

## ***Najważniejsze grupy nanomateriałów***

- ***nanometale***
- ***nanowłókna***
- ***nanoproszki tlenków metali***
- ***nanomateriały węglowe***
- ***nanokompozyty***
- ***nanowarstwy***



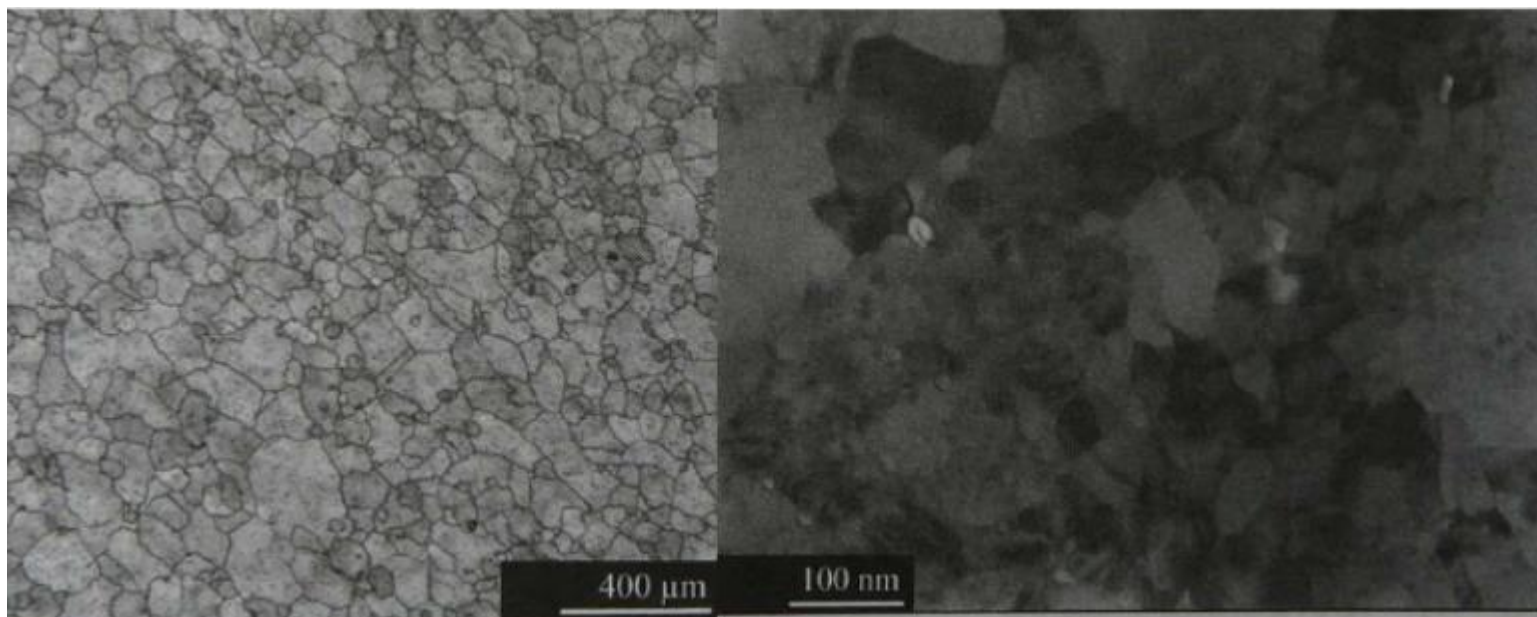
# ***NANOMETALE***

# NANOMETALE

Cecha charakterystyczną nanometali jest nanometryczny rozmiar ziaren. Podobnie jak konwencjonalne materiały metaliczne są one polikryształami, z tą różnicą, że przynajmniej w jednym kierunku rozmiar ziaren nie przekracza 100 nm.

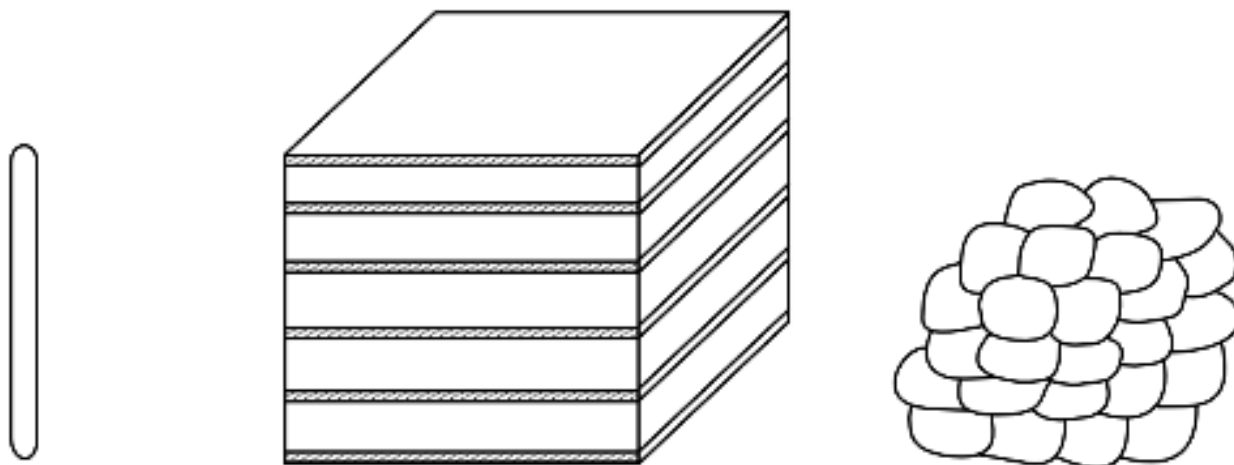
Mniejszy rozmiar ziaren powoduje zwiększenie powierzchni właściwej granic ziaren w jednostce objętości!

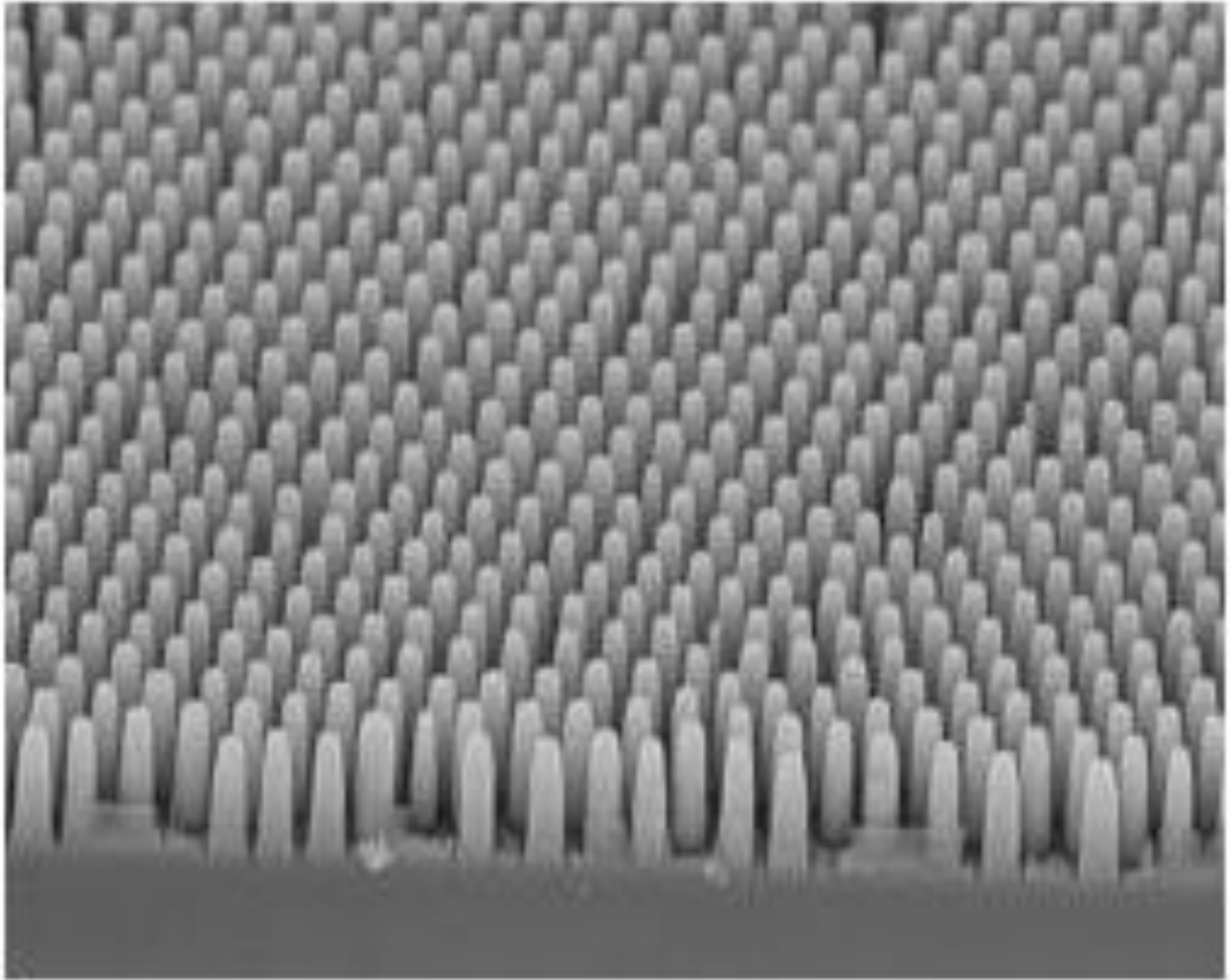
Nanometale charakteryzują się bardzo dużą wytrzymałością.



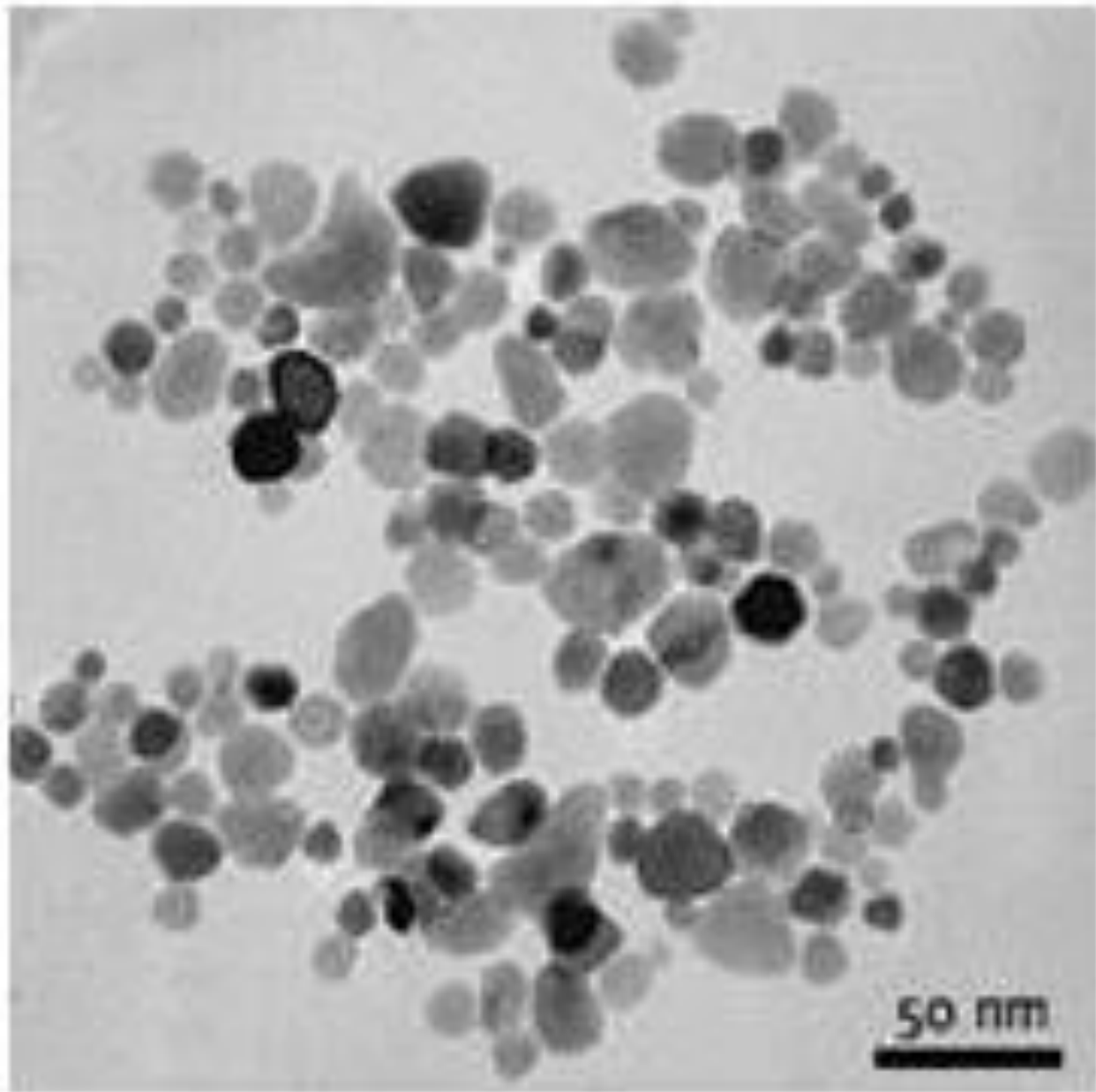
Struktura stopu aluminium 7475 o średniej średnicy ziaren  $70\mu\text{m}$  i  $70\text{nm}$

1. słupkowe - ziarna mają kształt słupków o średnicy nanometrycznej (układy jednowymiarowe)
2. warstwowe - ziarna mają kształt płaski o grubości nanometrycznej (układy dwuwymiarowe)
3. równoosiowe - ziarna mają kształt zbliżony do kuli o średnicy nanometrycznej (układy trójwymiarowe)









# ZASTOSOWANIE NANOMETALI

-**Środki transportu** (przemysł lotniczy i samochodowy),  
Zmniejszenie wymiarów i masy elementów konstrukcyjnych,  
co przyczynia się do zmniejszenia zużycia materiałów w  
procesie produkcyjnym i redukcji masy pojazdu,

# ZASTOSOWANIE NANOMETALI

## -Energetyka,

Stale ferrytyczne umacniane tlenkami. Nanometryczne cząstki tlenku itru, którymi stal jest umacniana mają zapewnić jej stabilność termiczną.

## -Bioinżynieria,

## -Elektrotechnika

# ZASTOSOWANIE NANOMETALI

## -Bioinżynieria

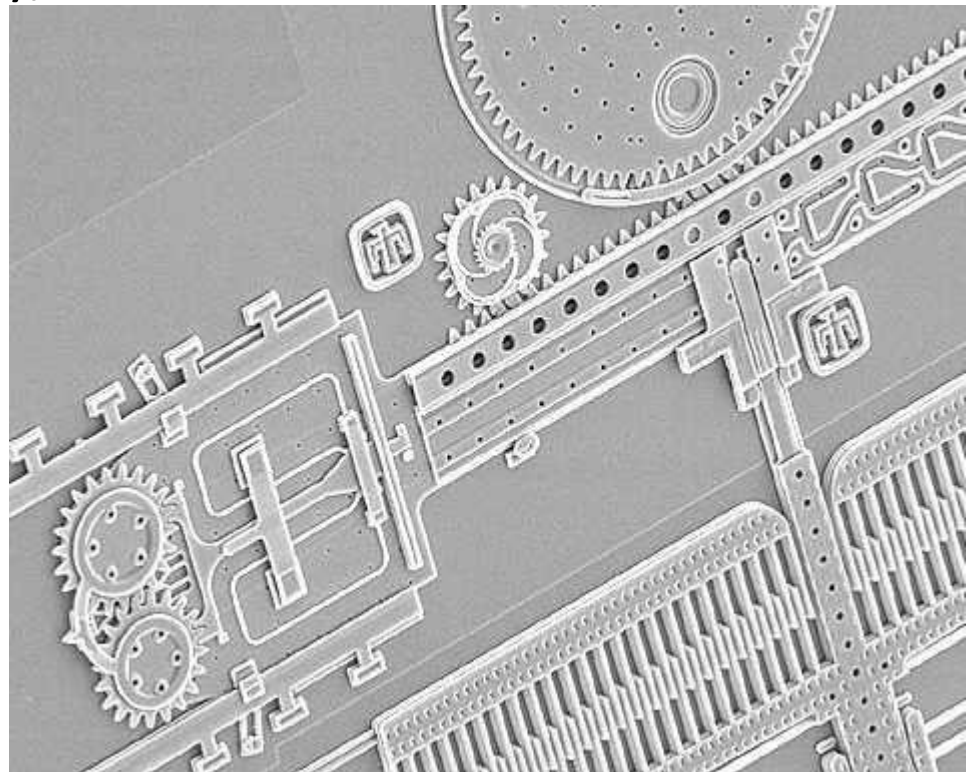
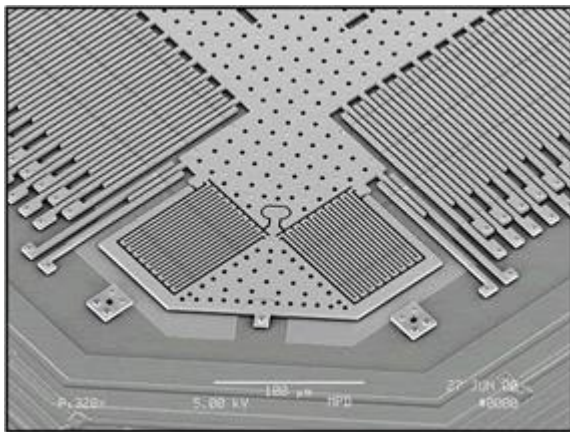
Nanostruktury w czystym tytanie



# ZASTOSOWANIE NANOMETALI

## Elektrotechnika:

- miniaturowe urządzenia elektromechaniczne MEMS (micro electro- mechanical system),
- przewody elektryczne,
- nity,



# ***NANOWŁÓKNA***

# NANOWŁÓKNA

Nanowłóknami nazywamy włókna o bardzo małych średnicach, wynoszących około 50- 500nm. Charakteryzują się one znaczną długością oraz niewielkim przekrojem poprzecznym, którego średnica jest około 100 razy mniejsza od długości.

# NANOWŁÓKNA

Nanowłóknami nazywamy włókna o bardzo małych średnicach, wynoszących około 50- 500nm. Charakteryzują się one znaczną długością oraz niewielkim przekrojem poprzecznym, którego średnica jest około 100 razy mniejsza od długości.

Nanowłókna mają właściwości znacznie różniące się od właściwości włókien standardowych. Ze względu na duży stosunek powierzchni do masy, mają dużą powierzchnię właściwą, co daje **wysokie właściwości wytrzymałościowe**

# NANOWŁÓKNA – metody wytwarzania

## Ciągnięcie

Pipeta o średnicy kilku mikrometrów zanurzana jest w kropli roztworu cytrynianu sodu w kwasie chlorozłotowym blisko powierzchni kontaktu.

Następnie nanowłókno jest osadzane na odpowiedniej powierzchni przez zetknięcie z nią końca pipety.

# NANOWŁÓKNA – metody wytwarzania

## **Synteza według szablonu**

Synteza według szablonu (template synthesis) charakteryzuje się zastosowaniem specjalnego wzornika.

Na polimer wywierane jest ciśnienie, pod którego wpływem materiał zostaje wyciśnięty przez pory wzornika do komory zawierającej roztwór zestalający, w kontakcie z którym nanowłókna przechodzą w stan stały.

# NANOWŁÓKNA – metody wytwarzania

## Rozdzielanie faz

Metoda rozdzielania faz (phase separation) polega na tym, że roztwór polimeru i rozpuszczalnika jest poddawany żelowaniu, a rozpuszczalnik jest następnie usuwany.

# NANOWŁÓKNA – metody wytwarzania

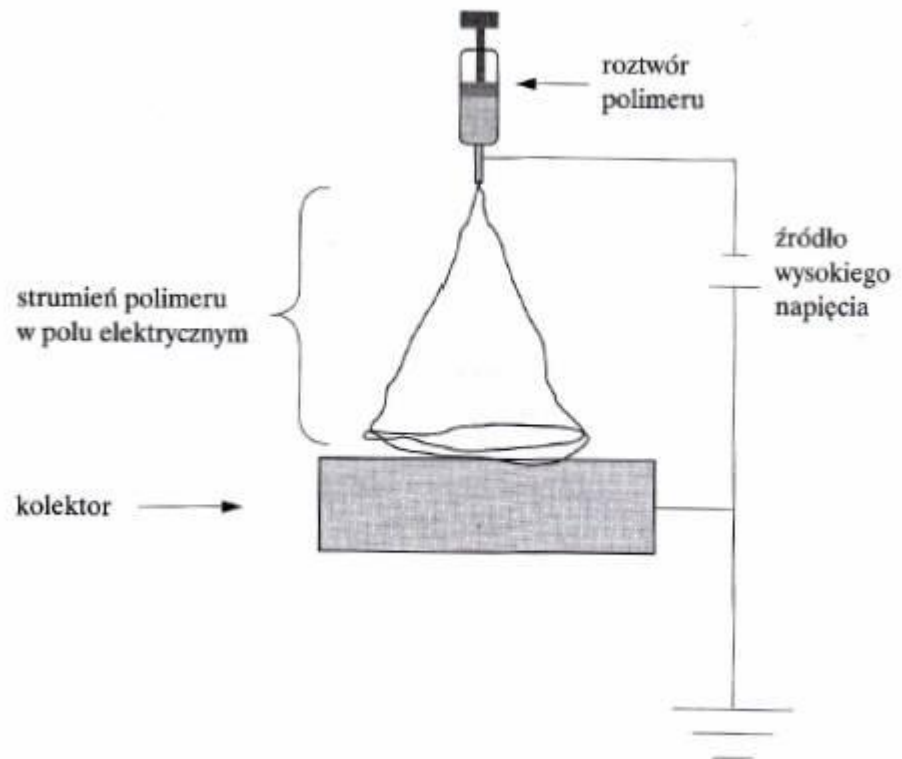
## **Samorganizacja molekularna**

Samorganizacja molekularna (self - assembly) wykorzystuje zjawisko uporządkowania, czyli tworzenia się zorganizowanych struktur przestrzennych w postaci nanowłókien. Mechanizm samoorganizacji oparty jest na siłach międzycząsteczkowych.

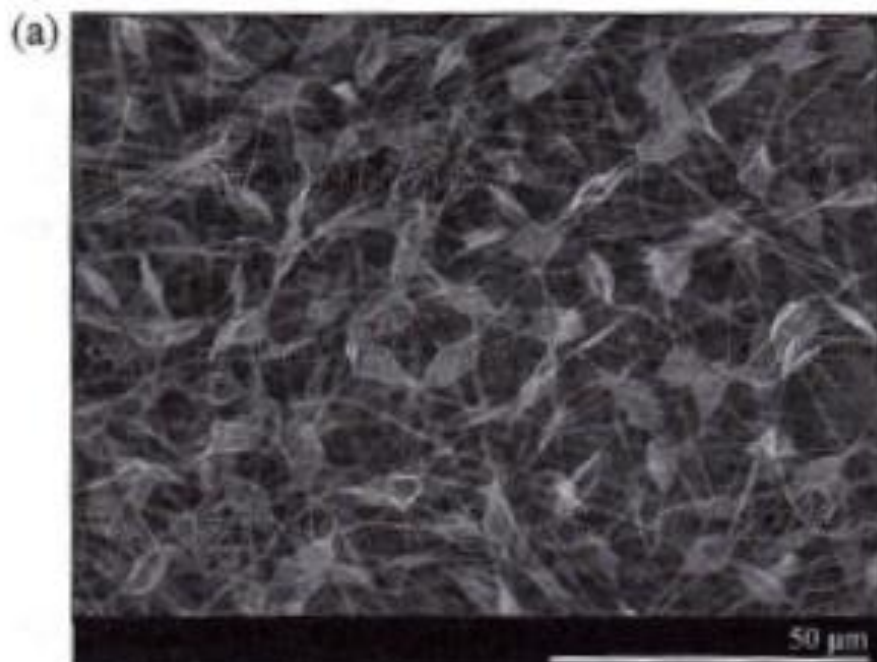
# NANOWŁÓKNA – metody wytwarzania

## Elektroprzędzenie

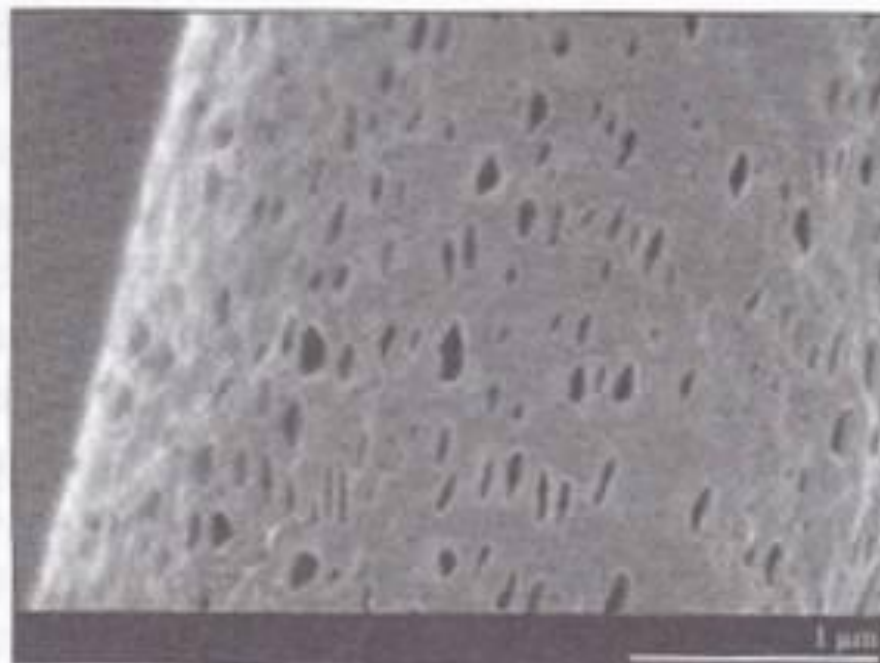
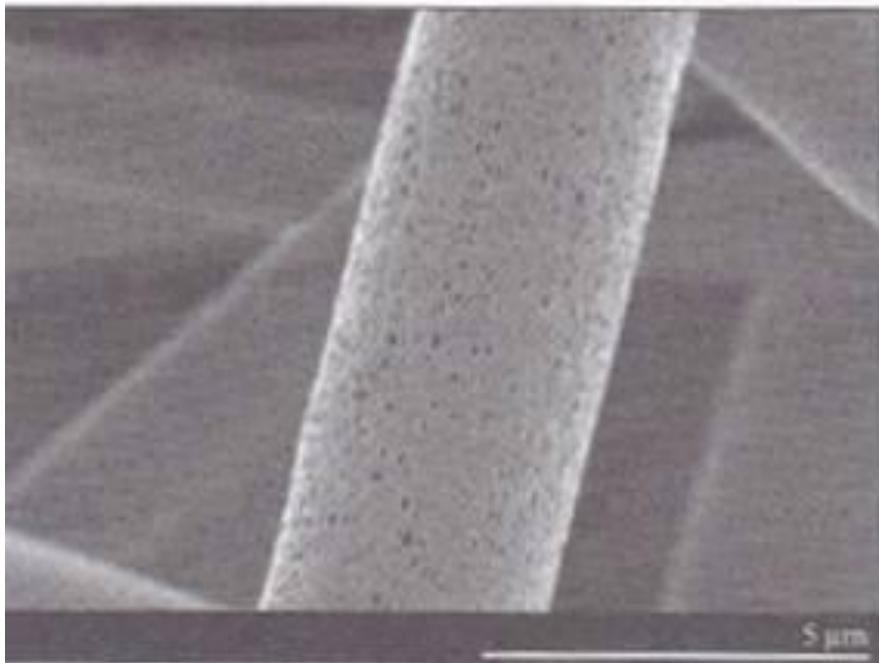
Elektroprzędzenie nanowłóki (electrospinning) polega na otrzymywaniu nanowłóki ze stopionych polimerów (elektroprzędzenie ze stopu) lub z ich roztworów (elektroprzędzenie z roztworu) za pomocą pola elektrycznego.



# NANOWŁÓKNA



# NANOWŁÓKNA



# NANOWŁÓKNA

Metoda	Zastosowanie metody	Możliwość skalowania	Powtarzalność	Łatwość implementacji	Kontrola rozmiarów włókien
Ciągnięcie	Laboratoryjne	X	✓	✓	X
Synteza według szablonu	Laboratoryjne	X	✓	✓	✓
Rozdzielanie faz	Laboratoryjne	X	✓	✓	X
Samoorganizacja molekularna	Laboratoryjne	X	✓	X	X
Elektroprzędzenie	Laboratoryjne z możliwością zastosowania w przemyśle	✓	✓	✓	✓

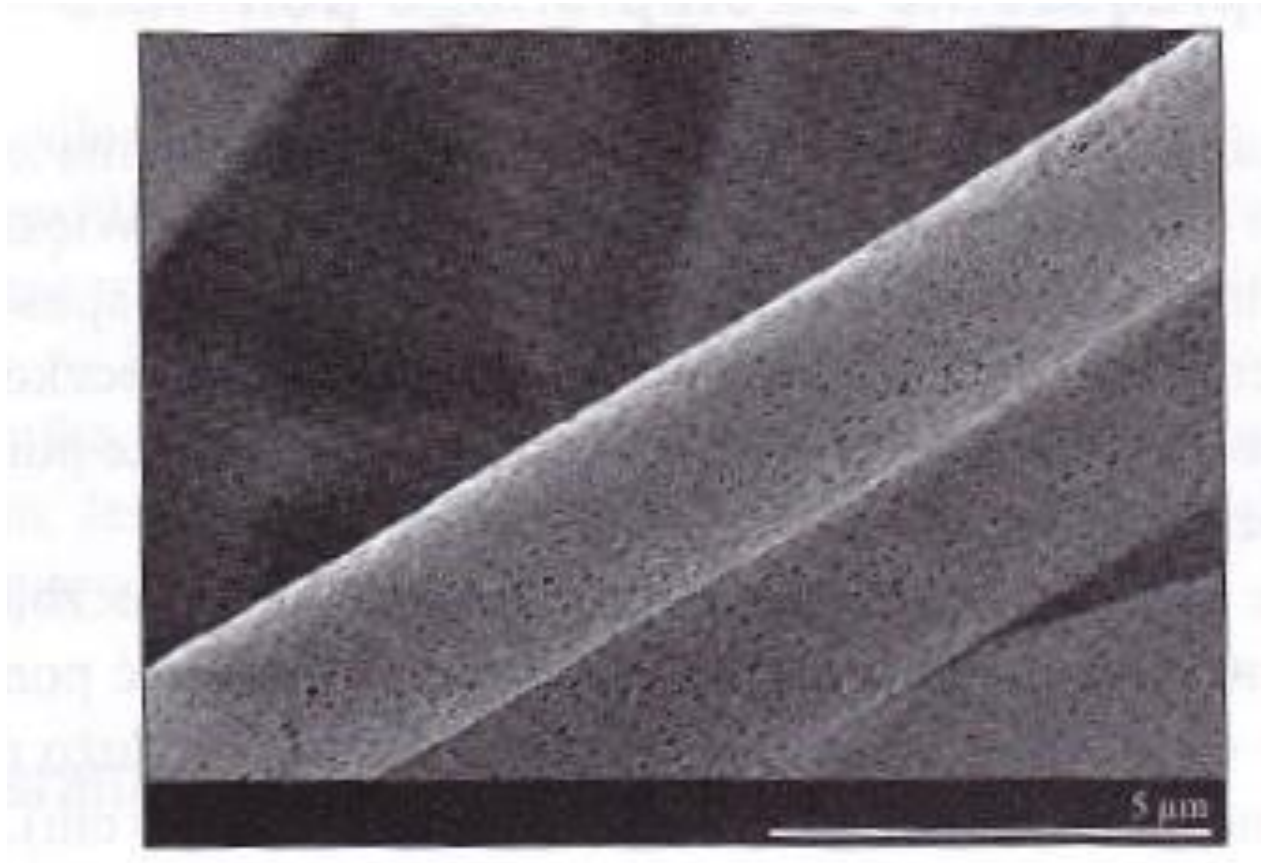
# NANOWŁÓKNA

Metoda	Zalety	Wady
Ciągnienie	Niskie wymagania sprzętowe	Nieciągłość procesu
Synteza według szablonu	Możliwość otrzymywania włókien w szeroki zakresie średnic	-
Rozdzielanie faz	Niskie wymagania sprzętowe	Zastosowanie ograniczone do określonych polimerów
Samoorganizacja molekularna	Możliwość: -wytwarzania włókien o szczególnie małych rozmiarach -bezpośredniego otrzymywania siatki włókien -kontroli właściwości mechanicznych siatki przez koncentrację polimeru	Skomplikowanie procesu
Elektroprzędzenie	Ekonomiczność Możliwość wytwarzania włókien o znacznej długości	Niestabilność strumienia

Metoda	Materiał	Rozpuszczalnik	Średnica włókna	Długość włókna
Ciągnięcie	cytrynian sodu	kwask chlorozłotowy	2- 100 nm	od 10 $\mu\text{m}$ do kilku mm
Synteza według szablonu	poli(akrylonitryl)	dimetyloformamid	100 nm	10 $\mu\text{m}$
Rozdzielanie faz	PLLA, mieszanina PLLA- PCL	tetrahydrofuran	50- 500 nm	struktura porowata
Samorganizacja molekularna	-	tetrahydrofuran	100 nm	20 $\mu\text{m}$
	-	chloroform	25- 28 nm	do 1 $\mu\text{m}$
	-	chloroform	7- 8 nm	kilka $\mu\text{m}$
Elektroprzędzenie	poliimidy	fenol	od 3 nm do 1000 nm	od kilku cm do kilku m
	poliamidokwas	m-krezol		
	polieteroimid	chlorek metylenu		
	poliaramid	kwask siarkowy		
	poliparafenyleno-tereftalamid	kwask siarkowy		
	nylon 6- poliimid	kwask mrówkowy		
	poli(akrylonitryl)	dimetyloformamid		
	poli(tereftalan etylenu)	kwask trifluorooctowy		
nylon	chlorek metylenu			
polianilina	kwask siarkowy			
DNA	woda	chloroform lub mieszanina chlorku metylenu i dimetyloformamidu		
PHBV				
PLLA				
PDLA	dimetyloformamid			
PEO	woda			
PMMA	toluen			

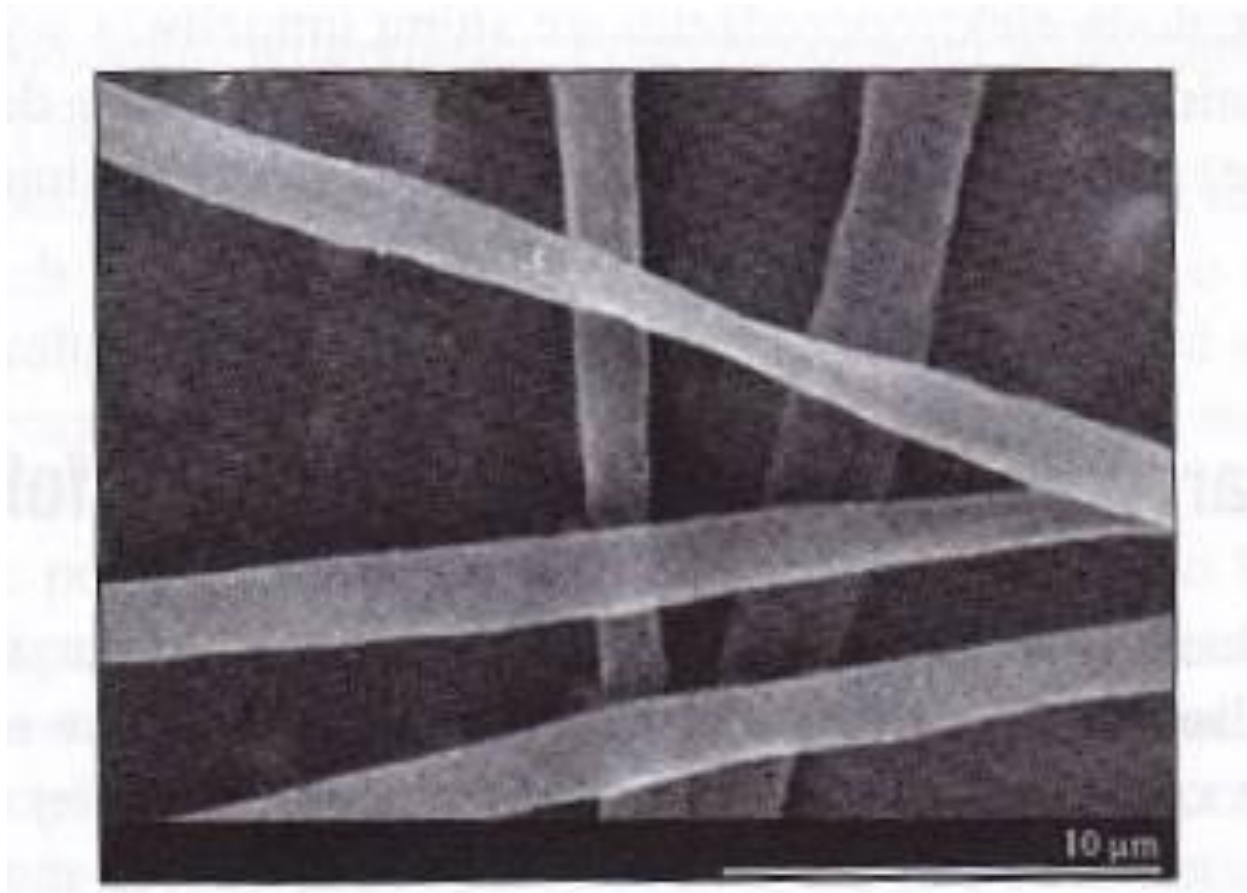
# Otrzymywanie nanowłókien o różnej morfologii

## Nanowłókna porowate



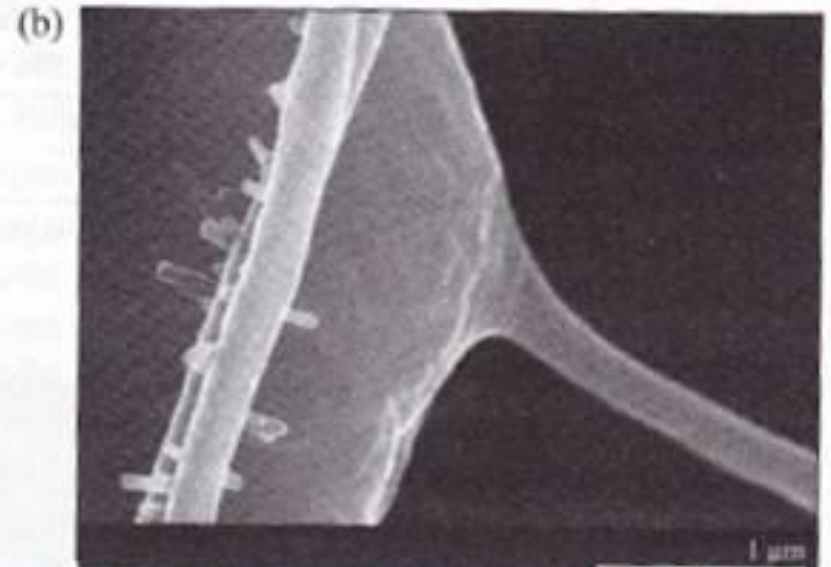
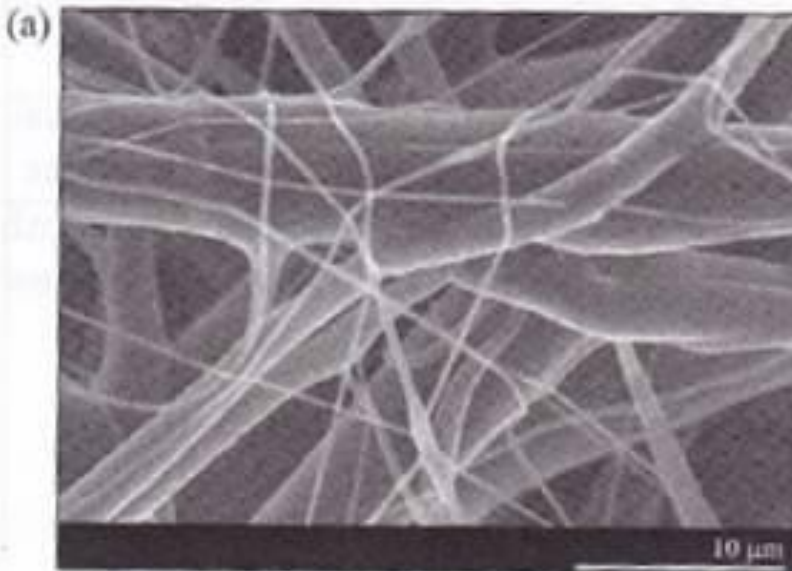
# Otrzymywanie nanowłókien o różnej morfologii

## Nanowłókna płaskie lub wstążkowe



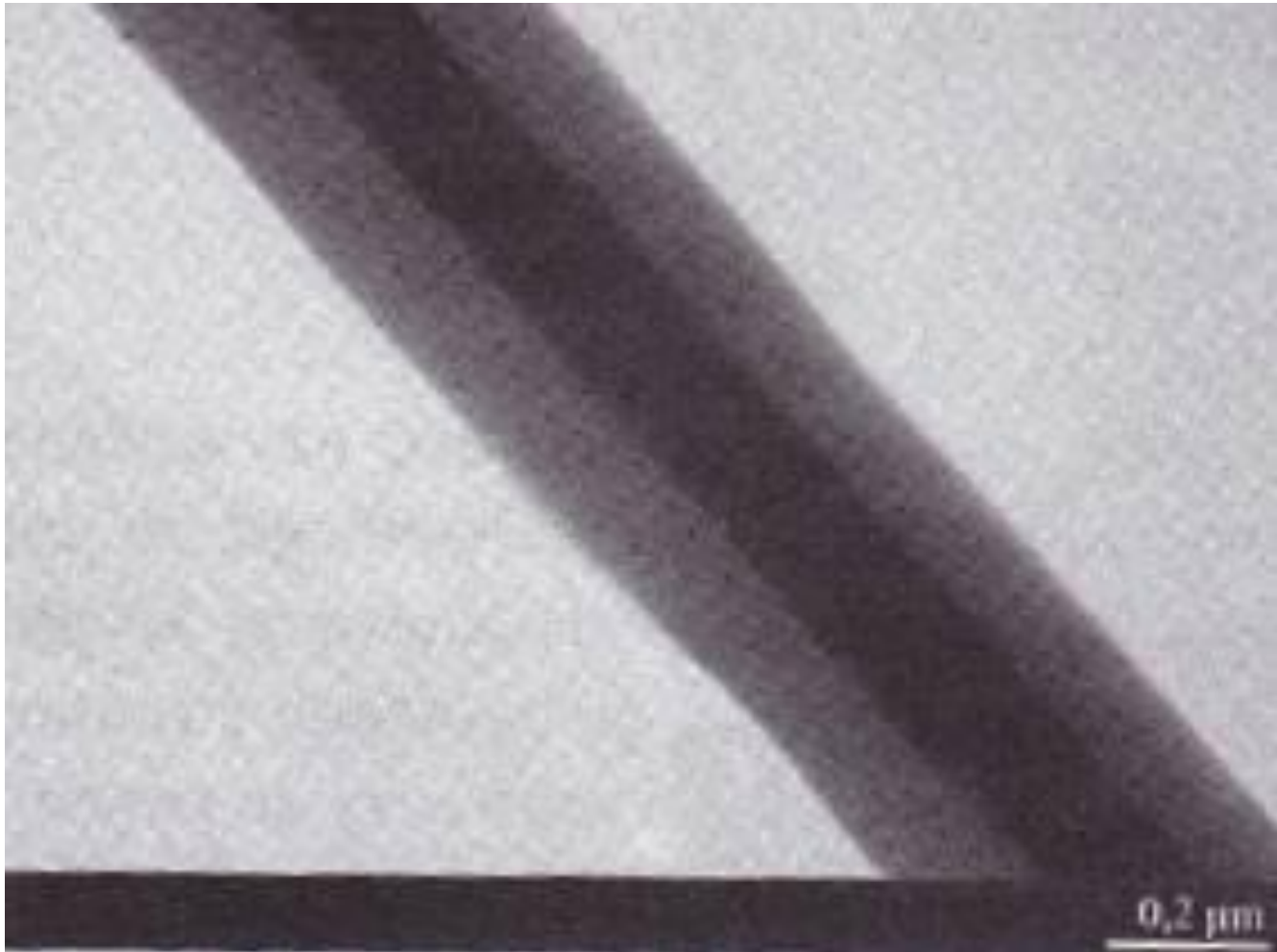
# Otrzymywanie nanowłókien o różnej morfologii

## Nanowłókna rozgałęzione



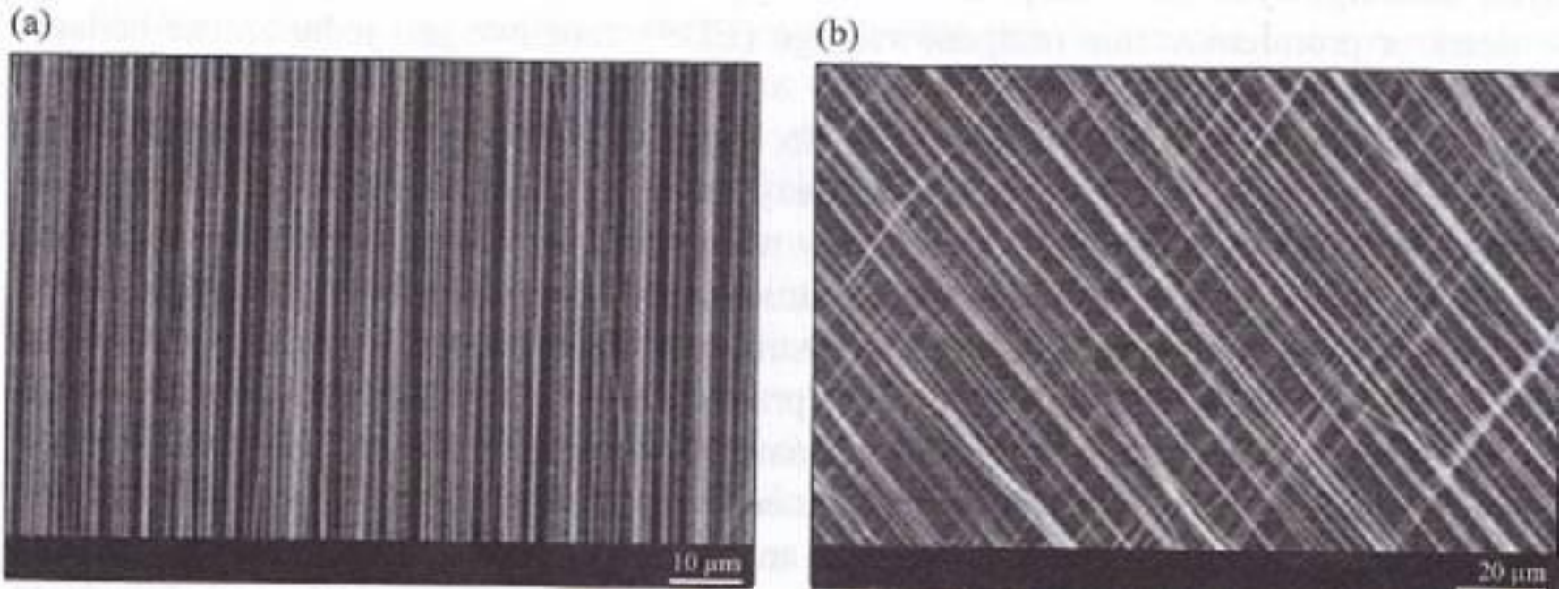
# Otrzymywanie nanowłókien o różnej morfologii

## Nanowłókna wydrążone



# Otrzymywanie nanowłókien o różnej morfologii

## Nanowłókna ukierunkowane



## **Właściwości nanowłókien**

Podstawowymi właściwościami nanowłókien jest ich morfologia oraz właściwości mechaniczne. Morfologia pojedynczego nanowłókna opisana jest jego średnicą, morfologia włókniny - porowatością.

## **Właściwości mechaniczne nanowłókien**

W celu badania właściwości mechanicznych nanowłókien stosuje się standardowe metody rozciągania, za pomocą standardowych maszyn wytrzymałościowych.

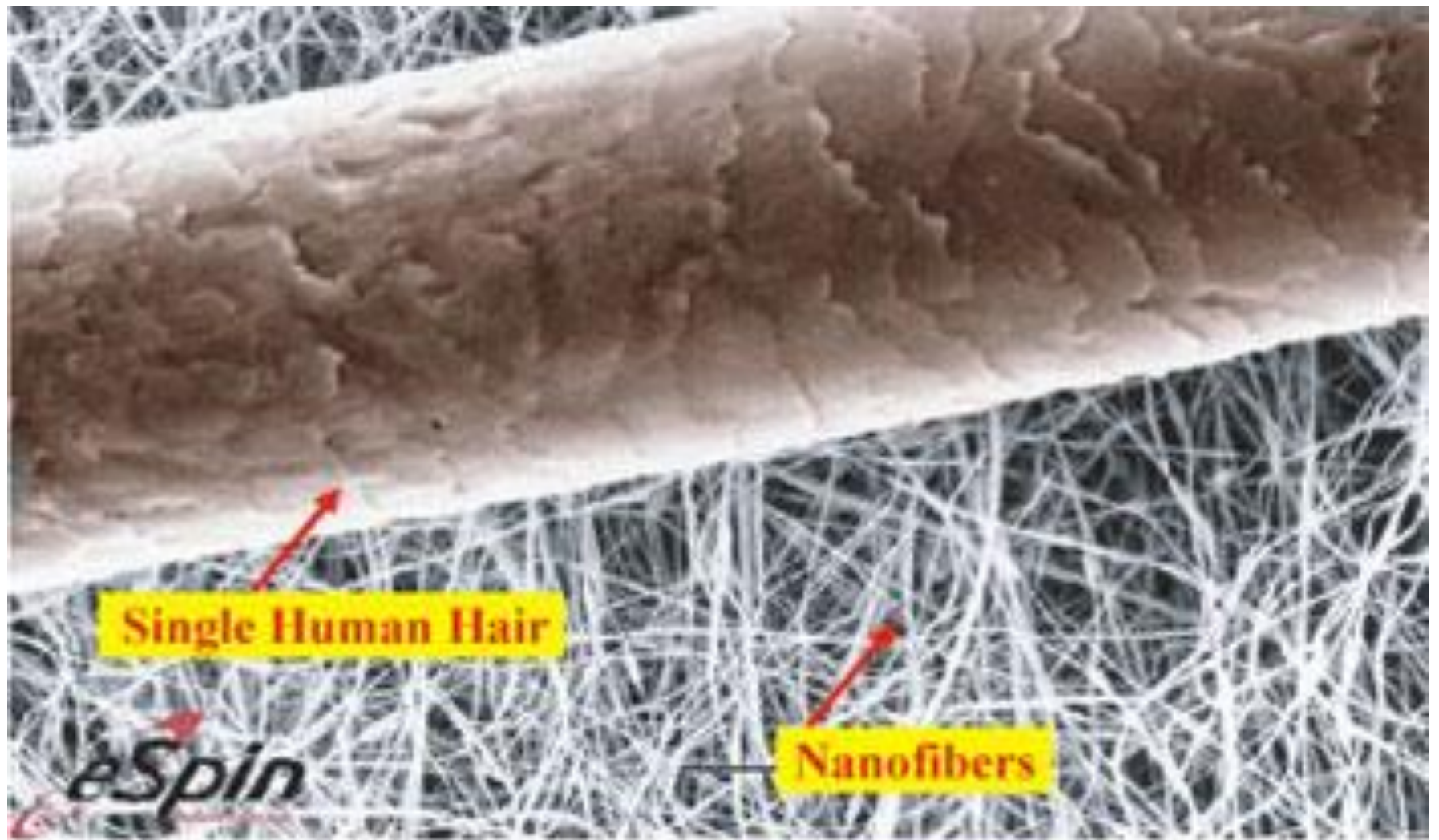


Figure 3 : Human hair vs. nanofibers

# ZASTOSOWANIE NANOWŁÓKIEN

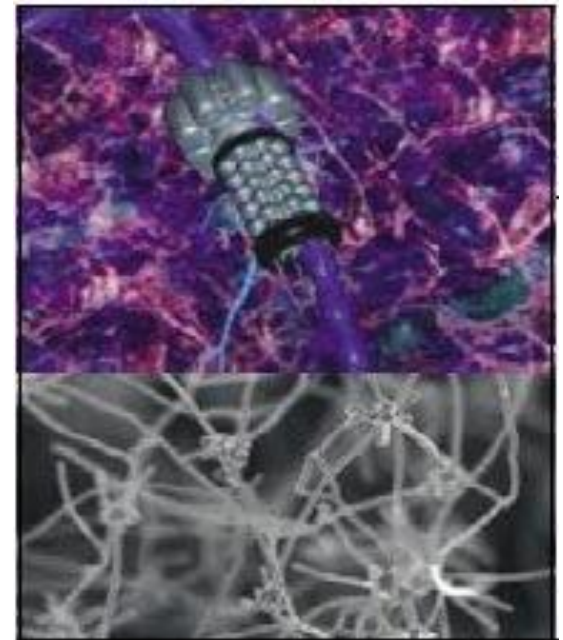
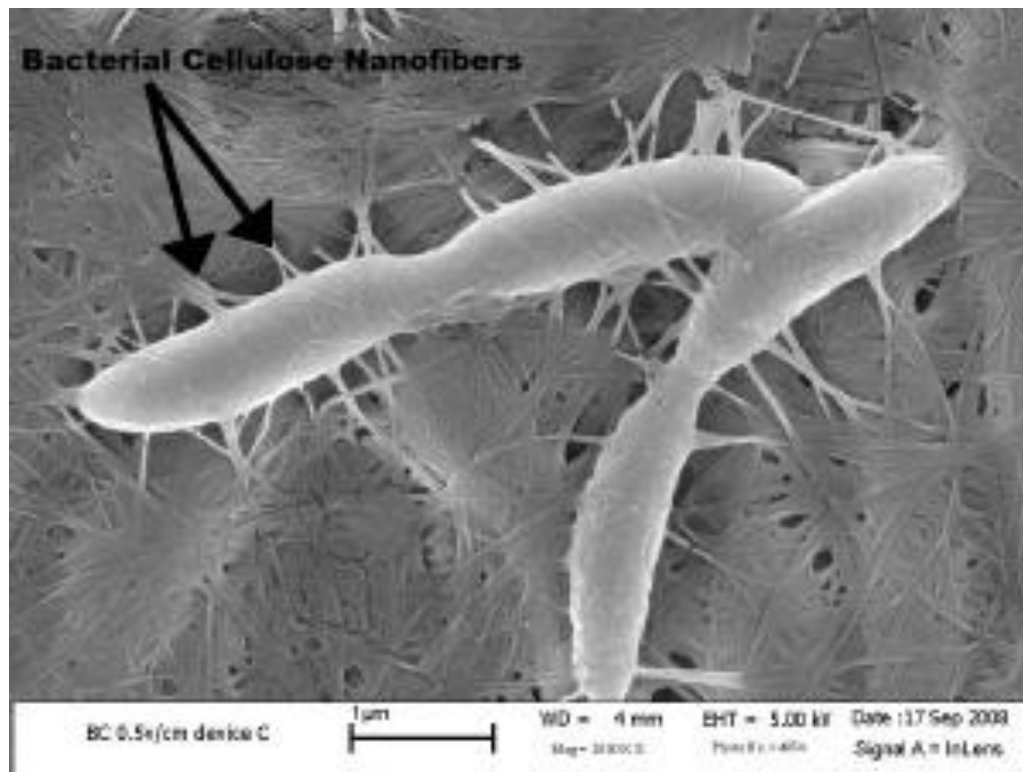
- medycyna (inżynieria tkankowa),
- inżynieria środowiska (filtry),
- energetyka i elektronika (baterie),
- bezpieczeństwo (odzież ochronna),



# ZASTOSOWANIE NANOWŁÓKIEN

## -medycyna (inżynieria tkankowa)

Inżynieria tkankowa daje możliwości naprawcze tkanek i narządów człowieka



# ***NANOPROSZKI TLENKÓW METALI***

**Nanoproszki** są to drobinki substancji stałych o wielkości poniżej 100nm. W praktyce granica ta jest przesunięta i wynosi około 10nm.



Przykłady zastosowania nanoproszków: farby, kremy nanoproszki luminescencyjne do diagnostyki medycznej

# NANOPROSZKI I NANOSPIEKI CERAMICZNE

Nanoproszki to drobinki substancji stałych o wielkości poniżej 100nm. W praktyce granica ta jest przesunięta i wynosi około 10nm, gdyż nanoproszki można otrzymać stosunkowo łatwo.

Nanoproszki są obecnie najbardziej rozpowszechnioną formą nanomateriałów.

# WŁAŚCIWOŚCI NANOPROSZKÓW

-powierzchnia właściwa

Mała wielkość cząstek nanoproszków powoduje, że mają one bardzo rozwiniętą powierzchnię właściwą, co wpływa na właściwości nanoproszków.

# WŁAŚCIWOŚCI NANOPROSZKÓW

-powierzchnia właściwa

Mała wielkość cząstek nanoproszków powoduje, że mają one bardzo rozwiniętą powierzchnię właściwą, co wpływa na właściwości nanoproszków.

-aglomeracja (łączenie) nanocząstek

Tendencja do aglomeracji cząstek jest szczególnie silna w przypadku małych cząstek, ze względu na duży udział atomów powierzchniowych w stosunku do atomów objętościowych.

-właściwości magnetyczne

Niektóre cząstki ferromagnetyczne, po osiągnięciu rozmiarów nanometrycznych, stają się cząstkami superparamagnetycznymi, używanymi w technice rezonansu magnetycznego jako kontrast tkanek.

# WŁAŚCIWOŚCI NANOPROSZKÓW

-powierzchnia właściwa

Mała wielkość cząstek nanoproszków powoduje, że mają one bardzo rozwiniętą powierzchnię właściwą, co wpływa na właściwości nanoproszków.

-aglomeracja (łączenie) nanocząstek

Tendencja do aglomeracji cząstek jest szczególnie silna w przypadku małych cząstek, ze względu na duży udział atomów powierzchniowych w stosunku do atomów objętościowych.

-właściwości magnetyczne

Niektóre cząstki ferromagnetyczne, po osiągnięciu rozmiarów nanometrycznych, stają się cząstkami superparamagnetycznymi,

## Metody wytwarzania nanoproszków:

### 1. metody osadzania z fazy gazowej

- PVD

- CVD

## Metody wytwarzania nanoproszków:

### 2. metody osadzania z fazy ciekłej

- zol-żel
- metoda strącania
- synteza hydrotermalna
- elektrochemiczne osadzanie

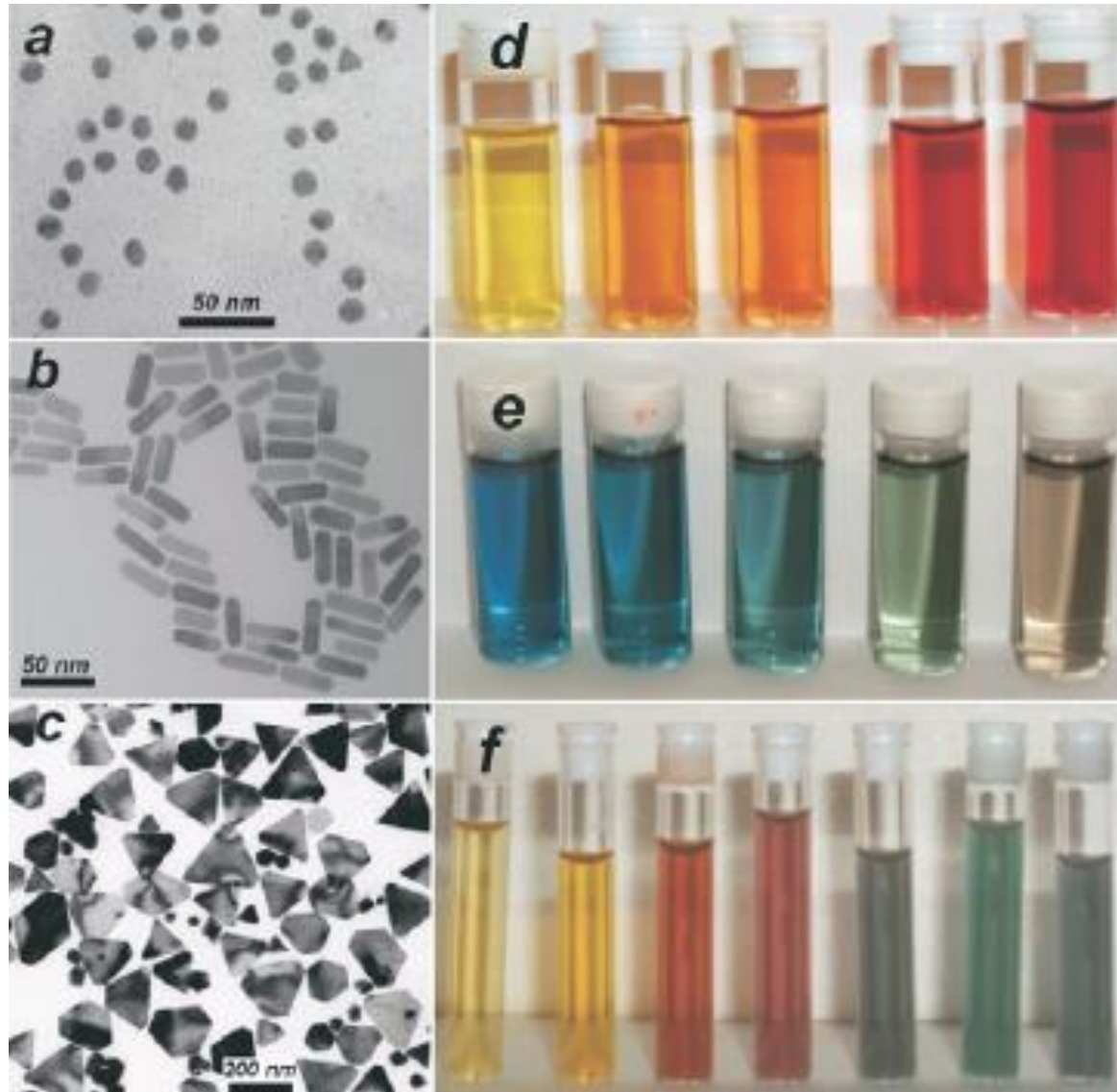
## Metody wytwarzania nanoproszków:

### 3. metody rozdrabniania

- mielenie
- wysokoenergetyczne rozdrabnianie

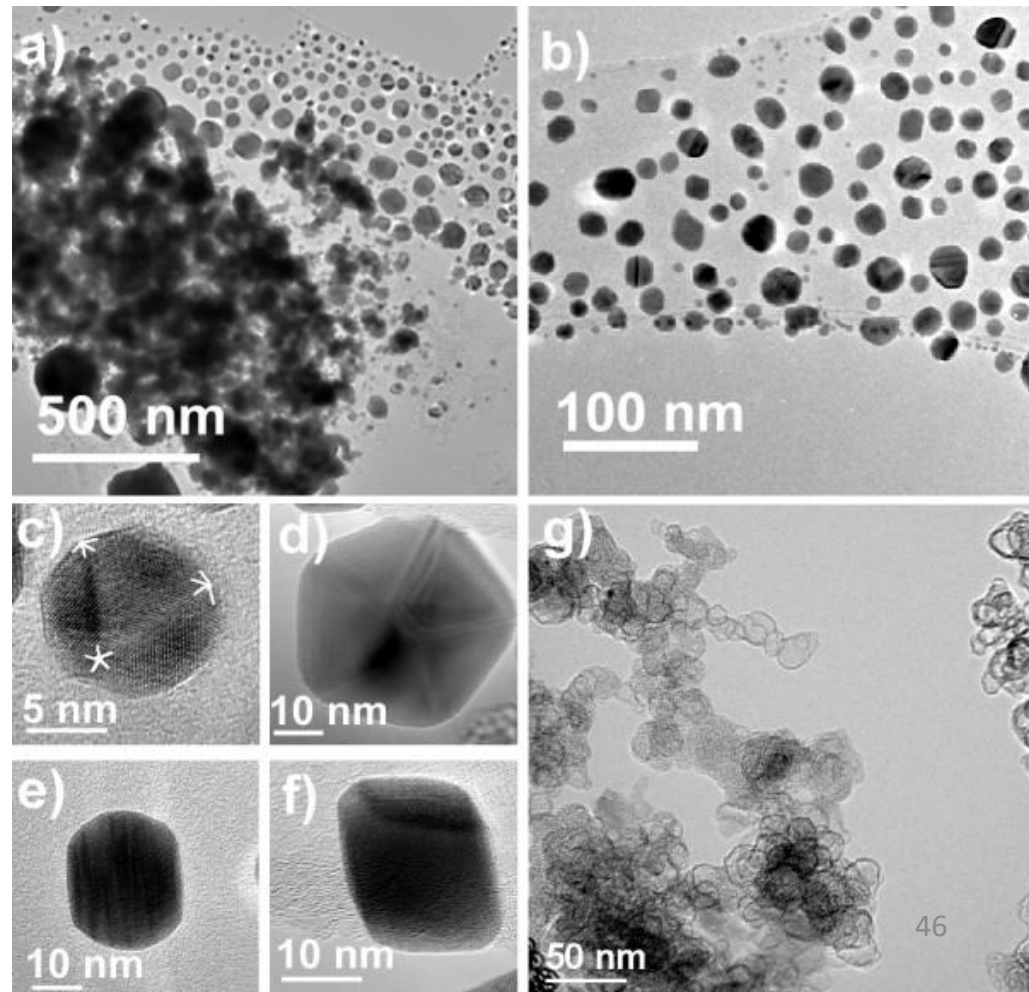
# Nanozłoto

***Nanocząstki złota o wielkości kilku nanometrów  
(miliardowych części metra)***



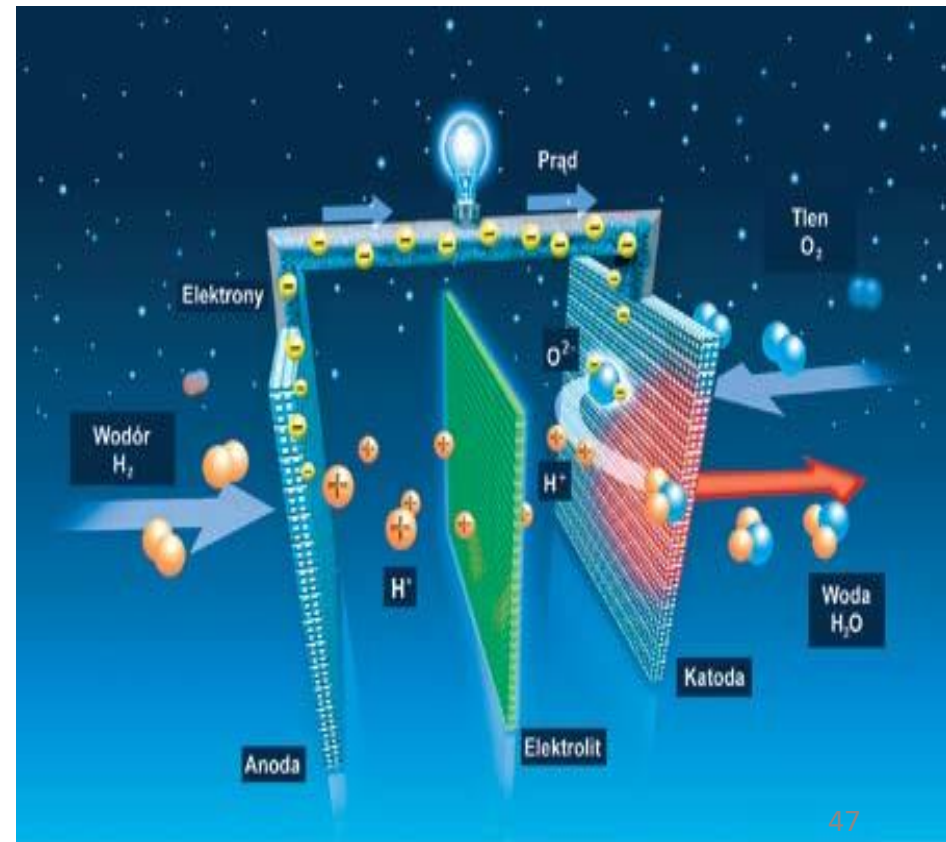
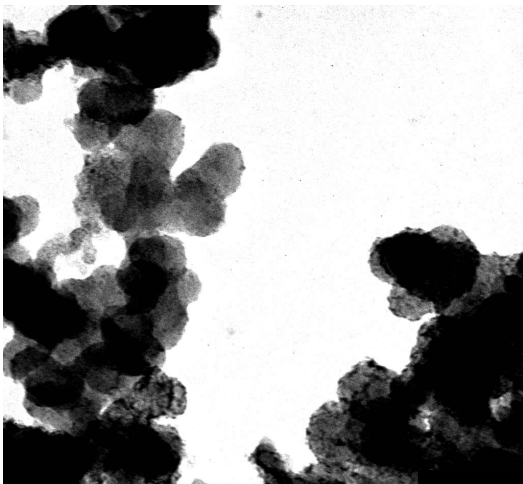
# Nanosrebro

*Jony srebra  $Ag^+$  oraz oraz nanosrebro znane już jest od czasów starożytnych. Nanocząstki (o rozmiarach poniżej 500 atomów w nanocząstce) posiadają właściwości bakterio- i grzybobójcze. Zjawisko to znane jest już od ponad 5000 lat.*



# Nanoplatyna

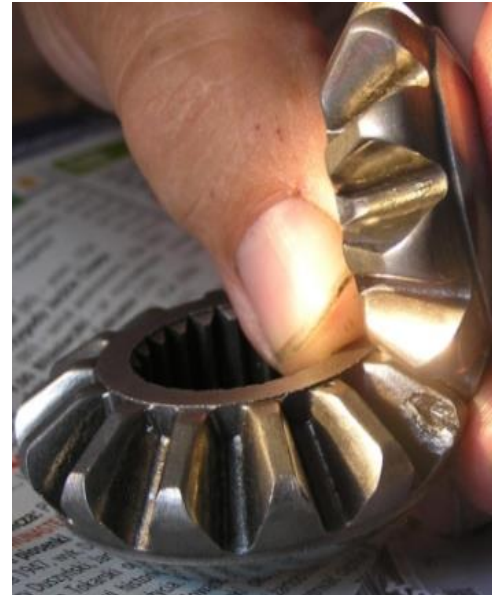
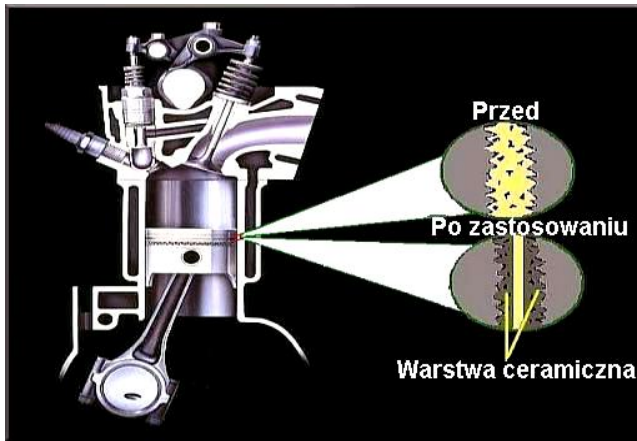
*Nanocząstki platyny są stosowane jako katalizatory w ogniwach wodorowych oraz katalizatorach samochodowych.*



# *Nanocząstki glinokrzemianów*



# ***Spieki tlenkow metali – nanoceramika, ceramizery***

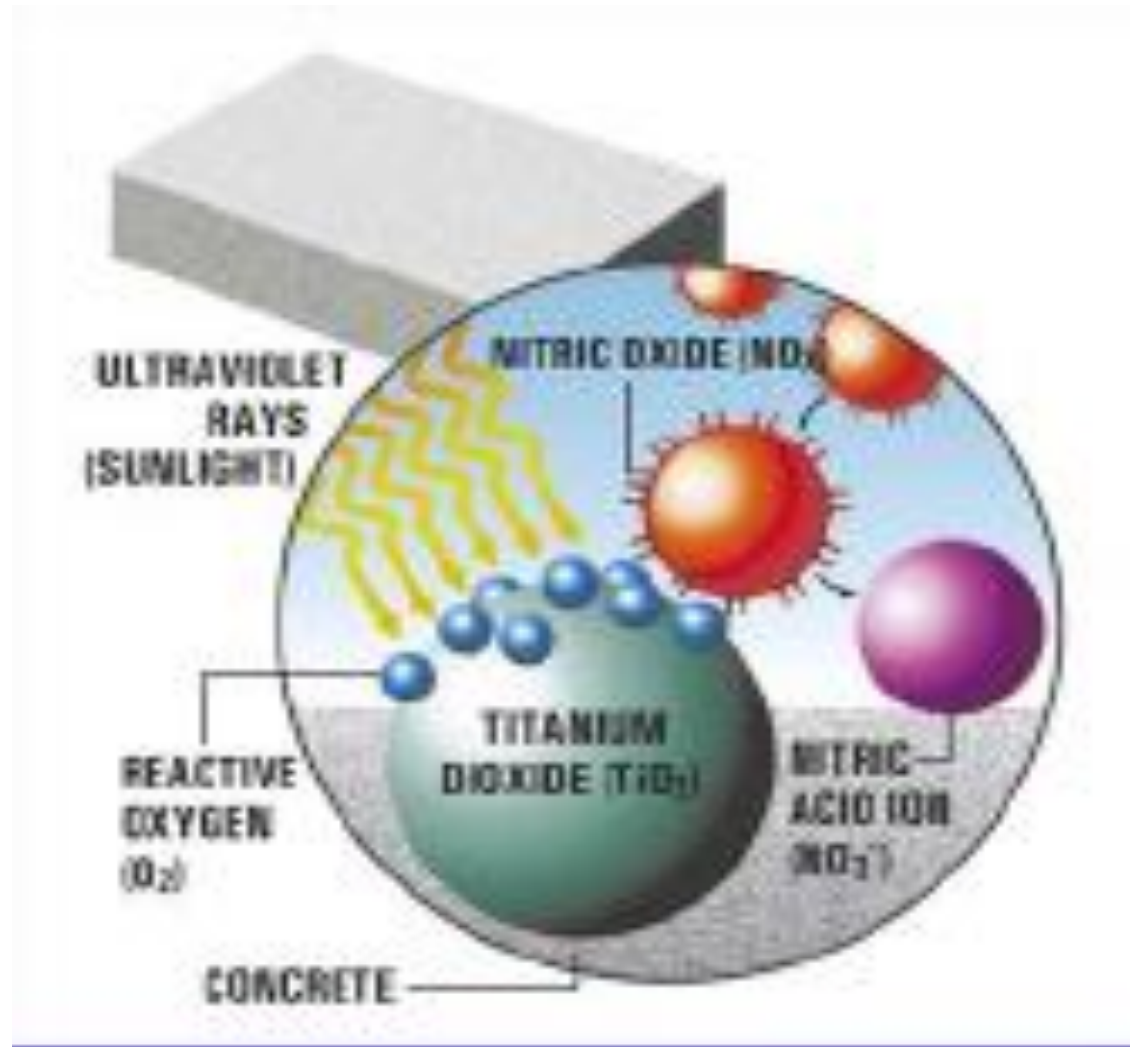


Zużyta zębátka skrzyni biegów po rajdzie 500 km (auto: Peugeot Rally)



Inna zębátka po rajdzie. Tym razem przed rajdem zastosowano ceramizery aby zapobiec zużyciu.

# Tlenek Tytanu



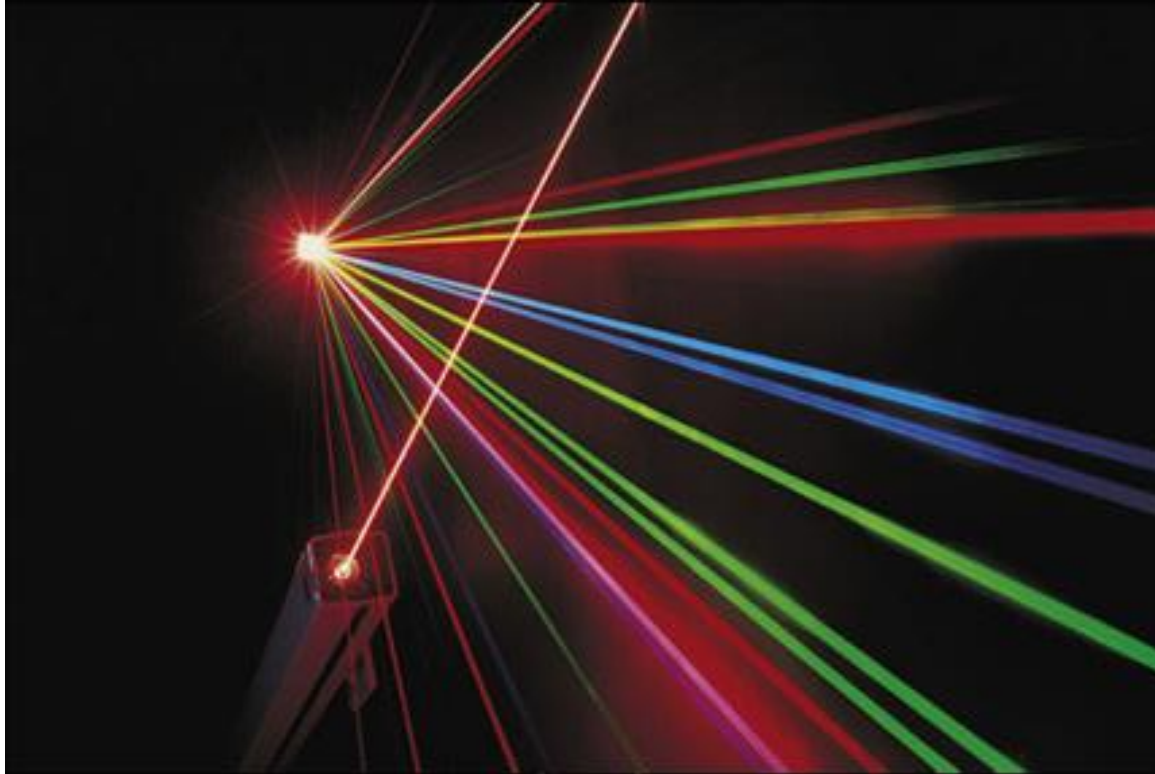
# ZASTOSOWANIE NANOPROSZKÓW I NANOSPIEKÓW CERAMICZNYCH

Największy segment rynkowy nanotechnologii!

- Układ ceramiczny YAG ( $Y_3Al_5O_{12}$ ): połączony z niebieskim LED (450 nm) jest potencjalnie bardzo obiecujący w zastosowaniach oświetleniowych w niedalekiej przyszłości (diody emitujące światło białe).



# ZASTOSOWANIE NANOPROSZKÓW I NANOSPIEKÓW CERAMICZNYCH



# ZASTOSOWANIE NANOPROSZKÓW I NANOSPIEKÓW CERAMICZNYCH

- główka protezy stawu biodrowego lub panewki stawu (ze względu na dużą tolerancję biologiczną), stawy kolanowe, protezy zębowe (ze względu na ich obojętność chemiczną i estetykę).
- pokrywanie narzędzi skrawających,

# ***NANOKOMPOZYTY***

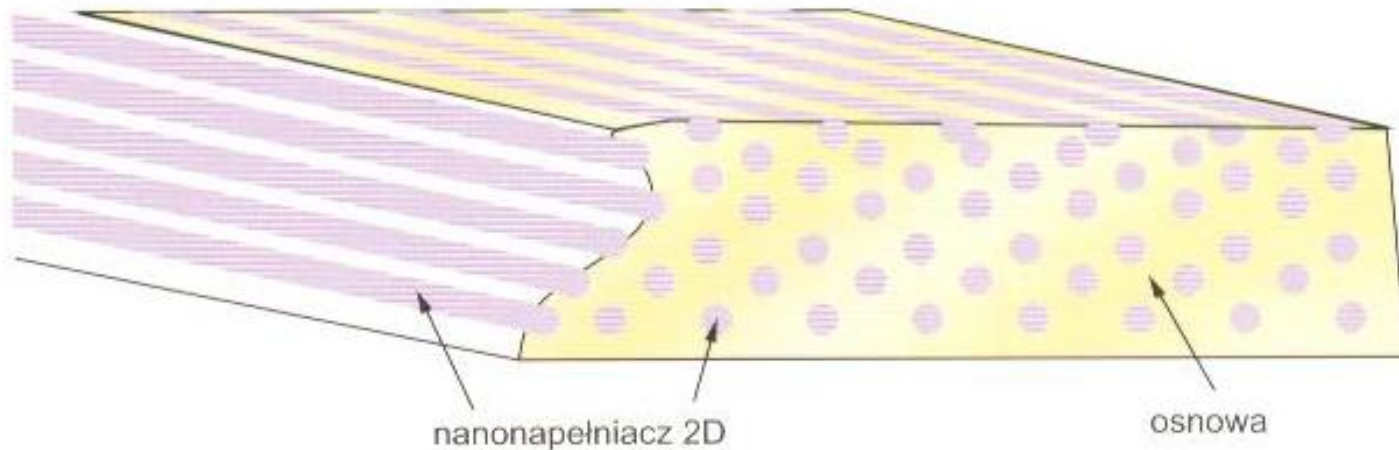


## **Kompozyty**

- ❖ **materiały utworzone z co najmniej dwóch komponentów o różnych właściwościach w taki sposób, że mają właściwości lepsze lub dodatkowe w stosunku do komponentów użytych osobno**
- ❖ **wytworzone przez człowieka**
- ❖ **z wyraźnie zaznaczonymi granicami rozdziału między fazami komponentów**

# NANOKOMPOZYTY

Nanokompozyty składają się co najmniej z dwóch składników, z tym że co najmniej jeden z nich ma rozmiary w skali nanometrycznej. Wykazują one lepsze właściwości niż kompozyty konwencjonalne o takim samym składzie chemicznym i fazowym. Wynika to z dodatku nanonapełniaczy.



*Model struktury nanokompozytu 2D*

plytki o grubości  $< 100$  nm



cząstki o trzech wymiarach  $< 100$  nm



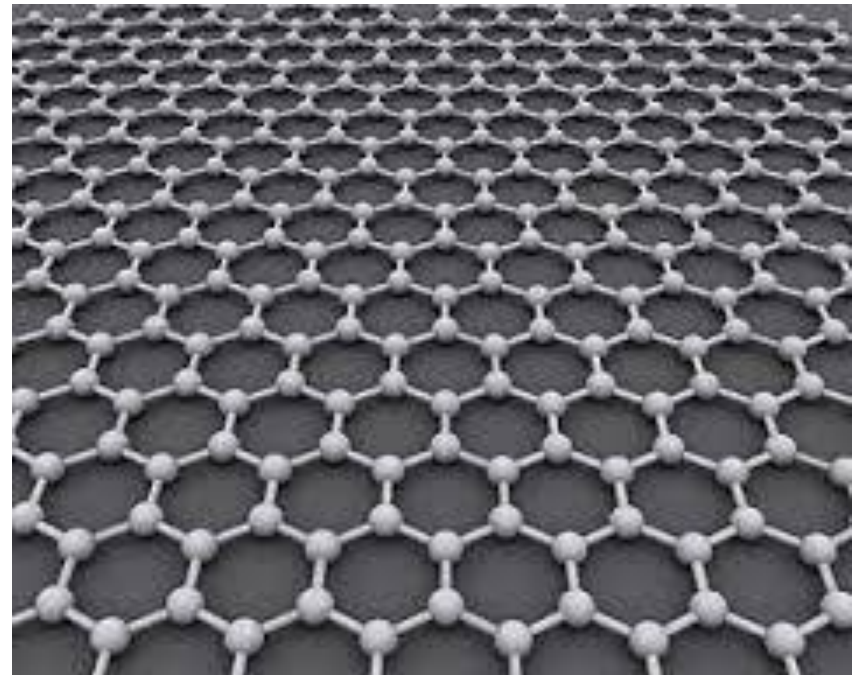
rurki, włókna o średnicy  $< 100$  nm



*Różne nanonapełniacze nanokompozytów*

**WŁAŚCIWOŚCI NANOKOMPOZYTÓW** zależą od parametrów mikrostruktury:

- wielkości elementów struktury osnowy,
- wielkości cząstek zbrojących,
- rozłożenia cząstek w osnowie,
- od cech nanonapełniaczy.



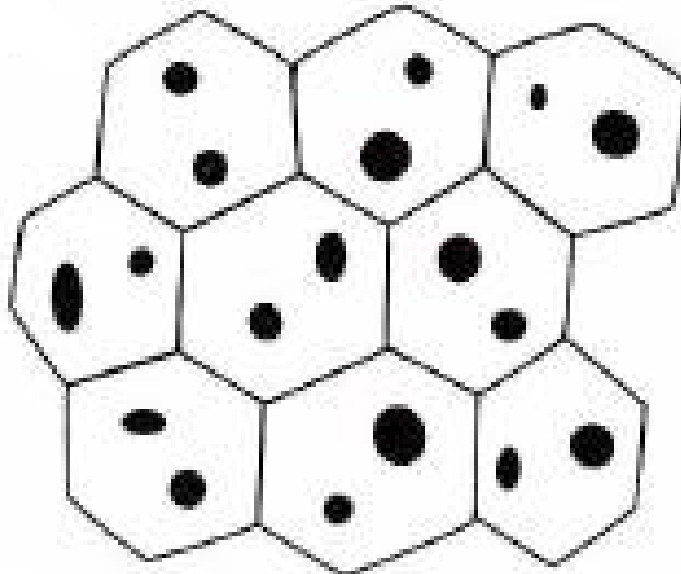
Ze względu na rodzaj osnowy wyróżnia się trzy grupy nanokompozytów:

1. nanokompozyty ceramiczne
2. nanokompozyty metaliczne
3. nanokompozyty polimerowe

# Nanokompozyty ceramiczne

Klasyfikacja nanokompozytów ceramicznych:

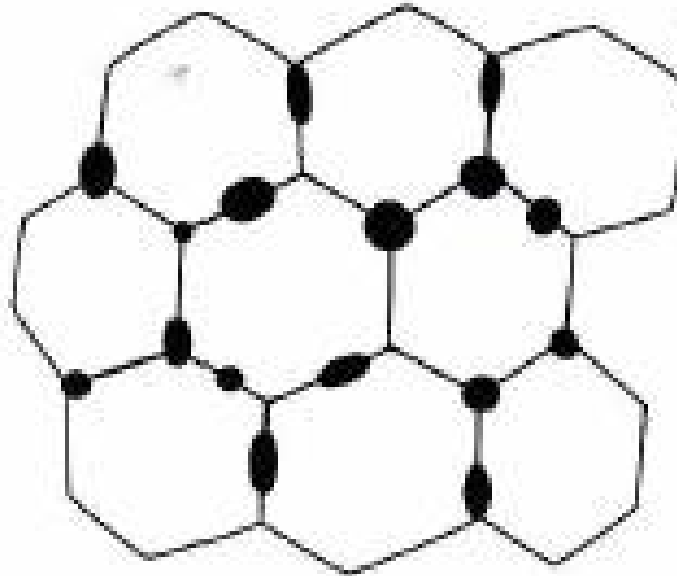
- wewnątrzkrystaliczne (np.  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ni}$ , nanocząstki niklu otrzymane przez redukcję cząstek  $\text{NiO}$  podczas spiekania),



# Nanokompozyty ceramiczne

Klasyfikacja nanokompozytów ceramicznych:

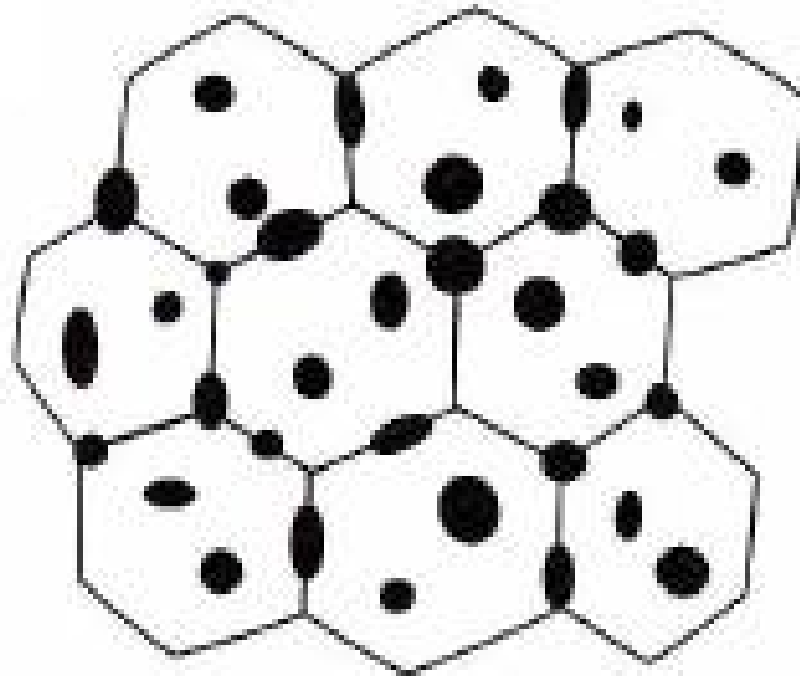
-międzykrystaliczne (np.  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiC}$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiC}$ , cząstki SiC są rozmieszczone na granicach ziaren ceramiki  $\text{Al}_2\text{O}_3$  i  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ),



# Nanokompozyty ceramiczne

Klasyfikacja nanokompozytów ceramicznych:

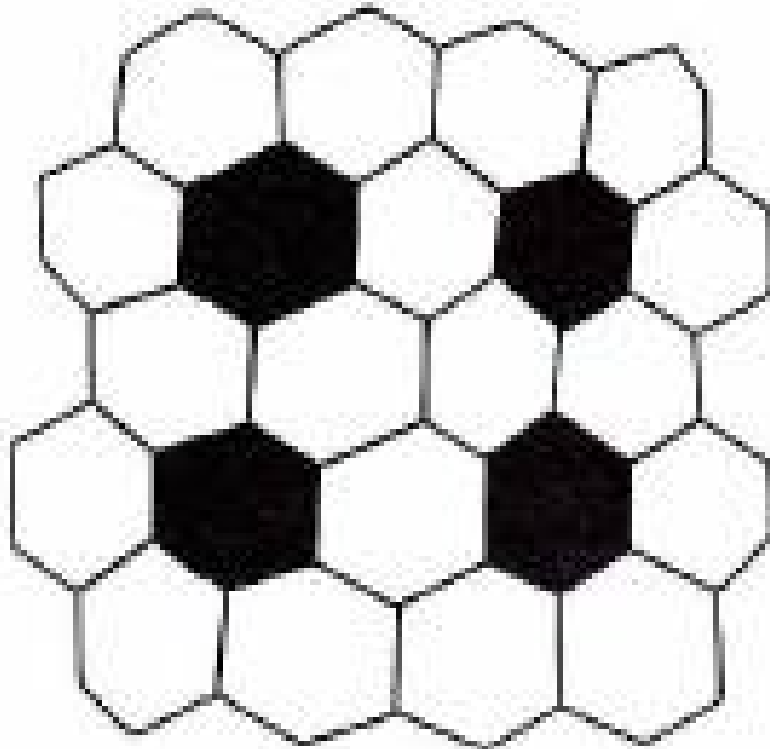
-hybrydowe,

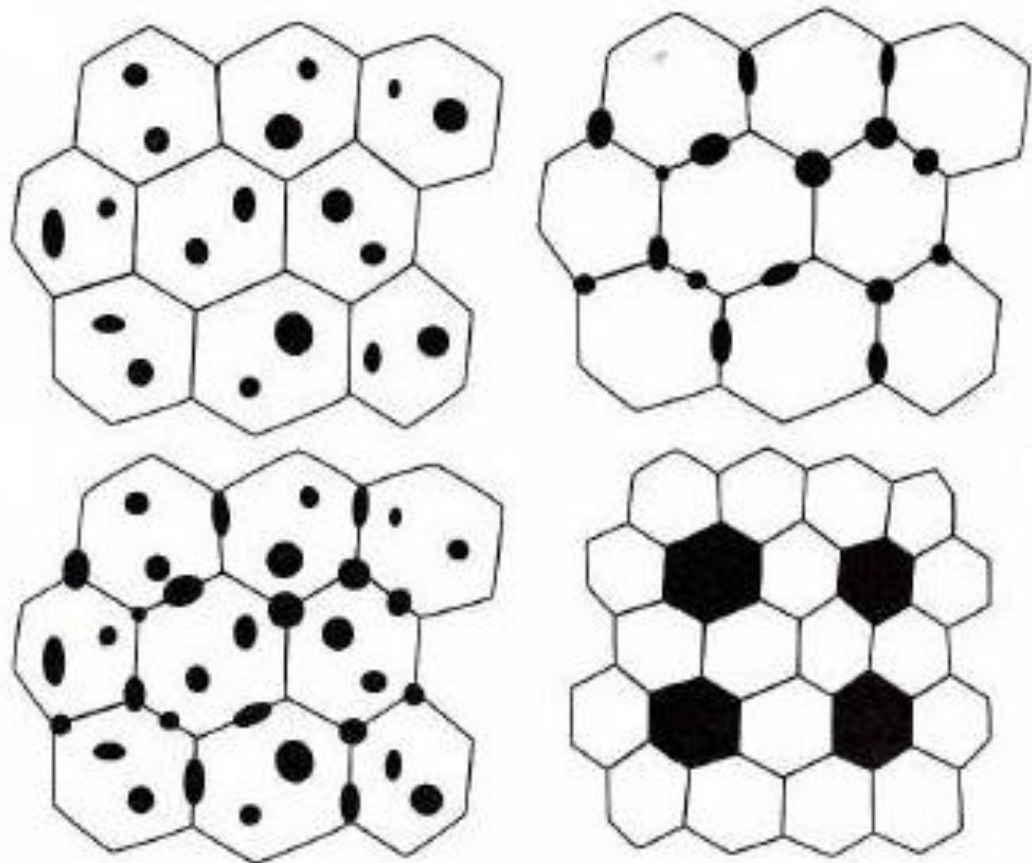


# Nanokompozyty ceramiczne

Klasyfikacja nanokompozytów ceramicznych:

-nano/nano





*Klasyfikacja nanokompozytów ceramicznych: a) wewnątrzkrystaliczne, b) międzykrystaliczne, c) hybrydowe, d) nano/nano*

Główną zaletą nanokompozytów ceramicznych w porównaniu z ich konwencjonalnymi odpowiednikami są lepsze właściwości mechaniczne, m.in. większa wytrzymałość, odporność na kruche pękanie, twardość i odporność na pełzanie.

- rurki węglowe,
- powłoki nanokompozytowe,

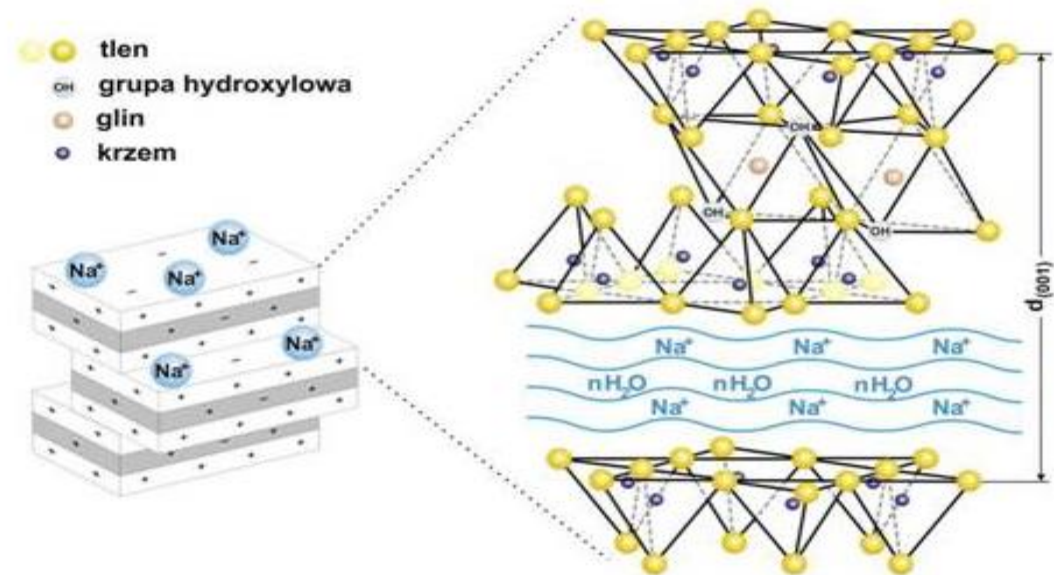
# Nanokompozyty metaliczne

Są to kompozyty o osnowie metalicznej i zbrojeniu w postaci nanocząstek lub nanorurek.

Wykazują lepsze właściwości fizyczne, mechaniczne i ścierne w porównaniu do kompozytów o strukturze mikrometrycznej.

# Nanokompozyty polimerowe

Cechuje je unikalne właściwości- duża wytrzymałość mechaniczna oraz właściwości barierowe (już przy zawartości kilku procent nanonapełniaczy).



Struktura montmorylonitu MMT

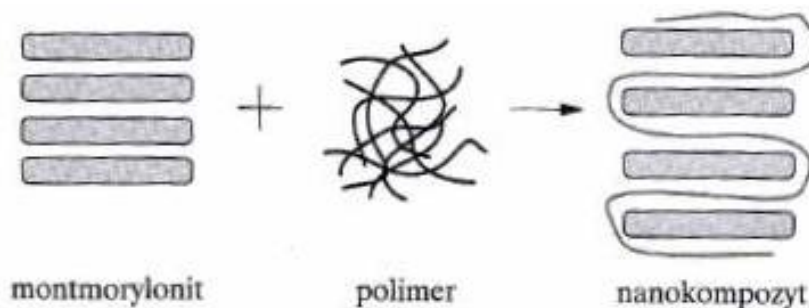
# METODY WYTWARZANIA

## 1. Nanokompozyty ceramiczne i metalowe

- spiekanie proszków
- metoda zol - żel
- natryskiwanie termiczne
- chemiczne i fizyczne osadzanie z fazy gazowej (CVD, PVD)

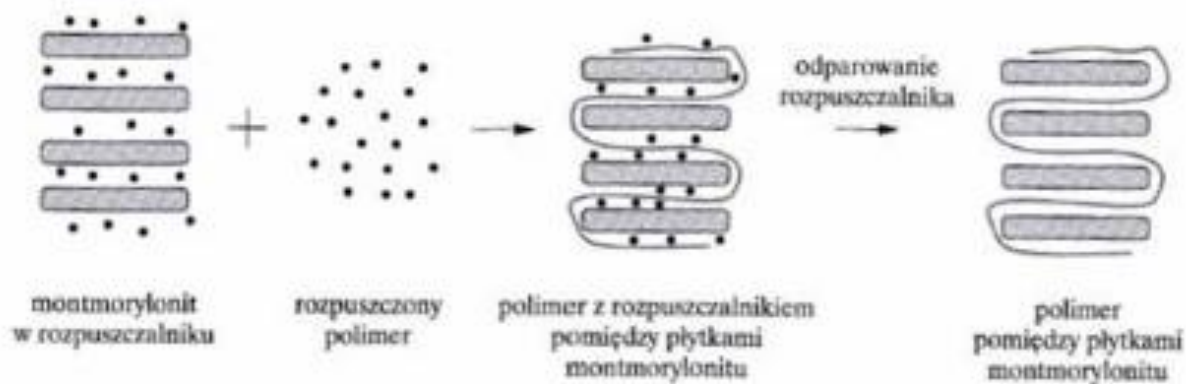
# METODY WYTWARZANIA – c.d.

## 2. Nanokompozyty polimerowe - mieszanie bezpośrednie



*Otrzymywanie nanokompozytu metodą wytłaczania w stopionym polimerze*

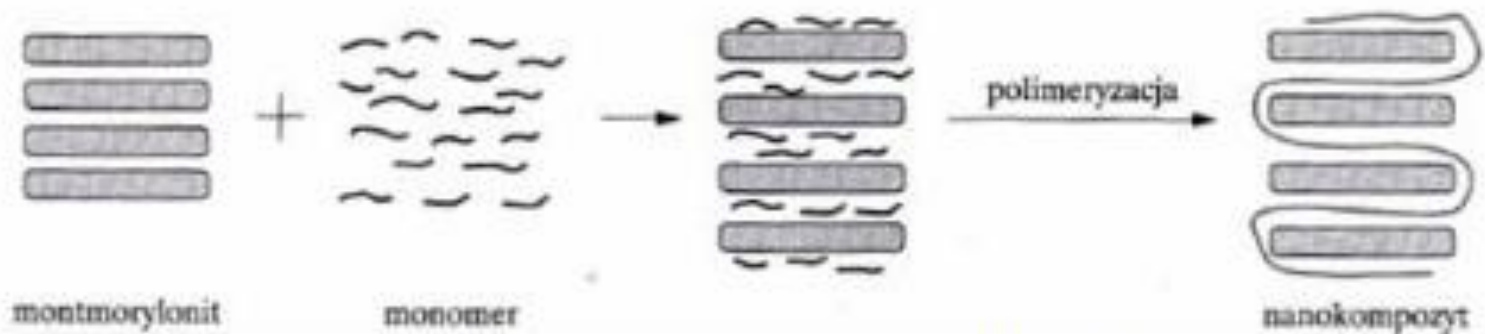
## - mieszanie w roztworze (metoda rozpuszczalnikowa)



*Otrzymywanie nanokompozytu metodą rozpuszczalnikową*

## METODY WYTWARZANIA – c.d.

### 2. Nanokompozyty polimerowe - polimeryzacja In-situ



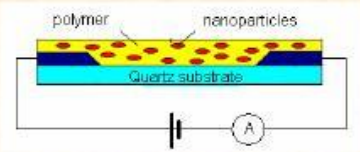
*Otrzymywanie nanokompozytu metodą polimeryzacji in situ*

# Nanokompozyty

*Nanokompozyty możemy podzielić na dwie zasadnicze grupy:*  
*- nanomateriały będące dodatkiem do już istniejących materiałów podwyższających ich własności mechaniczne*


*- nanokompozyty zbudowane od podstaw z nanomaterialów, łączące w sobie zalety wszystkich składników*

**NANOCOMPOSITE SENSORS:**  
**MULTIWALL CARBON NANOTUBES/POLYMER;**  
**METALL (METAL OXIDE) NANOPARTICLES / POLYMER**

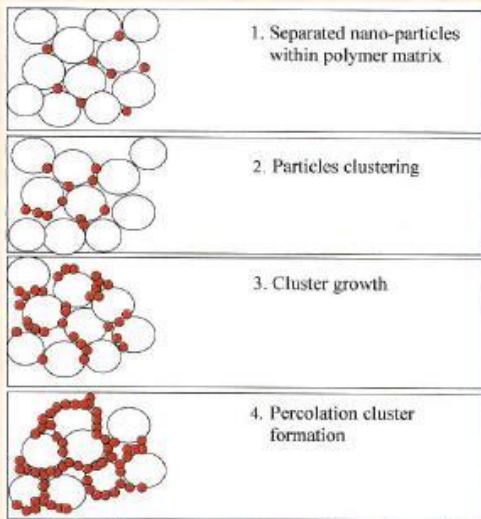



polymer nanoparticles  
Quartz substrate

Diameter of nanoparticles 1-10 nm  
Coating thickness 0.2-1 μm



Electrode system



1. Separated nano-particles within polymer matrix
2. Particles clustering
3. Cluster growth
4. Percolation cluster formation

Model of nanocomposite structure

# ZASTOSOWANIE NANOKOMPOZYTÓW

## Nanokompozyty ceramiczne

- przemysł wytwarzający materiały o dużej wytrzymałości i odporności na ścieranie stosowane na wiertła, ostrza narzędzi skrawających,
- pokrycia TiN i Ti-C-N/ DLC o dużej twardości, odporności na pękanie, małym współczynniku tarcia chronią również przed korozyjnym działaniem płynów (olei, smarów w silnikach).



# ZASTOSOWANIE NANOKOMPOZYTÓW

## Nanokompozyty ceramiczne

- przemysł transportowy - zastosowanie nanokompozytów ceramicznych na elementy hamulcowe samochodów osobowych, ciężarowych i szybkich pociągów, np. tarcze hamulcowe SiC - włókno węglowe



# ZASTOSOWANIE NANOKOMPOZYTÓW

## Nanokompozyty ceramiczne

- kompozyty składające się z twardych cząstek węglików i plastycznej osnowy metalu znalazły zastosowanie na ostrza noży, np. WC/Co, WC/TiC/Co,



-kompozyty C-C i C-ceramika mają bardzo duże możliwości zastosowania w przemyśle lotniczym, kosmicznym, motoryzacyjnym i energetycznym, jako że mają mały ciężar właściwy, małą rozszerzalność cieplną, dużą odporność na szoki termiczne oraz wysoką wytrzymałość w szerokim zakresie temperatur.

# ZASTOSOWANIE NANOKOMPOZYTÓW

## Nanokompozyty ceramiczne

- nanokompozyty ceramiczne z rurkami węglowymi- zastosowanie w lotnictwie, artykułach sportowych, urządzeniach do przechowywania paliw i bateriach litowych.
- nanokompozyty typu tlenek metalu- metal wykorzystywane są w katalizie oraz do budowy czujników, np. nanoporowata ceramika  $\text{Al}_2\text{O}_3$  pokryta nanometrycznymi cząstkami metali (Fe, Ag)

# ZASTOSOWANIE NANOKOMPOZYTÓW

## Nanokompozyty metaliczne

- nanokompozyty na osnowie z lekkiego metalu (Mg, Al) z nanonapełniaczami w postaci cząstek lub włókien SiC czy nanorurek węglowych- przemysł obronny, lotniczy i samochodowy (redukcja masy elementów),
- Fe/MgO, Fe/ TiN- zastosowanie w katalizie i jako elementy urządzeń magnetycznych,
- Ni/PZT- zastosowanie na pokrycia odporna na ścieranie
- Cu/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al/AlN, Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>- w przemyśle mikroelektronicznym,
- Cu/ZrN, Ni/TiN- materiały na pamięci optyczne i magnetyczne.

# ZASTOSOWANIE NANOKOMPOZYTÓW

## **Nanokompozyty polimerowe**

- przemysł opakowaniowy,
- przemysł motoryzacyjny.

Najczęściej stosowanymi kompozytami na opakowania są poliamid 6 (PA6) i politereftalen etylenu (PET) z krzemianami warstwowymi. O takim zastosowaniu zdecydowały doskonałe właściwości barierowe tych materiałów: odporność na przenikanie O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> i H<sub>2</sub>O oraz wyższa stabilność termiczna.

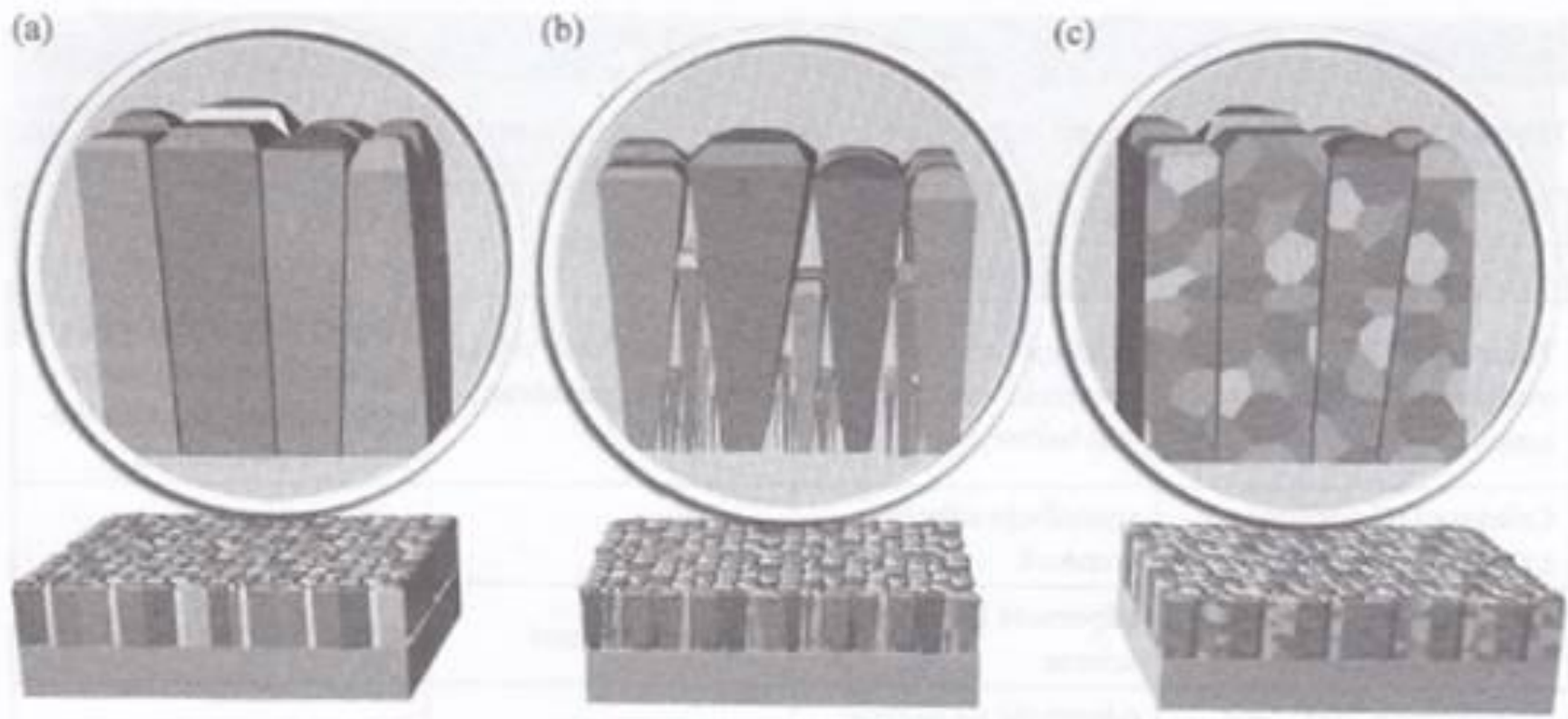
# ***NANOWARSTWY***

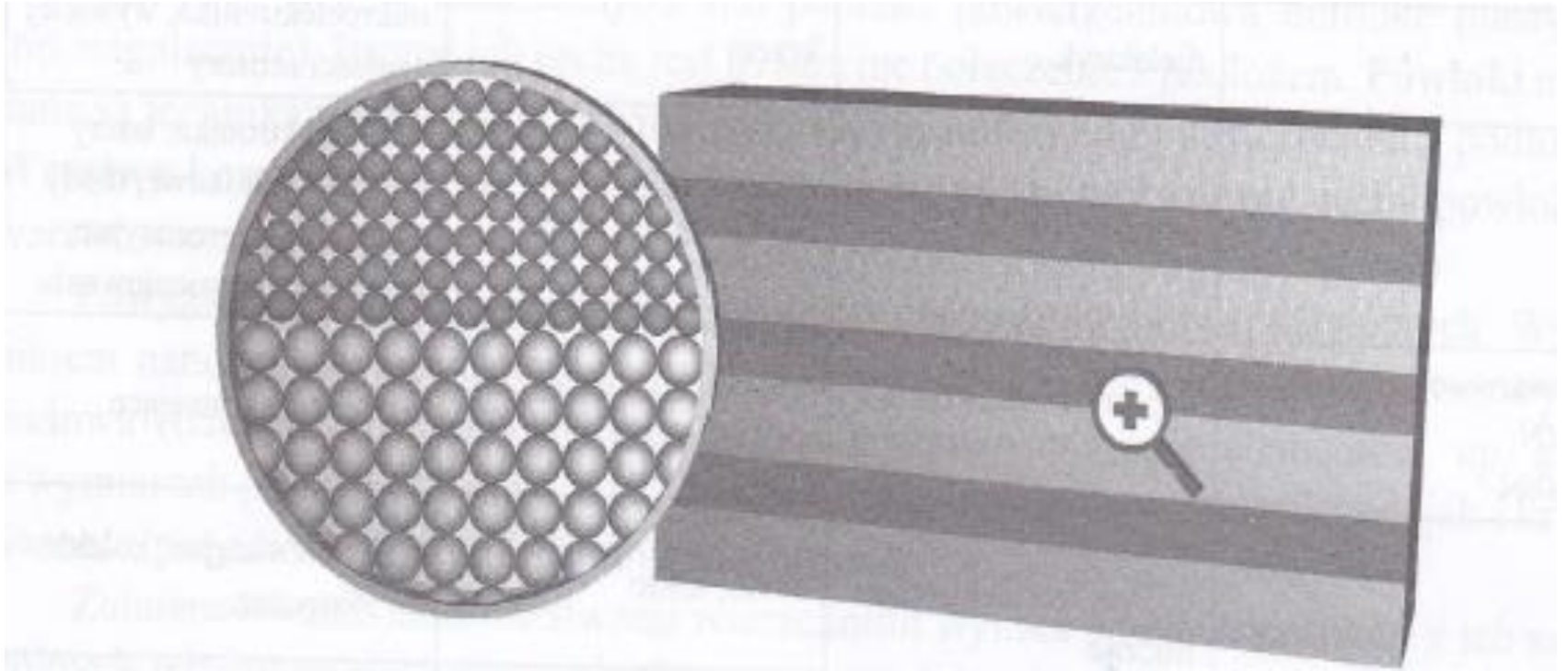
## **CIENKIE WARSTWY (nanowarstwy)**

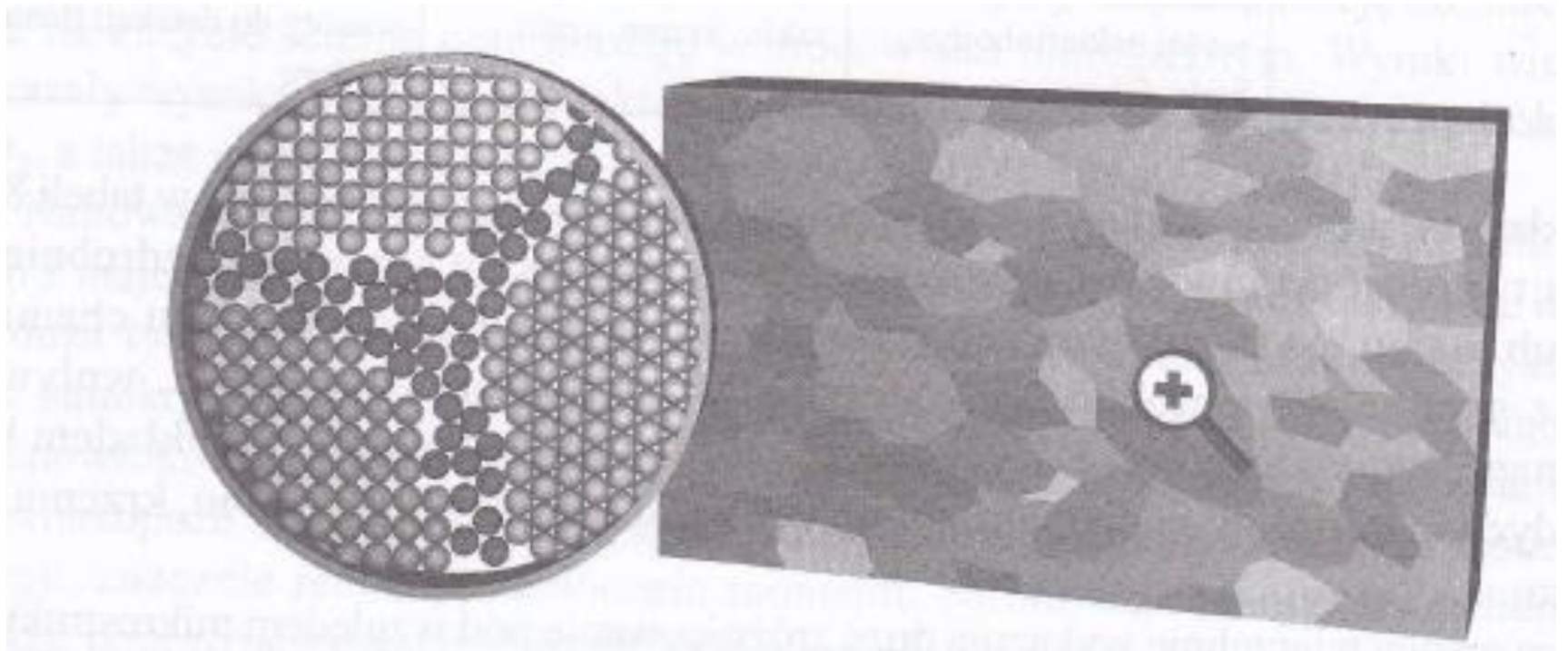
Wyróżnikiem nanowarstw jest ich nanometryczny wymiar:  
nanometryczna grubość lub nanometryczna budowa.

Nanowarstwy mogą być zarówno amorficzne, jak i krystaliczne, metaliczne, ceramiczne, polimerowe lub kompozytowe.

Nanowarstwa		Podłoże	Zastosowanie
Rodzaj	Właściwości		
Polimery ATRP (atom transfer radical polymerization)	Redukcja adhezji komórek, właściwości antybakteryjne	Złoto, tytan, stal, płytki krzemowe, membrany nylonowe	Oprzężenie biomedyczne, biosensory, membrany filtracyjne, mikrokapilary w elektronice
Celuloza i jej pochodne z tiosemikarbazynu	Stymulacja adhezji komórek	Złoto	Inżynieria biomedyczna
Nanodiament DLC (diamond-like carbon)	Odporność na zużycie ścierne	Stal 316L, nitinol	Stenty
Nanodiament DLC	Odporność na zużycie ścierne	Co-Cr-Mo, Ti6Al4V	Implanty ortopedyczne
Nanodiament DLC	Odporność na zużycie ścierne, właściwości antyrefleksyjne	Polimery	Dreny, cewniki, soczewki kontaktowe
SnO <sub>2</sub>	dielektryk	Krzem	Mikroelektronika, wysokiej jakości sensory
GaN	półprzewodnik	Krzem, szafir, miedź	Mikroelektronika, lasery półprzewodnikowe, diody elektroluminescencyjne, detektory promieniowania
Wielowarstwowe powłoki TiN/VN, TiN/NbN	Odporność na zużycie ścierne	Stale narzędziowe i szybkoobrotowe	Narzędzia skrawające
TiO <sub>2</sub>	Właściwości bakteriobójcze, fotoelektrochemiczne	Beton, szkło	Farby elewacyjne, kolektory słoneczne
GaAs	półprzewodnik	szkło	Mikro- i optoelektronika, technika mikrofalowa, ogniwa słoneczne, diody, układy scalone
ZnO	Piezoelektryk, właściwości bakteriobójcze, hydrofobowe	Szkło, krzem, szafir	Mikro- i optoelektronika, sensory do detekcji tlenu i wodoru







## **Metody otrzymywania**

Nanopowłoki i nanowarstwy na metalach i stopach otrzymuje się stosując metody obróbki powierzchniowej.

- wytwarzanie pasywnych warstw tlenkowych,
- osadzanie z fazy gazowej,
- osadzanie elektrolitycznej,
- rozdrobienie ziarna za pomocą odkształcenia plastycznego