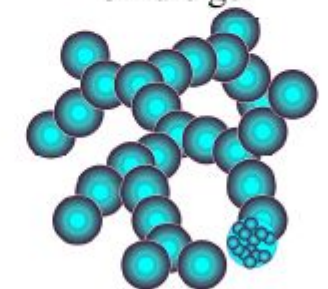
Oxidic sol



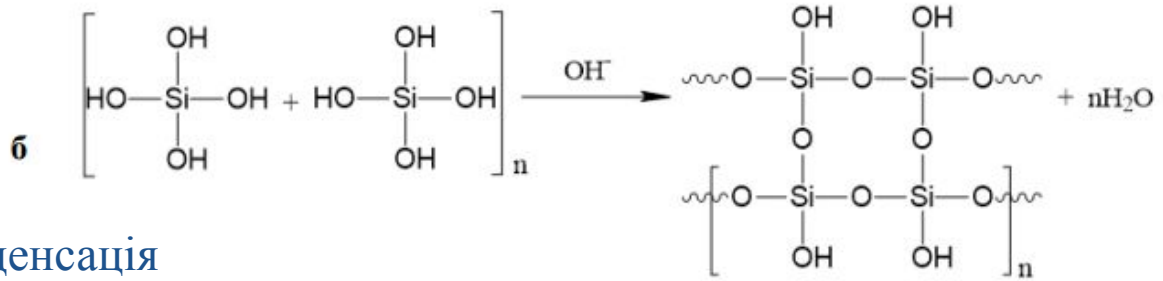
Crosslinking



Oxidic gel



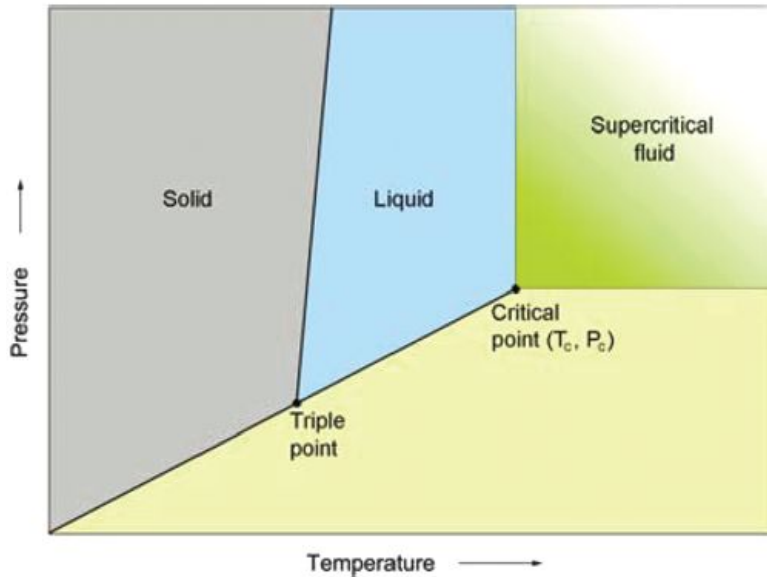
Гідроліз



Конденсація

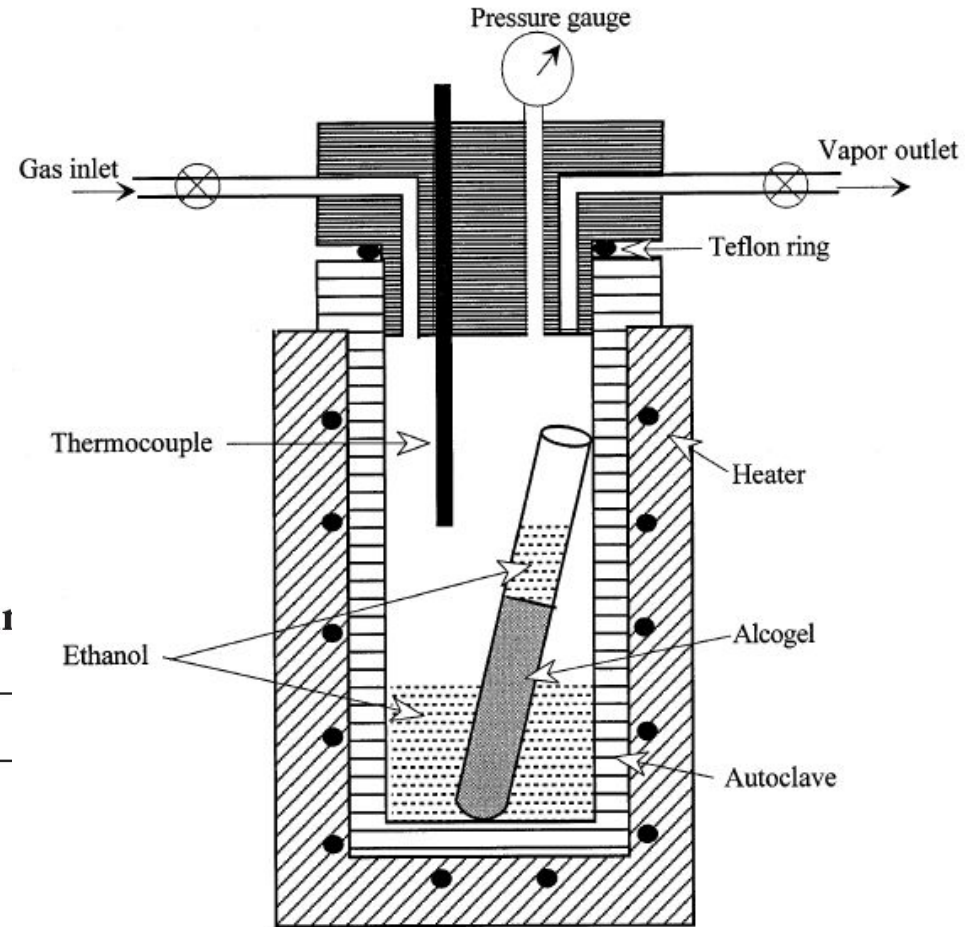


# Сушка в надкритичних умовах



**Table 1. Critical Point Parameters of Com Fluids<sup>73</sup>**

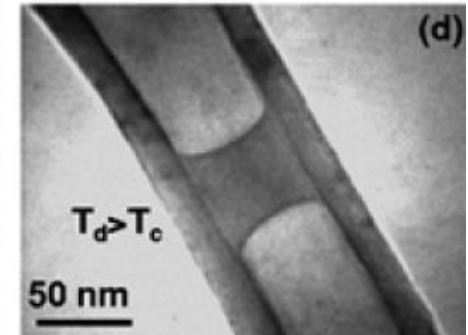
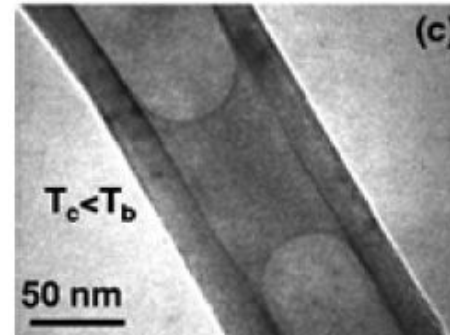
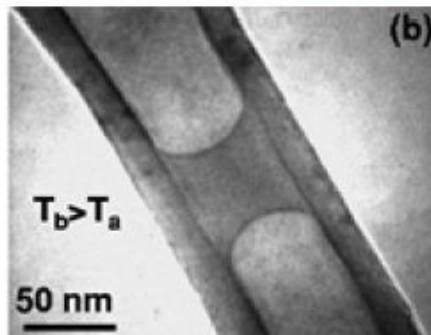
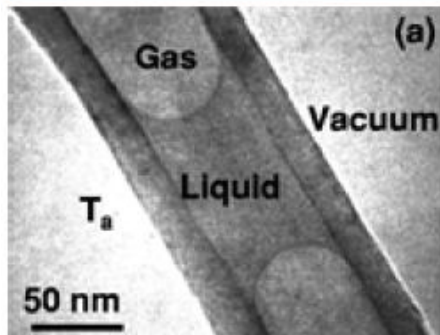
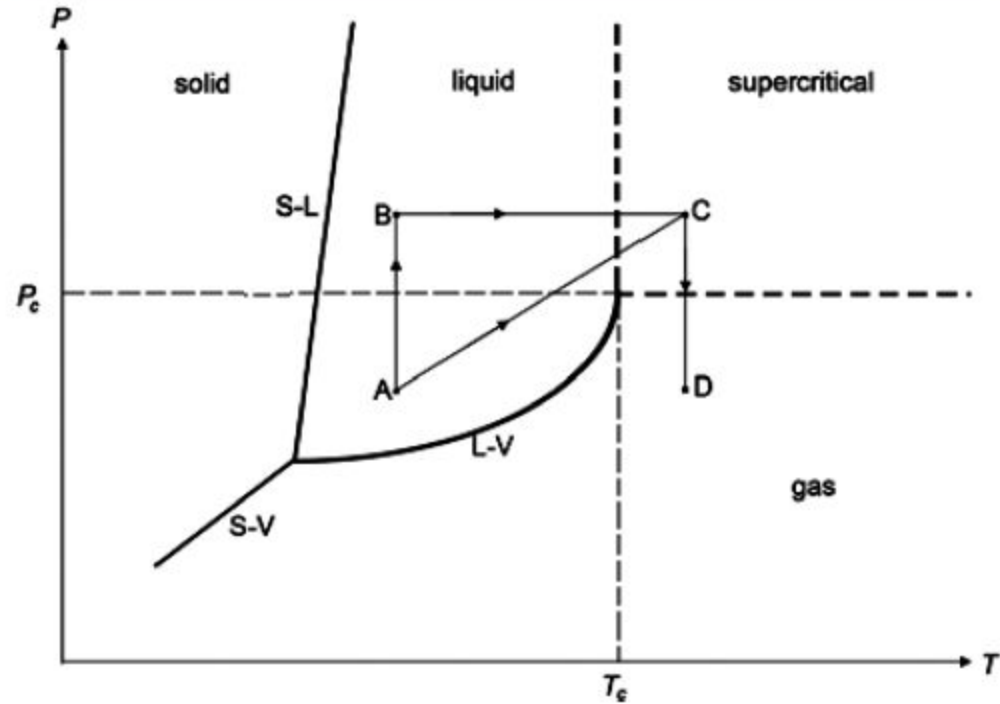
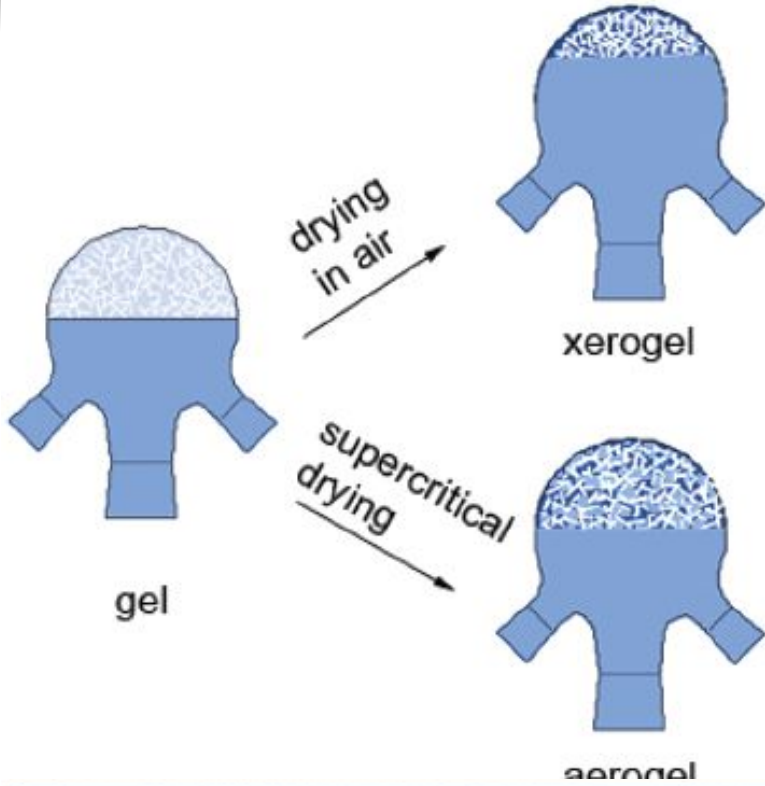
fluid	formula	$T_c$ (°C)
water	H <sub>2</sub> O	374.1
carbon dioxide	CO <sub>2</sub>	31.0
Freon 116	(CF <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	19.7
acetone	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> O	235.0
nitrous oxide	N <sub>2</sub> O	36.4
methanol	CH <sub>3</sub> OH	239.4
ethanol	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	243.0



7.24  
8.09  
6.3



# Одержання Гелю

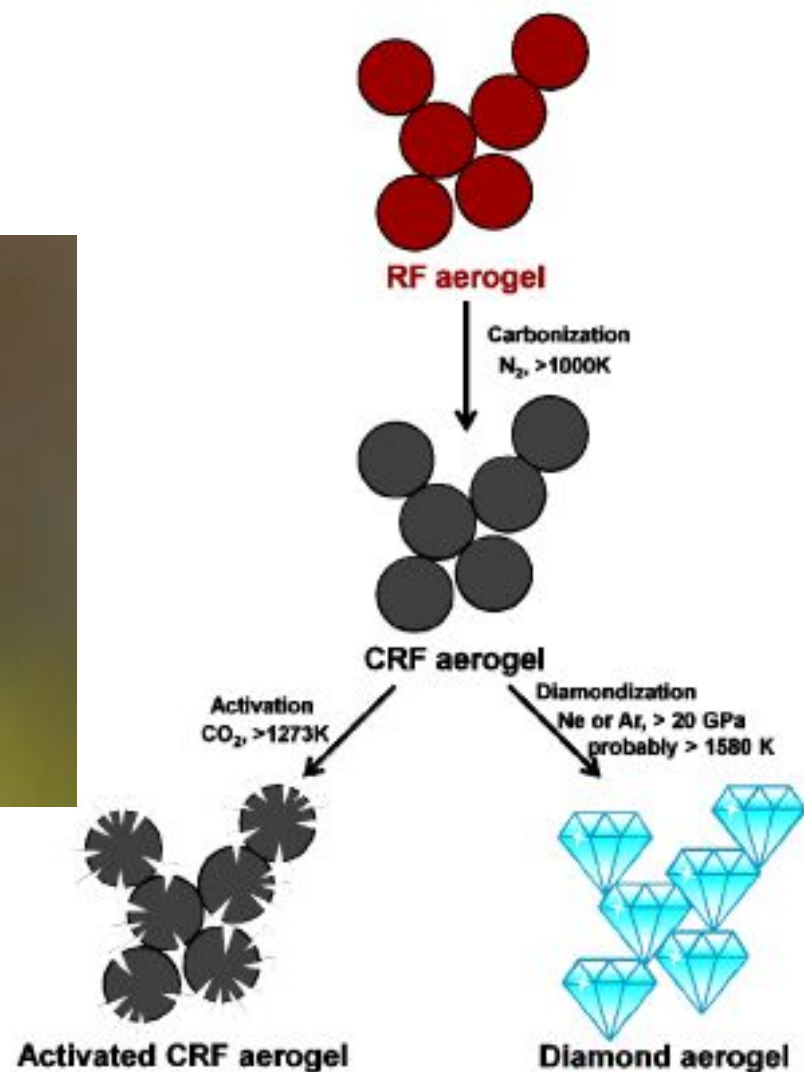




# Вуглецеві аерогелі

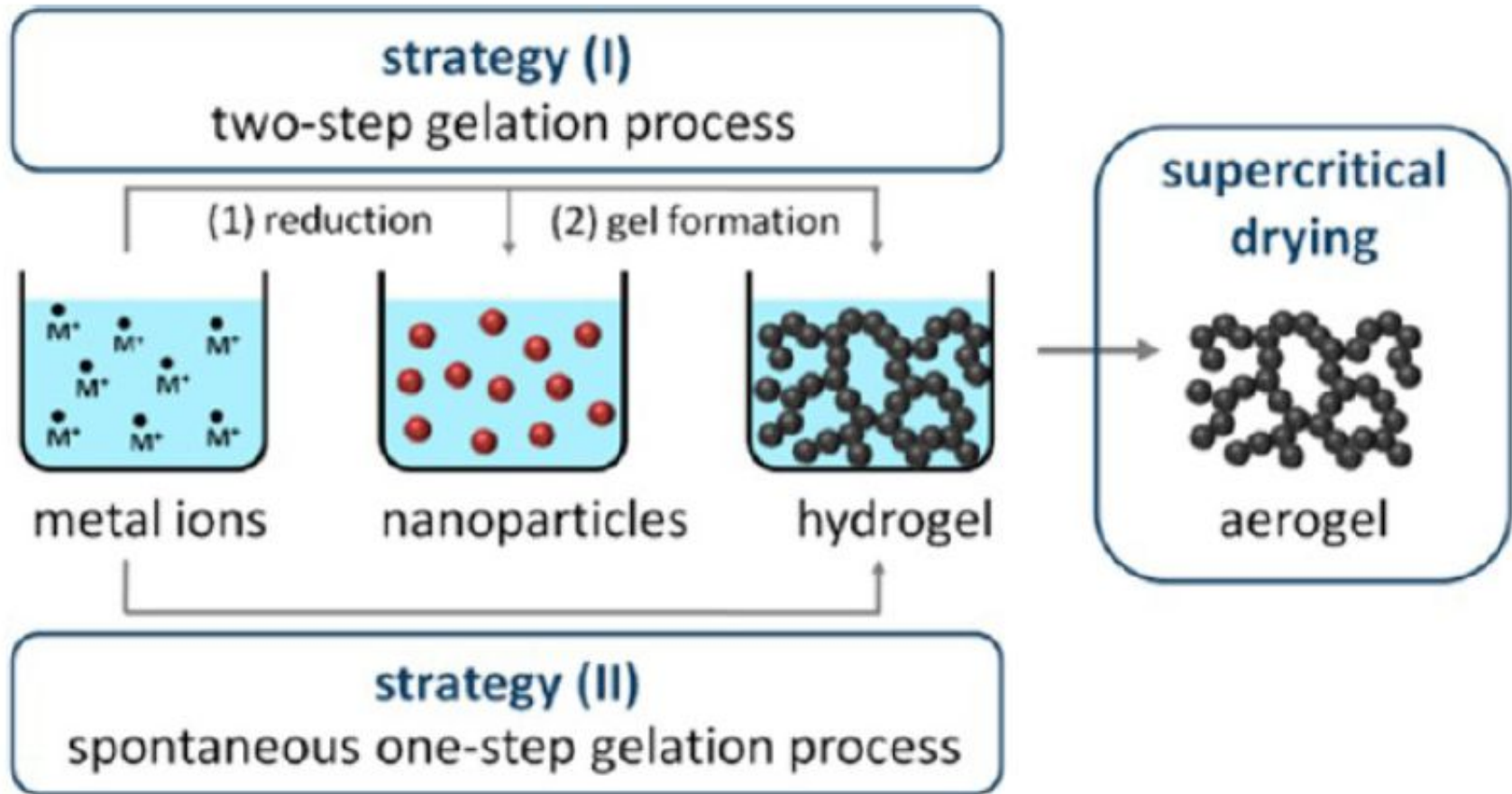
Площа поверхні - 400–1,000 m<sup>2</sup>/g.

Метод синтезу – піроліз  
(resorcinol–formaldehyde (RF) aerogel)





# Металічні аерогелі

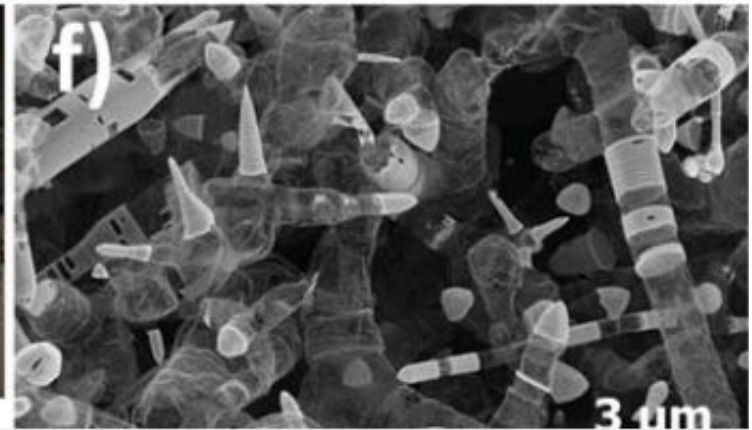
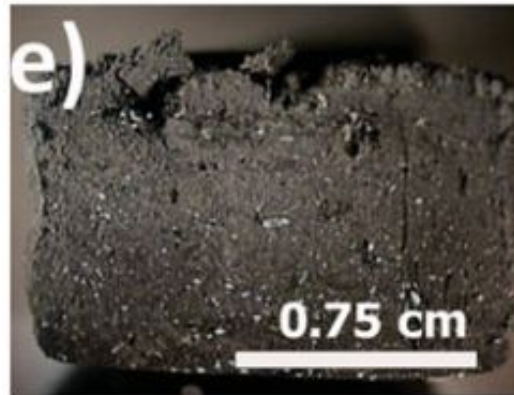
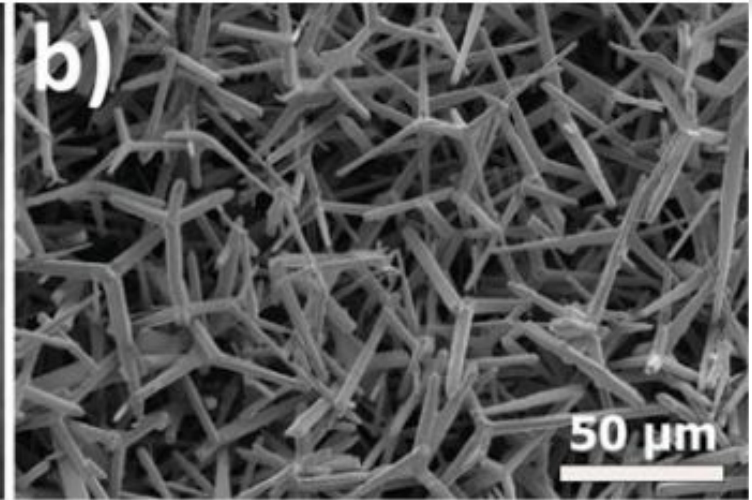
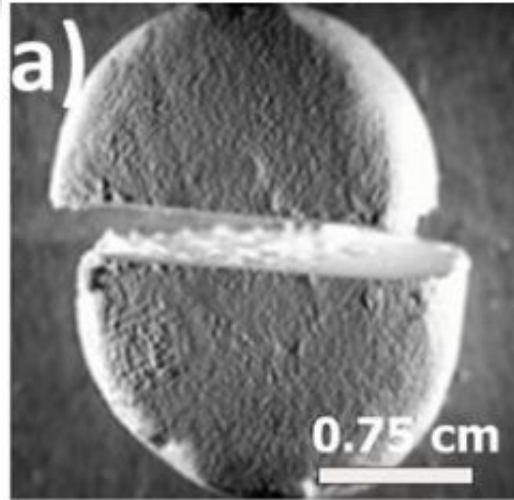




Синтез:

CVD на темплаті ZnO

- The density of [air](#) is  $1,200 \text{ g/m}^3$  (at  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  and  $1 \text{ atm}$ ).
- [Aerographene](#) -  $160 \text{ g/m}^3$ , or 0.13 times the density of air at room temperature

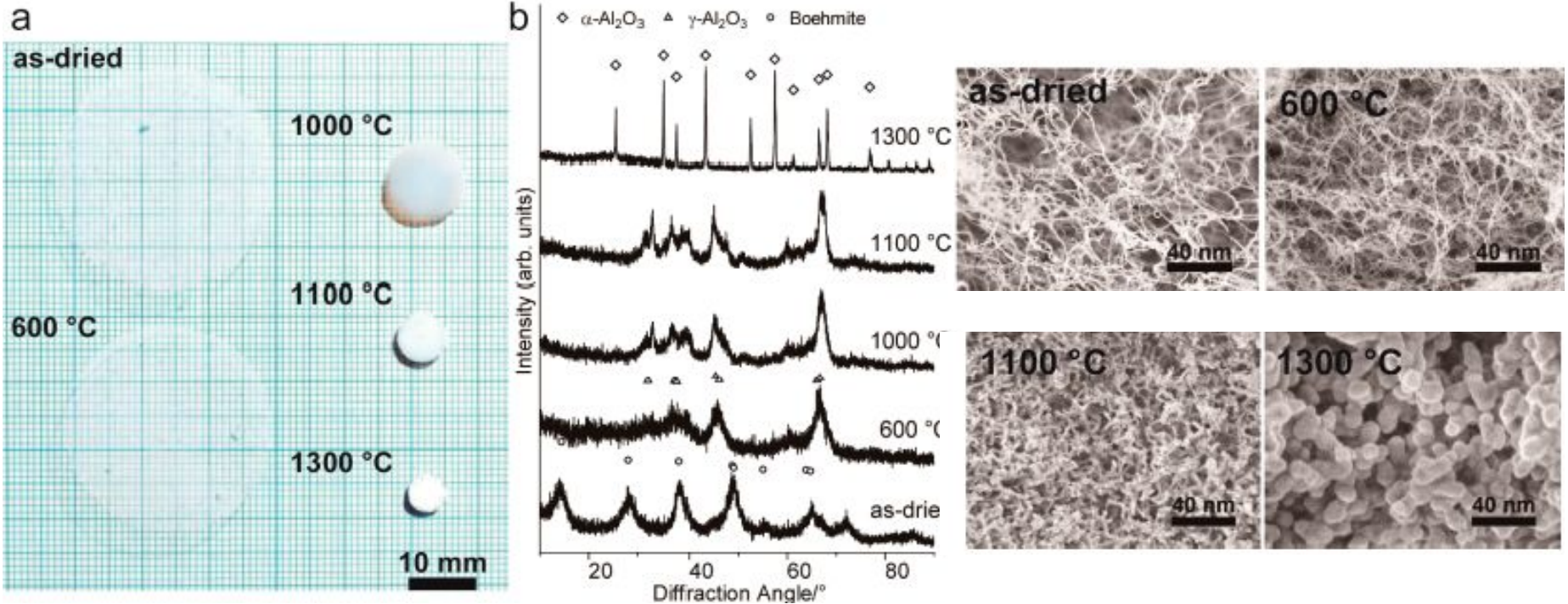


**Advanced Materials**

**Volume 24, Issue 26, pages 3486–3490, July 10, 2012**



# Методи дослідження



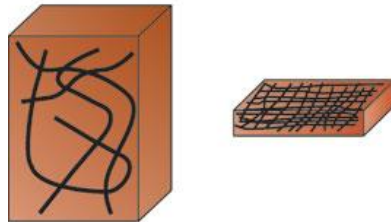
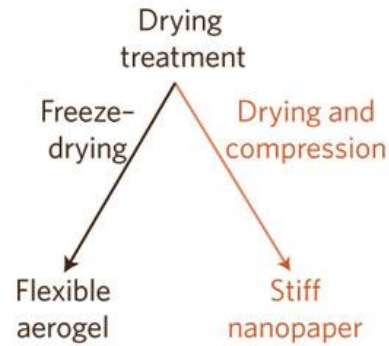
Рентгенаморфні,  
Дослідження поверхні,  
SEM/TEM

Недоліки:  
Гідрофільність,  
Крихкість,  
Старіння

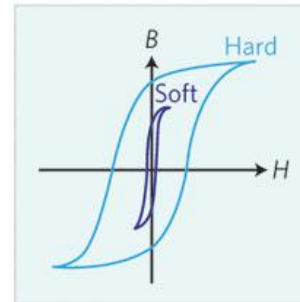
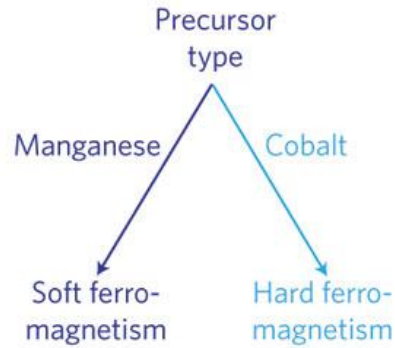


## Металічні аерогелі

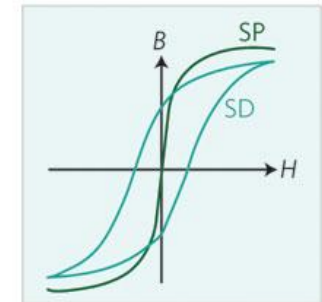
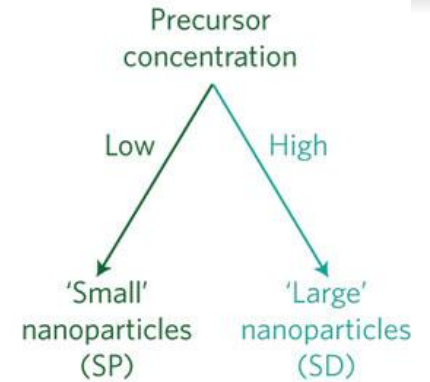
a



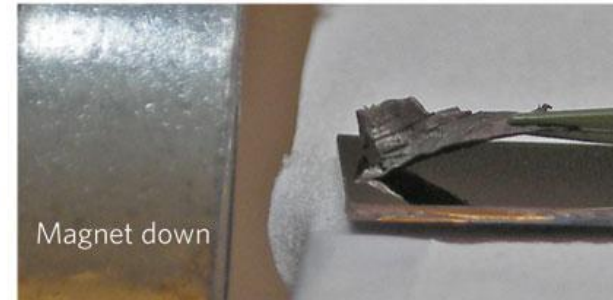
b



c



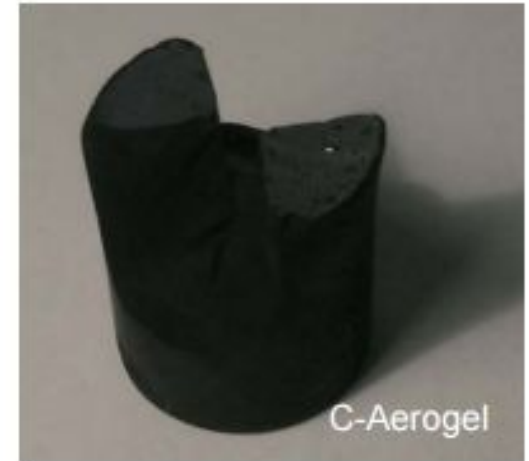
d







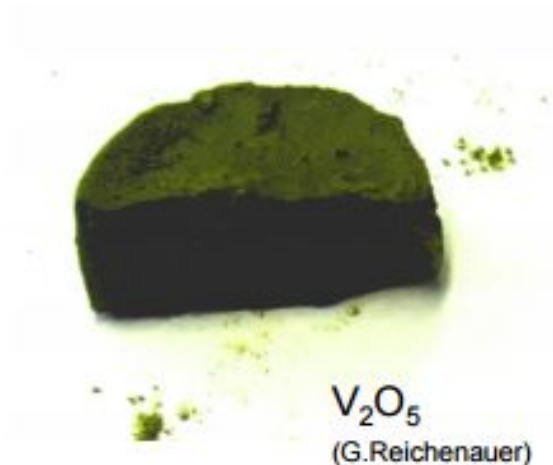
# Різноманіття



## Appearance of some aerogels



TiO<sub>2</sub>



V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>  
(G.Reichenauer)



RF-Aerogel



# Застосування



## Aerogel *Mystifying Blue Smoke*

At first glance aerogel resembles a hologram. It's deceiving whether it's really there or not. A highly porous solid material, aerogel has the lowest density of any solid known to man. One thousand times less dense than glass, aerogel has earned the nickname, "solid blue smoke."



The crayons on top of the aerogel are protected from the flame underneath, and are not melting.



Aerogel will be used on the STARDUST spacecraft to capture comet particles from Comet Wild 2.



Aerogel is strong and easily survives launch and space environments. It has been used for the Mars Pathfinder and other rover missions.

- Проект [«Стардаст»](#) як матеріал для пасток космічного пилу.
- радіатор в лічильниках заряджених частинок Черенкова
- Dunlop включив аерогель у форму своєї нової серії тенісних ракеток...



# Вироби з аерогелів





# Властивості та застосування

Property	Feature	Application
Thermal conductivity	<ul style="list-style-type: none"> <li>(i) Best insulating solid</li> <li>(ii) Transparent</li> <li>(iii) Withstand high temperature</li> <li>(iv) Light weight</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(i) Building construction and appliance insulation</li> <li>(ii) Storage media</li> <li>(iii) Automobiles, Space vehicles</li> <li>(iv) Solar devices, solar ponds</li> </ul>
Density/porosity	<ul style="list-style-type: none"> <li>(i) Lightest synthetic solid</li> <li>(ii) High surface area</li> <li>(iii) Multiple compositions</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(i) Catalysis</li> <li>(ii) <b>Sensor</b></li> <li>(iii) Fuel storage</li> <li>(iv) Ion exchange</li> <li>(v) Filters for pollutants gaseous</li> <li>(vi) Targets for ICF</li> <li>(vii) Pigment carriers</li> <li>(viii) Template</li> </ul>
Optical	<ul style="list-style-type: none"> <li>(i) Transparent</li> <li>(ii) Low refractive index</li> <li>(iii) Multiple composition</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(i) Light weight optics</li> <li>(ii) Cherenkov detectors</li> <li>(iii) Light guides</li> </ul>
Acoustic	<ul style="list-style-type: none"> <li>(i) Low speed of sound</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(i) Sound proof rooms</li> <li>(ii) Acoustic impedance matching in ultrasonic distance sensors</li> </ul>
Mechanical	<ul style="list-style-type: none"> <li>(i) Elastic</li> <li>(ii) Light weight</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(i) Energy absorber</li> <li>(ii) Hypervelocity particle trap</li> </ul>
Electrical	<ul style="list-style-type: none"> <li>(i) Lowest dielectric constant</li> <li>(ii) High dielectric strength</li> <li>(iii) High surface area</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(i) Dielectrics for ICs</li> <li>(ii) Spacers for vacuum electrodes</li> <li>(iii) Capacitors</li> </ul>



# Короткі нотатки

- Аерогелі – матеріали, що володіють найбільшою площею поверхні, найнижчою густиною та тепло та електропровідністю завдяки особливій будові.
- До аерогелів відносять силікатні, оксидні, металеві, органічні каркасні утворення, більшість з яких одержано в умовах надкритичної сушки





# Рекомендована література

- Aegerter, M.A.; N. Leventis; M. M. Koebel (2011). *Aerogels Handbook*. Springer publishing. [ISBN 978-1-4419-7477-8](#).
- Ai Du, Bin Zhou, Zhihua Zhang and Jun Shen // *Materials* 2013, 6, 941-968;
- N. Bheekhun, A. Rahim A. Talib, M. R. Hassan// *Advances in Materials Science and Engineering-V*. 2013
- G. Hayase, K. Nonomura, G. Hasegawa, K.Kanamori, K.Nakanishi // *Chem.Mater.* 2015
- Liu, W.; Rodriguez, P.; Borchardt, L.; Foelske, A.; Yuan, J.; Herrmann, A.-K.; Geiger, D.; Zheng, Z.; Kaskel, S.; Gaponik, N.; Kötz, R.; Schmidt, T. J.; Eychmüller, A.*Angew. Chem., Int. Ed.* 2013, 52, 9849–9852.
- Ruohong Sui and Paul Charpentier // *Synthesis of Metal Oxide Nanostructures by Direct Sol–Gel Chemistry in Supercritical Fluids*