

Wzmacnianie szkła

- Laminowanie szkła. Są dwa sposoby wytwarzania szkła laminowanego:
 1. Jak na zdjęciach, czyli umieszczenie polimeru pomiędzy warstwy szkła i sprasowanie całego układu; polimer (PVB ma zazwyczaj grubość 0.38 mm, w szybach samochodowych: 0.76 mm)
 2. Wlanie ciekłego polimeru między szyby (1-1.5mm)

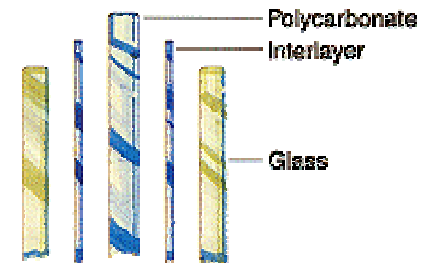


Wzmacnianie szkła

- Szkło kuloodporne:
- składa się z wielu warstw różnych materiałów, połączonych ze sobą w wysokiej temperaturze.

Typical composite glazing cross-section

Glass to Polycarbonate



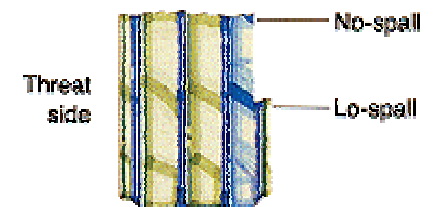
Omnilite™

High heat and pressure bond these materials together to combine the best features of all.



Omniarmor™

- Fire resistant
- Abrasion & chemical resistant
- Ballistic & impact resistant

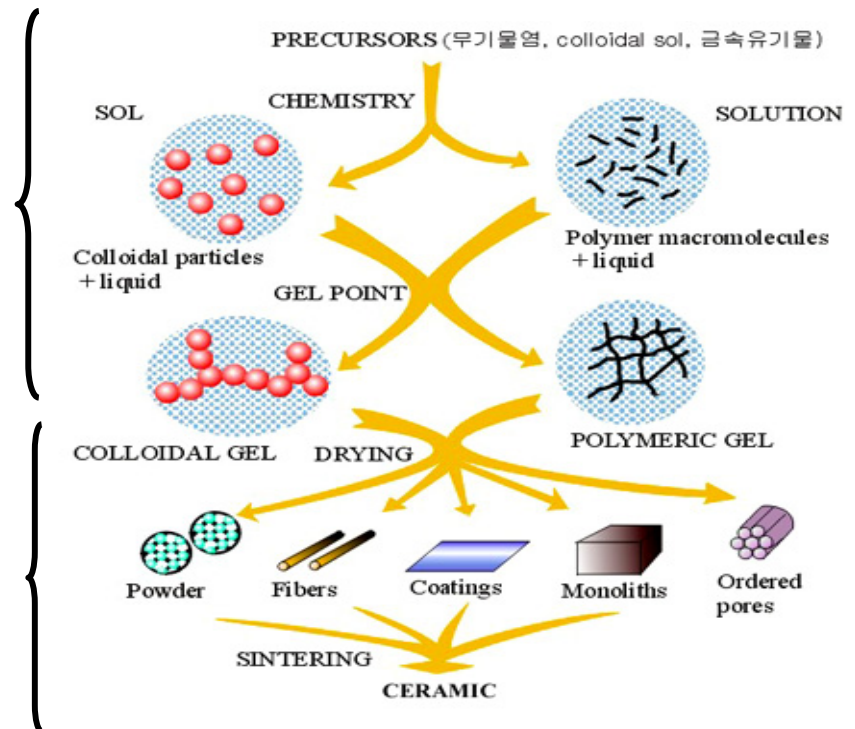


SYNTEZA SOL-ŻEL

- Powstawanie aerożelu przebiega w dwóch głównych etapach:

– tworzenie mokrego żelu

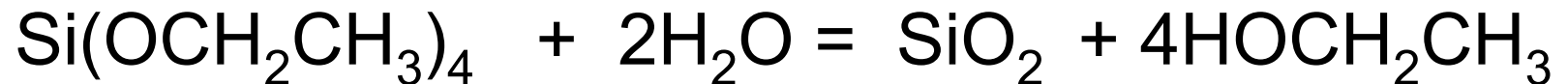
– suszenie



SYNTEZA SOL-ŻEL

Większość krzemowych aerożeli wytwarza się z $\text{Si}(\text{OCH}_3)_4$ lub $\text{Si}(\text{OCH}_2\text{CH}_3)_4$.

Typowa reakcja:



Ta reakcja najczęściej przebiega w etanolu i w obecności katalizatora (np. HCl).

SYNTEZA SOL-ŻEL

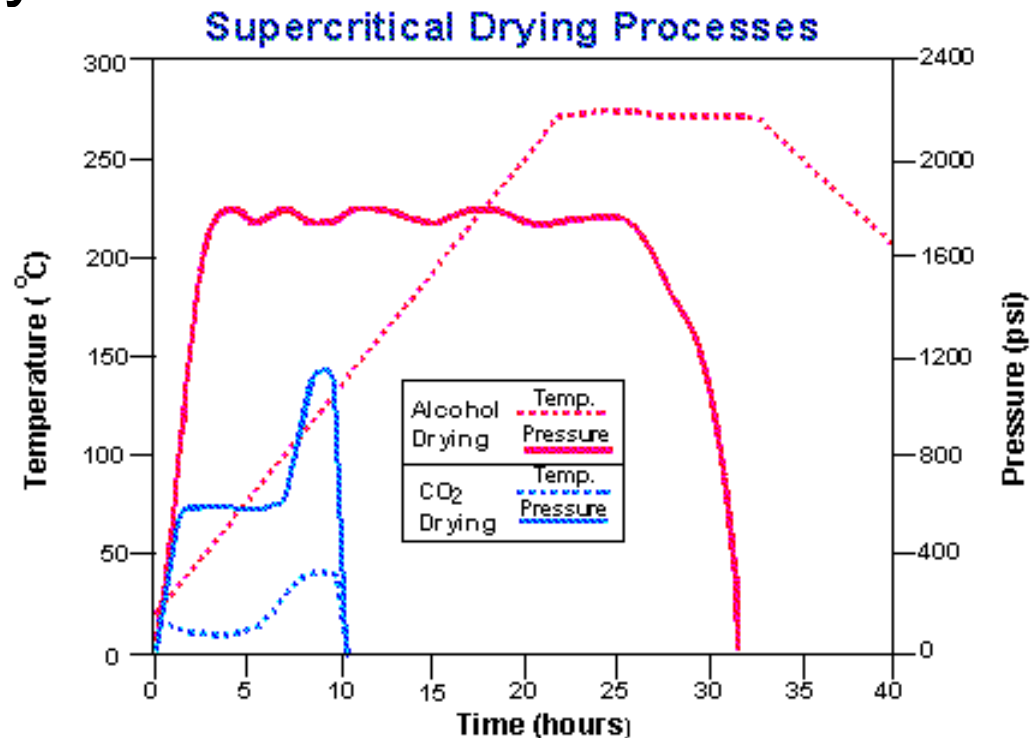
- W rezultacie reakcji hydrolizy powstaje SOL. Jest to układ rozdyspergowanych koloidalnych cząstek w cieczy (koloid : cząstki o rozmiarze 1-1000nm, tzn. 10^3 - 10^9 atomów)

SYNTEZA SOL-ŻEL

W miarę postępowania reakcji polimeryzacji SiO_2 (kondensacja) SOL przekształca się w sztywny ŻEL. W tym stanie, żel jest wyjmowany z formy.

SYNTEZA SOL-ŻEL

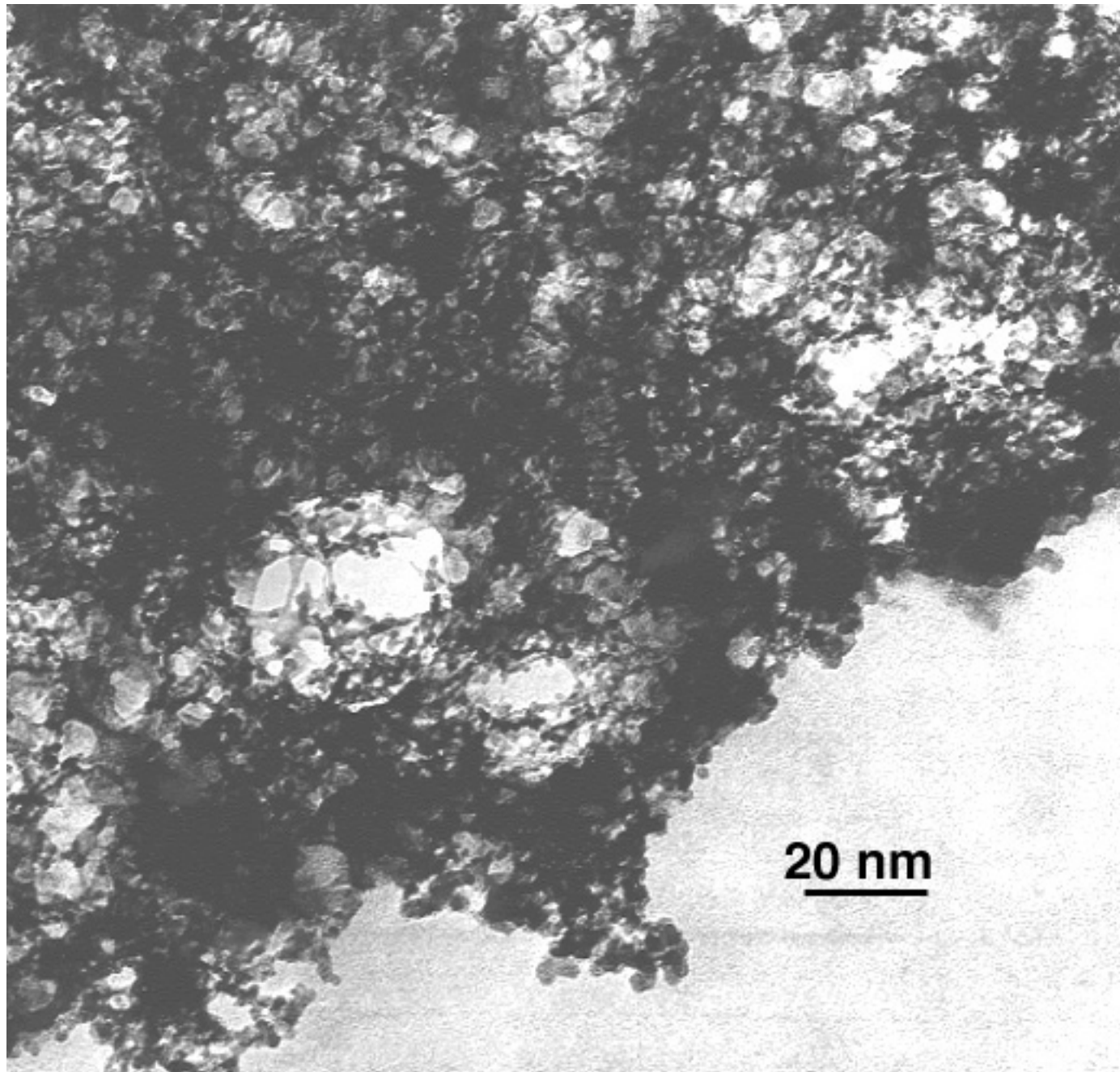
- Ostatnim, najważniejszym etapem wytwarzania aerożelu jest jego suszenie w warunkach nadkrytycznych.



WŁAŚCIWOŚCI AEROŻELI

- Większość właściwości aerożeli wynika z ich z bardzo dużej porowatości. Aerożele składają się w około 95% z powietrza (od 85% do 99.87%).
- Średnia średnica porów: 20 nm, wielkość cząsteczek: 2-5 nm.

TEM



WŁAŚCIWOŚCI AEROŻELI

- Mała gęstość 0.003-0.35 g/cm³, średnio gęstość jest około 0.1 g/cm³. Dla porównania zwykłe szkło ma gęstość 2.4-2.8 g/cm³.
- Porowatość wiąże się również z ogromną powierzchnią wewnętrzną (600-1000 m²/g).

WŁAŚCIWOŚCI DIELEKTRYCZNE

- Współczynnik załamania światła:
1.05-1.1;
- Stała dielektryczna:
1.1
- Obie wielkości są niezwykle małe jak na ciało stałe.

WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE

- Moduł Younga 10^6 - 10^7 N/m²
- Wytrzymałość na rozciąganie 16 kPa
- Prędkość dźwięku w aerożelu: 100m/s
- Wszystkie 3 wielkości są niezwykle małe w porównaniu ze zwykłym szkłem (np. E jest 10^4 razy mniejsze).

WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE

- Wbrew pozorom, aerożele mają interesujące właściwości mechaniczne jako materiały absorbujące energię uderzeniową. Stosuje się je w kaskach.

WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE

- W czasie uderzenia wiązania zostają zrywane jedno po drugim. Wewnątrz aerożelu ten proces trwa dość długo (i o to chodzi). Dodatkowo część energii jest zużywana na sprężenie powietrza z porów.

WŁAŚCIWOŚCI TERMICZNE

- Zachowują swoje właściwości do temperatury 500°C;
- Temperatura topnienia 1200°C;
- Typowy aerożel ma przewodność cieplną $\sim 0.017 \text{ W/mK}$ (bardzo małą).

WŁAŚCIWOŚCI TERMICZNE

- Izolacja termiczna to jedno z głównych zastosowań aerożeli. Aerożele izolują około 3-7 razy lepiej niż szkło 2-4 razy lepiej niż styropian.
- Wykorzystuje się je do izolacji płynów kriogenicznych

WŁAŚCIWOŚCI TERMICZNE

- Głównym mechanizmem przewodzenia ciepła jest transport za pośrednictwem gazów poruszających się poprzez pory.
- Zmniejszenie przewodnictwa termicznego można osiągnąć przez zwiększenie drogi swobodnej gazu wypełniającego pory w stosunku do wielkości porów.

WŁAŚCIWOŚCI TERMICZNE

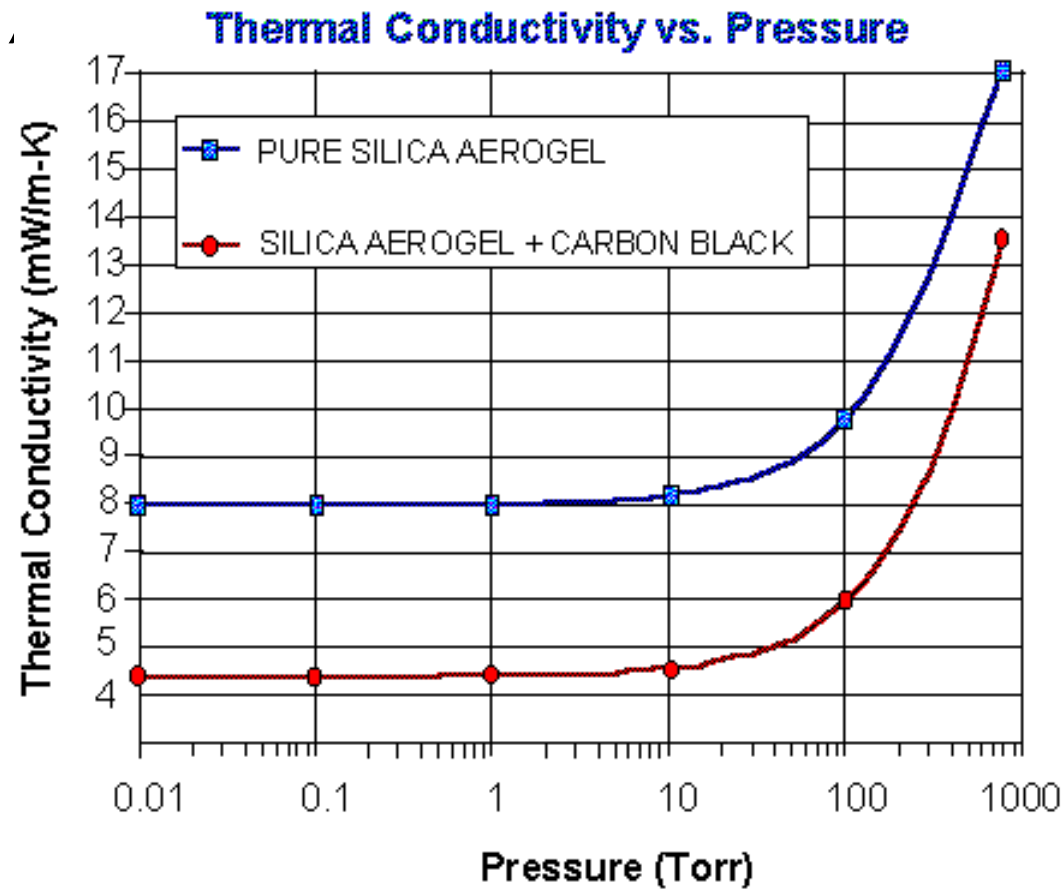
- Trzy sposoby obniżenia przewodności termicznej:
 - wypełnienie aerożelu gazem o mniejszej masie molowej;
 - zmniejszenie porów;
 - obniżenie ciśnienia;

niepraktyczne

WŁAŚCIWOŚCI TERMICZNE

- Obniżenie ciśnienia w wielu zastosowaniach ma sens (np. termosy)

wystarczy obniżyć ciśnienie do 50 torów (do tego celu wystarczy torebka foliowa)

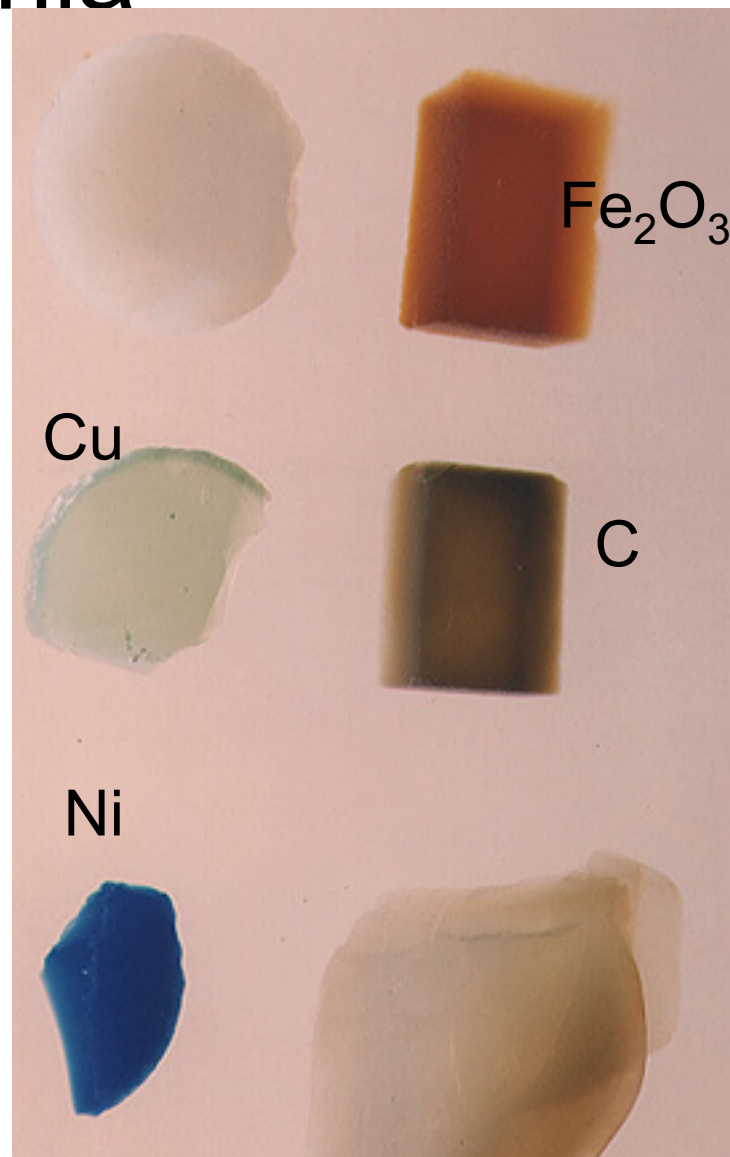


Szyby

- Szyby okienne:
aerożele mogą być
przezroczyste, co
przy ich
znakomitych
właściwościach
termicznych daje
możliwość
wytwarzania szyb
okiennych.

Zastosowania

- Do aerożeli można dodawać różne inne pierwiastki otrzymując w ten sposób np. różne kolory.



Zastosowania w medycynie

- Kapsułki aerożelu zawierające substancje aktywne stopniowo je uwalniają jednocześnie zabezpieczając przed zbyt dużym kontaktem z tkankami.

Table 1. Applications of sol-gel coatings from illustrative examples in patents issued and literature.1

Application	Material
Protective Coatings	
Corrosion resistance	Hybrid, oxides
Diffusion barrier	Silica, hybrid
Thermal barrier	β -Al ₂ TiO ₅ , porous silica
Hard coat & abrasion resistance	Hybrid and oxides
Ion bombardment protection	Silica-alumina
Adhesion and bonding	
Optical coatings	
AR coating	Oxide multilayer
Waveguide and optical device	Oxide and hybrid
Colored	Inorganic pigment hybrid
Electrochromic device	Doped WO ₃ and other oxides
Transparent conductive	ITO, Tin oxide, vanadium based
White coat	Alumina based
Surface hydrophilicity modification	
Hydrophobic, water-repellent	Hybrid
Anti-fog	Hybrid
Ferroelectric devices	
Ferroelectric capacitor, Non-volatile memory, sensors and actuators, MEMs, Ultrasound imaging, piezoelectric motor, pyrodetector	PZT, BT, BST, etc.
Low dielectric materials	
Sensors based on encapsulation of sensing element	
Others	
Nanomembranes	Porous materials (pure silica or hybrid)
Silica	Fluorescence chemistry, enzymes, protein, functional reagents
Biomaterial	Calcium phosphate

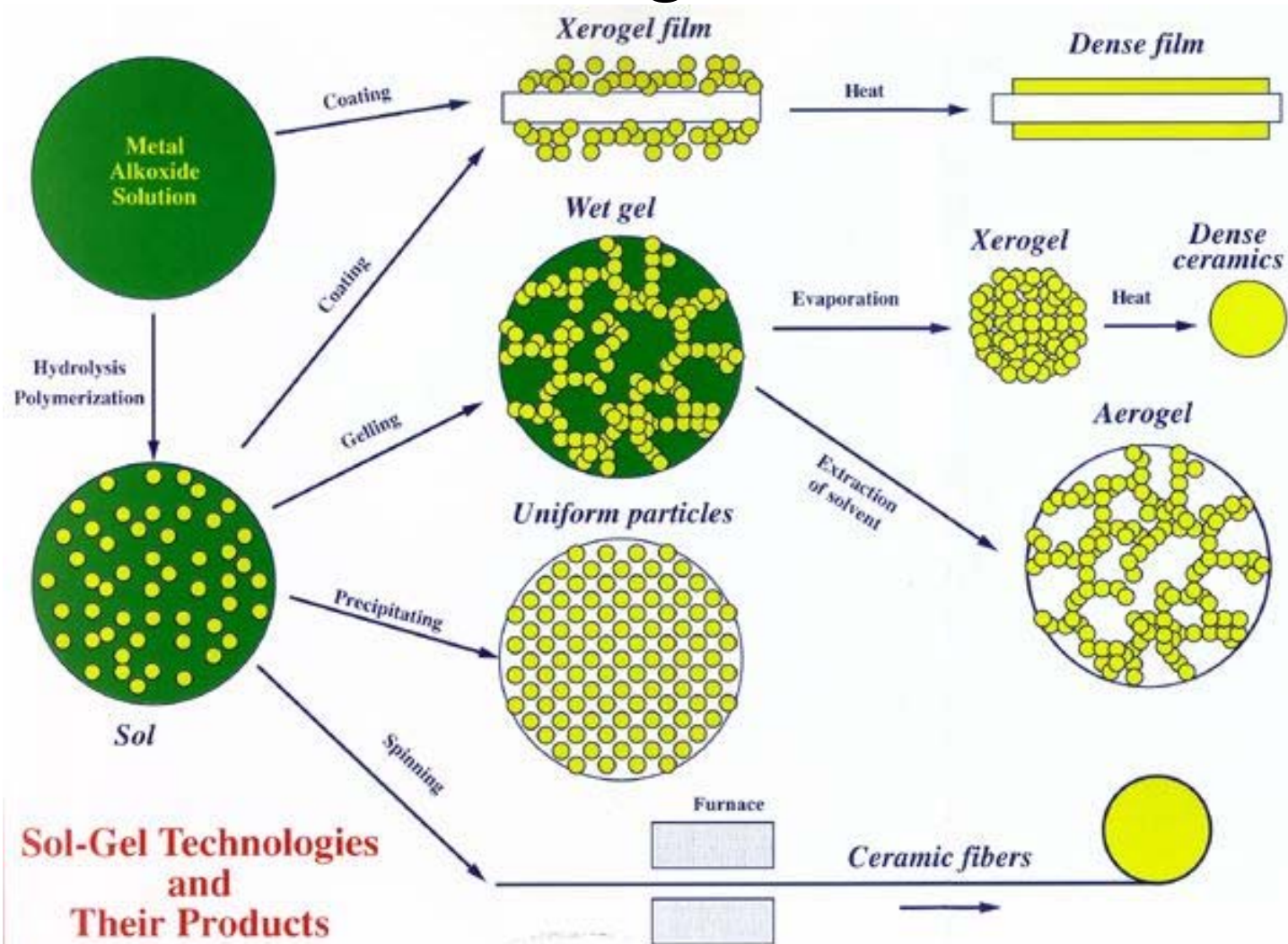
Zastosowania: pył kosmiczny

- Sonda Stardust wykorzysta aerożel do zbierania pyłu kosmicznego.
- Gdy cząstka pyłu uderza w aerożel, zagłębia się w nim, stopniowo zwalniając, i tworzy podłużny kształt mniej więcej 200 razy dłuższy niż średnica cząstki.

Zastosowania

- Dodając drobiny ferromagnetyka otrzymujemy materiał magnetyczny (tutaj jest to tlenek żelaza). Podobnie można otrzymać aerożel ferroelektryczny.

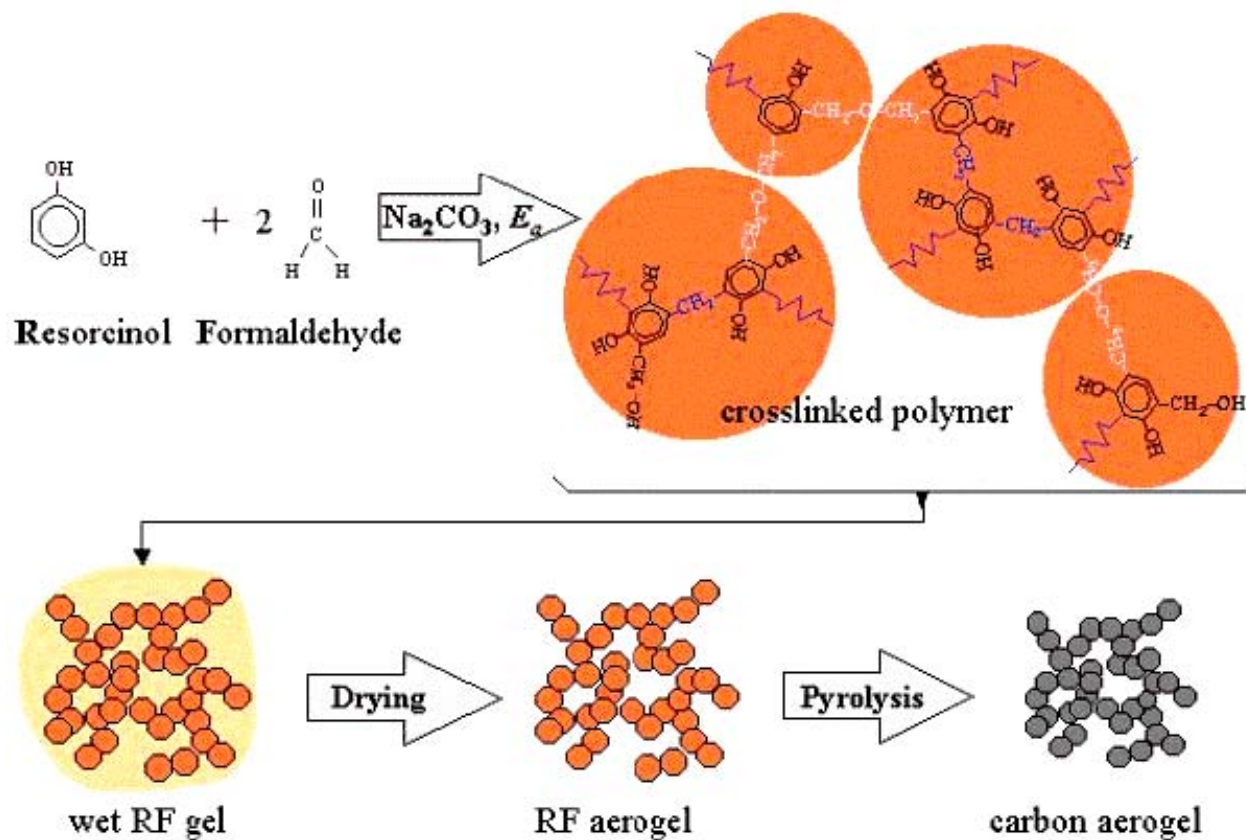
Co można wytworzyć metodą sol-gel?



Nie tylko SiO_2

węglowe aerożele

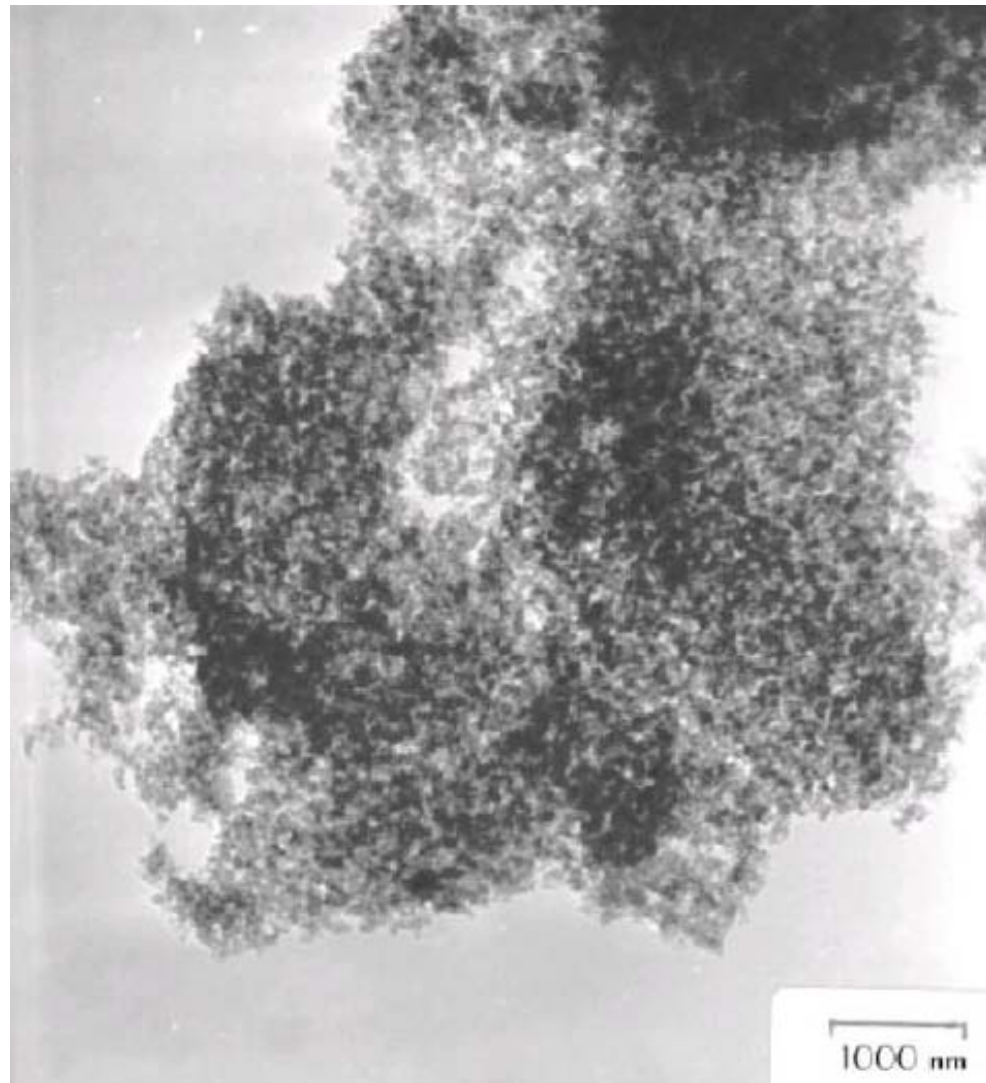
Węglowe aerożele



Suszenie
odbywa się w
warunkach
nadkrytycznych
w CO_2

Węglowe aerożele

- Mikrostruktura aerożelu:



Węglowe aerożele

Właściwości	Zakres
Gęstość	0.25 - 1.0 g/cm ³
Powierzchnia właściwa	400 m ² /g
Średnia wielkość porów	0.7 nm
Oporność właściwa	0.010 - 0.040 ohm-cm
Pojemność	30 F/g
Przewodność cieplna	0.089 W/m°K
Przenikalność dla gazu	1.47x10 ⁻¹⁰

Węglowe aerożele

- W rezultacie otrzymuje się materiał lekki i porowaty, ale przewodzący prąd elektryczny. Stosuje się go jako np. elektrody w superkondensatorach, elektrody w ogniwach paliwowych, materiał do magazynowania gazów lub cieczy, dejonizowania cieczy itd.



Węglowe aerożele

- Super-kondensatory: dzięki dużej powierzchni elektrod mogą mieć pojemność większą niż konwencjonalne kondensatory.

