



Wybrane właściwości funkcjonalne ceramiki



WIMiC

Katedra Ceramiki i Materiałów Ogniotrwałych

Dr hab. inż. Zbigniew Pędzich

pedzich@agh.edu.pl tel. 23-97

B8/pok. 1.14

„Nauka o materiałach”

I Rok WIMiR rok akad. 2019-2020

Przykładowe funkcje tworzyw ceramicznych

Funkcje mechaniczne

- wirniki
- komory spalania
- łożyska
- dysze palników
- narzędzia skrawające

Funkcje termiczne

- izolacje termiczne
- promienniki IR

Funkcje biologiczne

- sztuczne korzenie zębów
- endoprotezy
- kości i stawy
- sztuczne zastawki serca

Funkcje chemiczne

- nośniki katalizatorów
- katalizatory
- elektrody
- nośniki enzymów
- czujniki gazów
- detektory węglowodorów
- układy alarmowe przecieku gazu

Funkcje nuklearne

- paliwa nuklearne
- materiały na osłony i ekrany

Funkcje optyczne

- świetlówki
- wysokociśnieniowe lampy sodowe
- lasery

Funkcje magnetyczne

- głowice magnetofonowe
- rdzenie pamięci
- magnesy
- silniki miniaturowe

Funkcje elektryczne

- kondensatory
- podłoża elektroniczne
- elementy czujników temperatury
- ogniwa słoneczne

Ceramika funkcjonalna:

Tworzywa ceramiczne , których funkcja
wykracza poza funkcje czysto mechaniczne

jeśli materiał „pracuje” tylko funkcjami

mechanicznymi określa się go jako **konstrukcyjny**

Na potrzeby wykładu przyjmijmy powyższe rozumienie terminu „materiał funkcjonalny” – mówimy o materiałach, które do „czegoś służą”, w związku z tym muszą mieć jakąś postać, ma to być ukształtowany kawałek materii, jako taki musi spełniać jakieś minimum parametrów mechanicznych. Jeśli te funkcje mechaniczne są najważniejsze wtedy mówimy o materiale konstrukcyjnym, a jeśli ważniejsze jest, żeby np. był piezoelektrykiem, albo izolował prąd, albo był odporny chemicznie, to mówimy o jego zastosowaniach funkcjonalnych („ceramika funkcjonalna”)

ROZSZERZALNOŚĆ CIEPLNA

$$\alpha_L = (1/r_0)dr / dT$$

$$\alpha_V = (1/V_0)dV / dT$$

Materiały o dominującym charakterze kowalencyjnym wiązań chemicznych wykazują małe współczynniki rozszerzalności cieplnej

$$\alpha_L \approx 3,5\text{--}4,5 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$$

(AlN, SiC, B₄C, Si₃N₄)

Materiały o dominującym charakterze jonowym wiązań chemicznych posiadają większe współczynniki rozszerzalności cieplnej

$$\alpha_L \approx 7,5\text{--}15 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$$

(Al₂O₃, BeO, MgO, ZrO₂,)

Te parametry mają bardzo istotne znaczenie przy doborze materiałów dla zastosowań technicznych (warunki pracy – podwyższona temperatura; odporność chemiczna; właściwości mechaniczne)

PRZEWODNOŚĆ CIEPLNA

$$dQ = -\lambda \left(\frac{dt}{dx} \right) d\tau$$

Material λ - Przewodność cieplna
[W/m·K]

Ag	406
Cu	385
Al	205
C (diament)	2000
AlN	150-200
SiC	100-160
Si ₃ N ₄	35
ZrO ₂	2
Beton	0.8
Cegła	0.5
Kaowool	0.05-0.12
Drewno	0.04-0.10

Metale

Ceramika

Ceramika o złożonej mikrostrukturze

Tabela porównuje przewodnictwo cieplne różnych typów materiałów - metale generalnie dobrze przewodzą; - ceramika może przewodzić porównywalnie jak metale albo znacznie słabiej, zarówno jako faza gorzej przewodząca (ZrO₂) jak i specjalna struktura - przewodząca słabiej (izolująca) ze względu na specyficzne mikrostruktury (beton, wełna mineralna)

Zastosowania wynikają z właściwości - raczej izolacja, ale jak trzeba dobrać coś co dobrze przewodzi w specyficznych warunkach, można coś wybrać

WŁAŚCIWOSCI CIEPLNE

Temperatury topnienia wybranych materiałów tlenkowych

Materiał		Temp. topn. (°C)	Gęstość (g/cm ³)
Tlenek magnezu	MgO	2852	3.58
Tlenek cyrkonu	ZrO ₂	2715	5.68
Tlenek wapnia	CaO	2572	3.34
Tlenek berylu	BeO	2507	3.02
Tlenek skandu	Sc ₂ O ₃	2485	3.86
Tlenek glinu	Al ₂ O ₃	2054	3.99
Tlenek tytanu	TiO ₂	1843	4.23
Tlenek krzemu	SiO ₂	1722	2.27

Tabela ilustruje potencjalne materiały tlenkowe dla zastosowań ogniotrwałych

Chodzi o zastosowania powszechne (piece, izolacje, materiały relatywnie tanie)

Temperatury topnienia najwyższych topliwych materiałów

Materiał		Temp. topn. (°C)	Gęstość (g/cm ³)
Węglík tantalu/hafnu	Ta ₄ HfC ₅	3990	~14.00
Węglík hafnu	HfC	3928	12.76
Węglík tantalu	TaC	3880	14.50
Węglík cyrkonu	ZrC	3532	6.75
Węglík niobu	NbC	3490	7.82
Wolfram	W	3420	19.25
Azotek hafnu	HfN	3385	13.9
Borek hafnu	HfB ₂	3380	11.19
Borek cyrkonu	ZrB ₂	3245	6.10
Borek tytanu	TiB ₂	3225	4.52
Ren	Re	3186	21.02
Węglík tytanu	TiC	3100	4.94
Borek tantalu	TaB ₂	3040	12.54
Osm	Os	3033	22.59
Tantal	Ta	3017	16.65
Azotek cyrkonu	ZrN	2980	7.09
Azotek tytanu	TiN	2930	5.39
Węglík krzemu	SiC	2820	3.21
Azotek tantalu	TaN	2700	14.30
Molibden	Mo	2620	10.28

Ceramika trójskładnikowa –
roztwór stały

Ceramika dwuskładnikowa

Metale

*Tabela ilustruje potencjalne
materiały dla zastosowań
wysokoogniotrwałych*

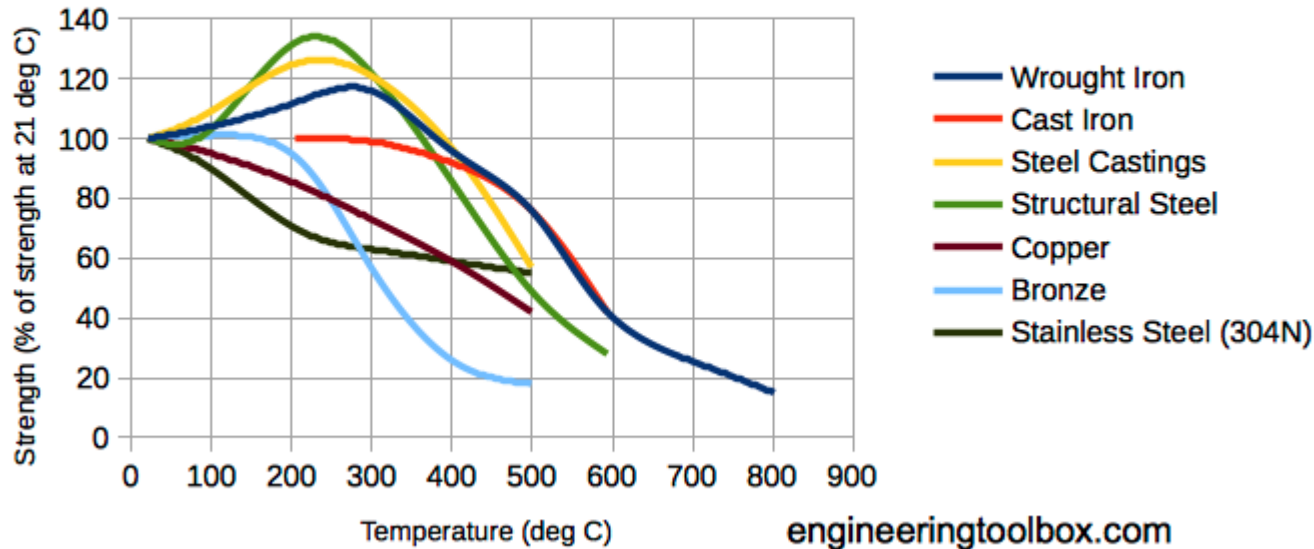
*W zastosowaniach
dynamicznych (lotnictwo,
energetyka preferowane
będą materiały o niskiej
gęstości)*

WYTRZYMAŁOŚĆ VS. TEMPERATURA

METALE

Strength of Metals

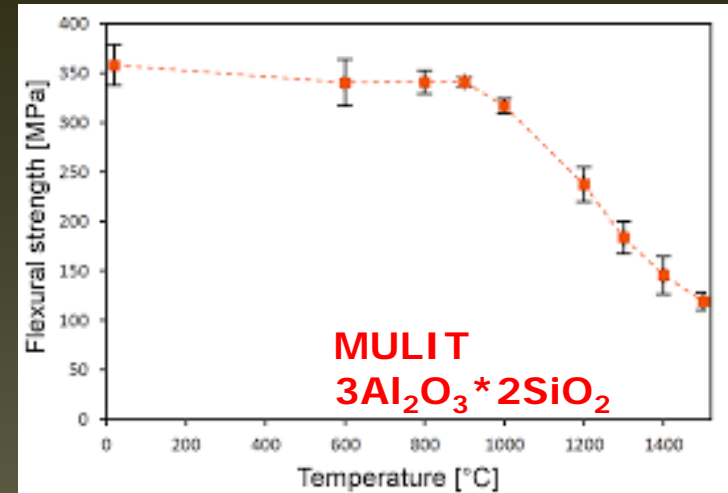
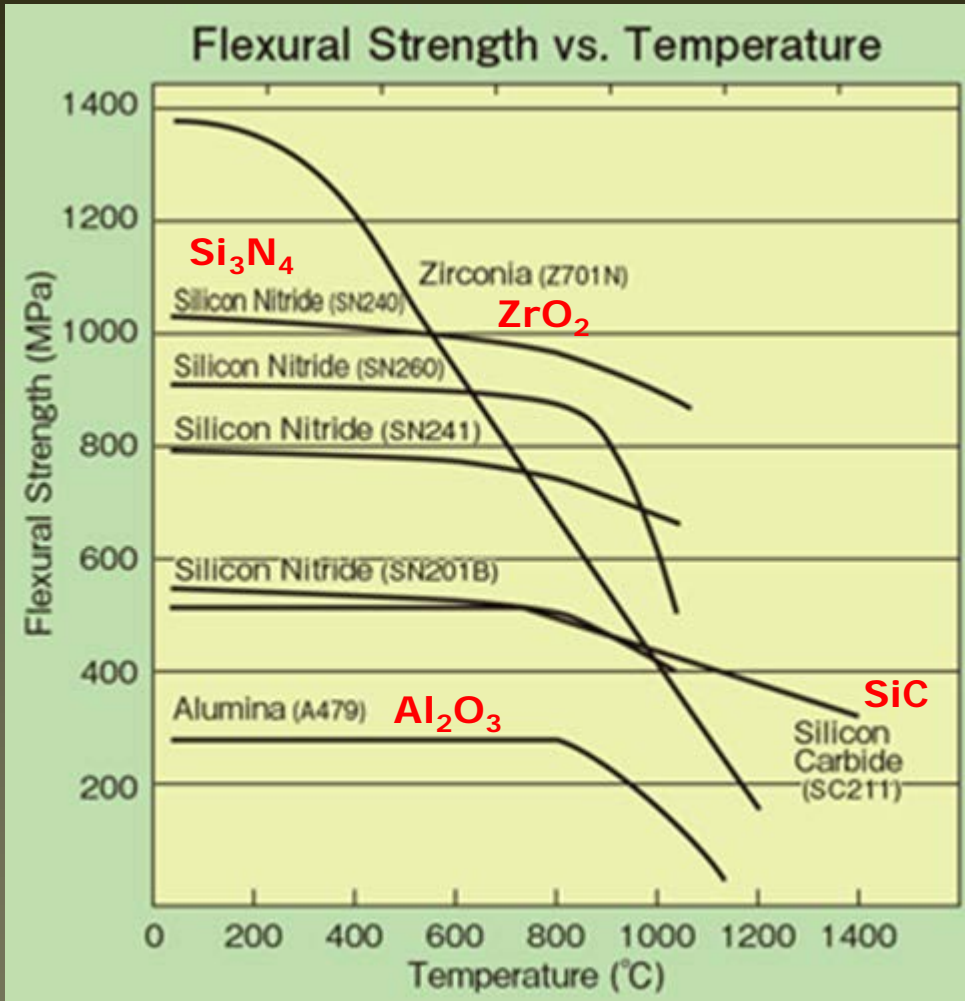
Influence of Temperature



*Ten slajd pokazać możliwości powszechnie stosowanych metali w zastosowaniach, nawet nie wysokotemperaturowych, ale po prostu w podwyższonych temperaturach.
Granice stosowania to kilkaset stopni Celsjusza*

Wytrzymałość vs. Temperatura

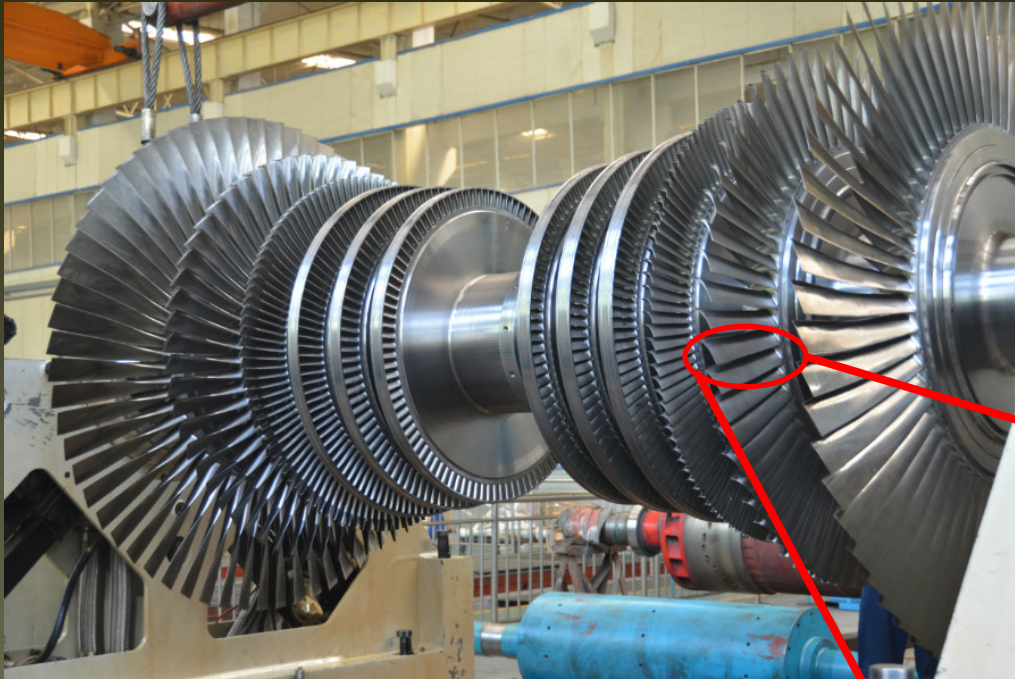
CERAMIKA



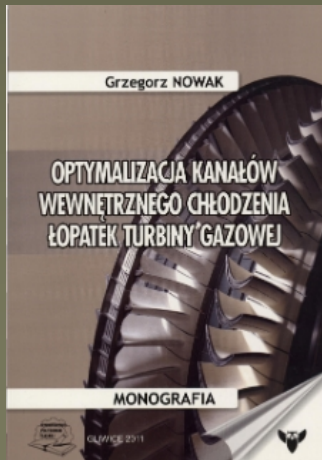
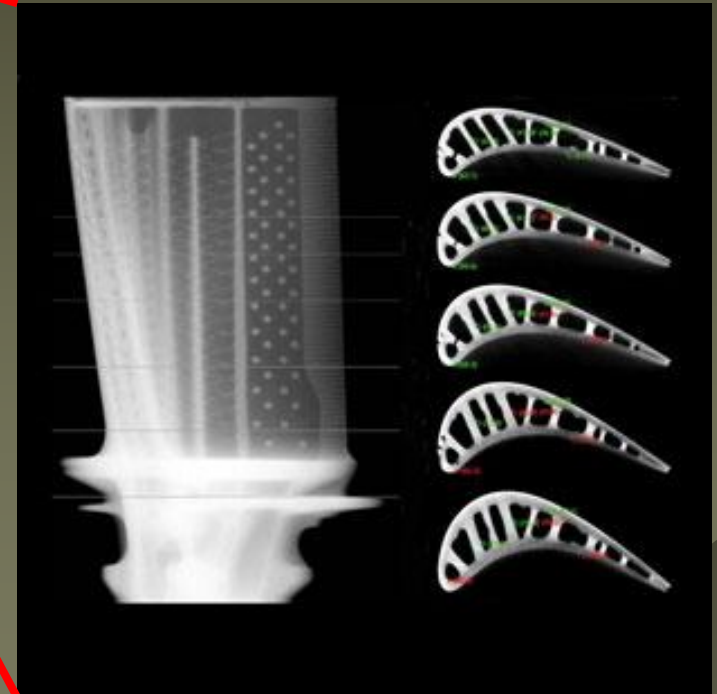
W nawiązaniu do poprzednich zestawień zależność wytrzymałości od temperatury dla ceramicznych wyrobów polikrystalicznych (dane dla azotku krzemu są różne ze względu na różnego rodzaju dodatki do spiekania)

Jak widać, stosunkowo łatwo można dobrać materiały do pracy w zakresie 800-900 stopni, wyżej zaczynają się problemy, dla których rozwiązaniem może być węglikrzem

APLIKACJE DLA EKSTREMALNYCH WARUNKÓW PRACY



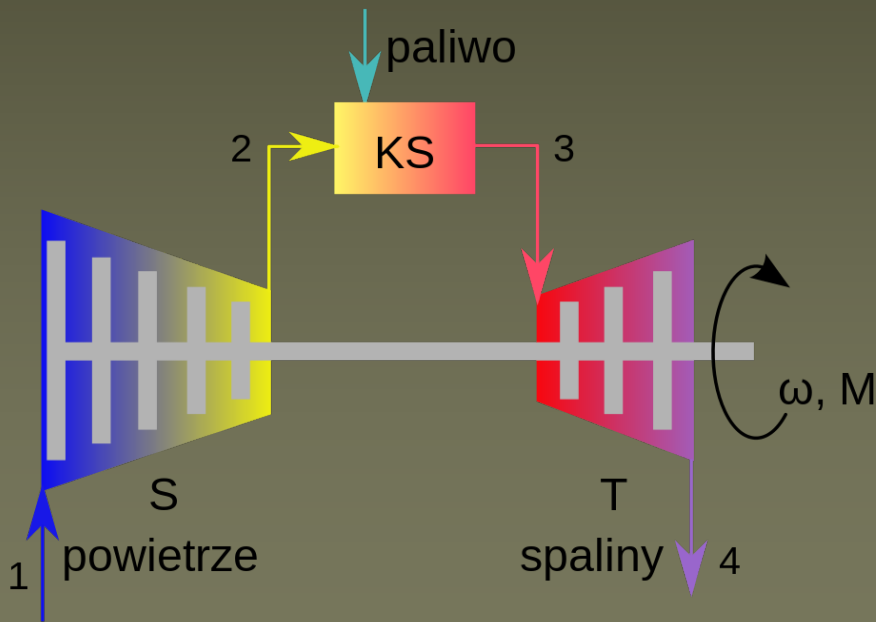
Jedno z najpoważniejszych wyzwań dla współczesnej energetyki – efektywność turbin gazowych (silników odrzutowych, itp.)



Turbina gazowa



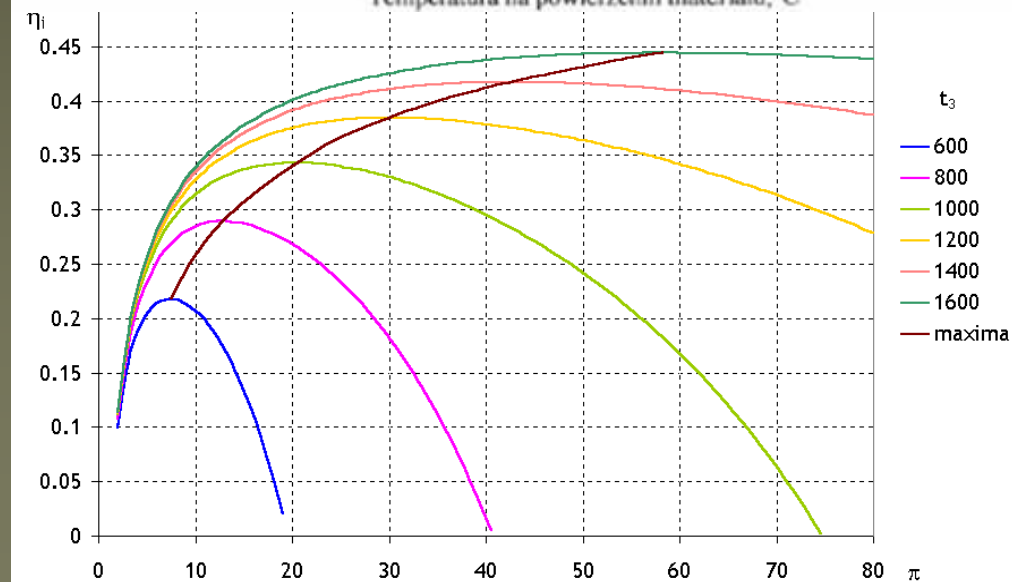
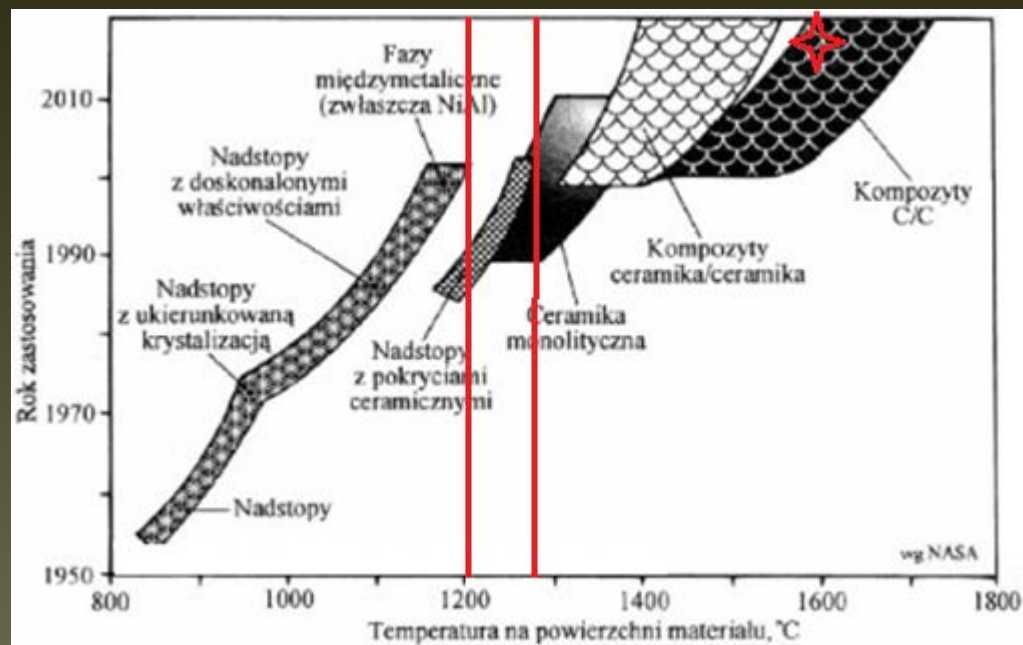
Istotą problemu jest stworzenie warunków w których pomiędzy powietrzem i paliwem, a temperaturą spalania mamy jak największy gradient. Generuje to problemy materiałowe, które można nazwać ekstremalnymi.



- Przykładowe temperatury:
- 20° C
 - 380° C
 - 1200° C
 - 460° C

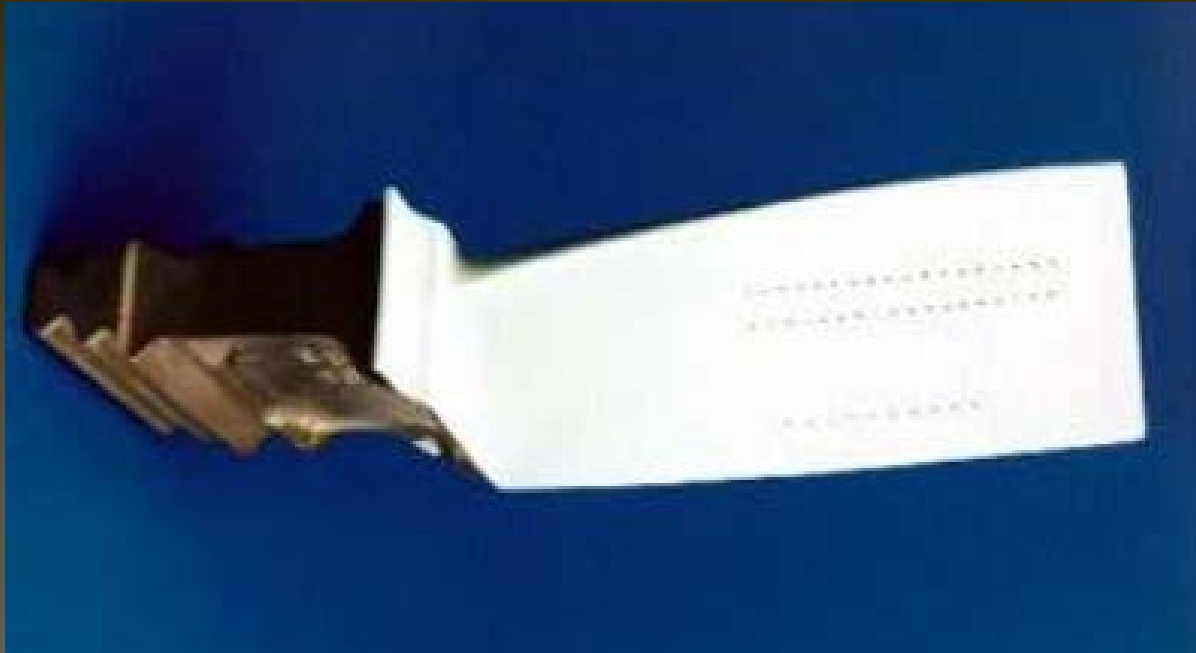
Sprawność turbiny, a temperatura pracy

- stosowane materiały



Możliwości faz metalicznych, kończą się w 1200 stopni Celsjusza, a jak pokazuje wykres sprawności turbiny, byłoby znacznie lepiej, gdyby można było podnieść temperaturę pracy do 1400, a nawet wyżej. Odpowiedzi konstrukcyjne na to wyzwanie mogą być dwojakiego rodzaju:

Thermal barrier coatings TBC - zwykle dwutlenek cyrkonu



ograniczeniem jest materiał metaliczny

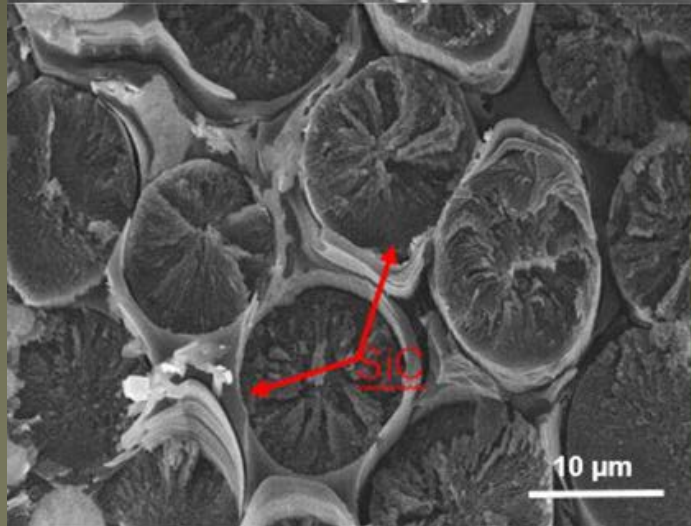
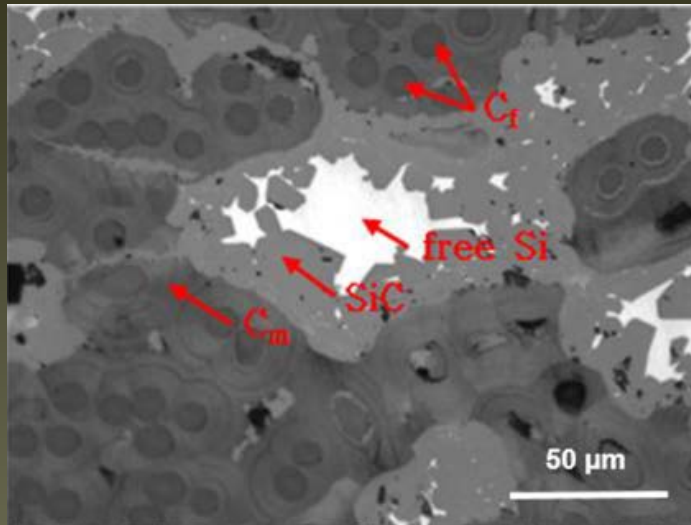
Po pierwsze bariera cieplna (tzw. TBC), zwykle natryskiwana na podłoże metaliczne;

- zwykle jest to dwutlenek cyrkonu (chodzi o jego niskie przewodnictwo cieplne w postaci polikrystalicznej, wysoką temperaturę topnienia i bardzo dobre właściwości mechaniczne;

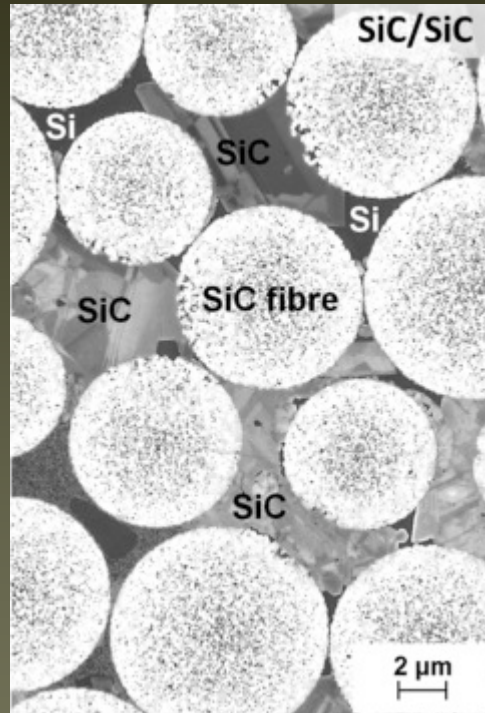
- ograniczeniem tego rozwiązania jest materiał podłoża mechanicznego – tak czy inaczej nie może się za bardzo rozgrzać

Kompozyty o złożonej mikrostrukturze (tzw. *CMC ceramic matrix composites*)

Polikrystaliczna osnowa wzmocniona włóknami ciągłymi (ewentualnie o złożonej architekturze)



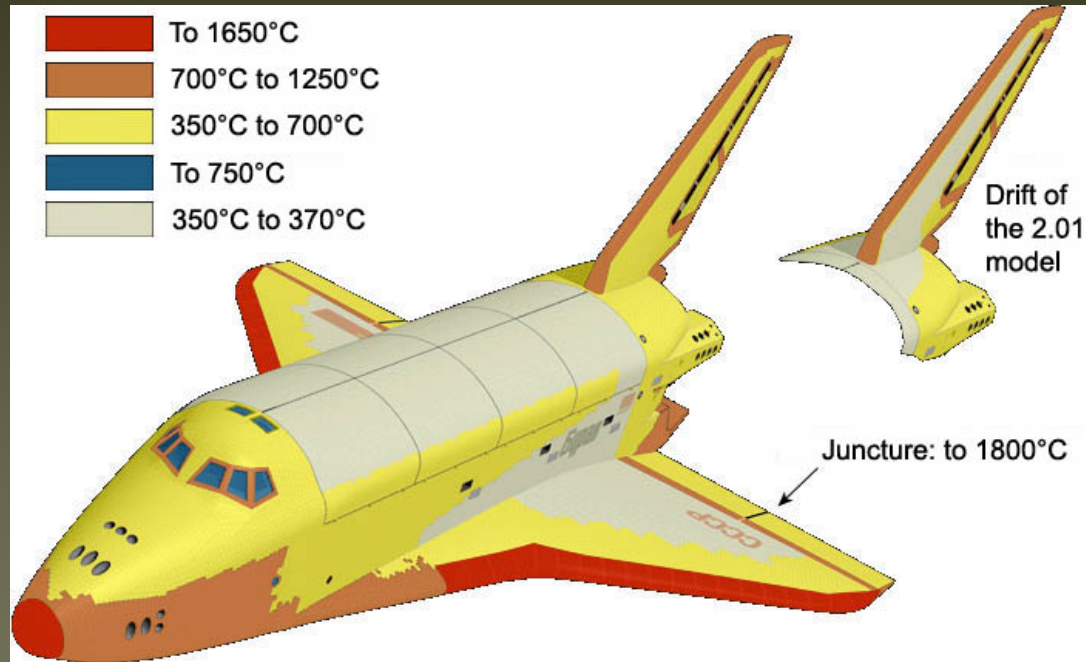
Carbon fiber and SiC



Drugie rozwiązanie to kompozyty włókniste – włókna grafitowe C (łatwiejsza technologia) lub SiC (bardzo trudne technologicznie) – osnową dla tych włókien jest polikrystaliczne SiC z dodatkami rozproszonymi innych faz (np. tlenki itrowo-krzemianowe, ograniczającymi korozję wysokotemperaturową z wodą (w 1400 stopni to jest naprawdę wyzwaniem, a obecności wody nie da się zupełnie wyeliminować w atmosferze pracy tych urządzeń)

KOMPOZYTY O EKSTREMALNIE WYSOKIEJ ODPORNOŚCI TERMICZNEJ

UHTC – ULTRA HIGH TEMPERATURE COMPOSITES



Falcon Project

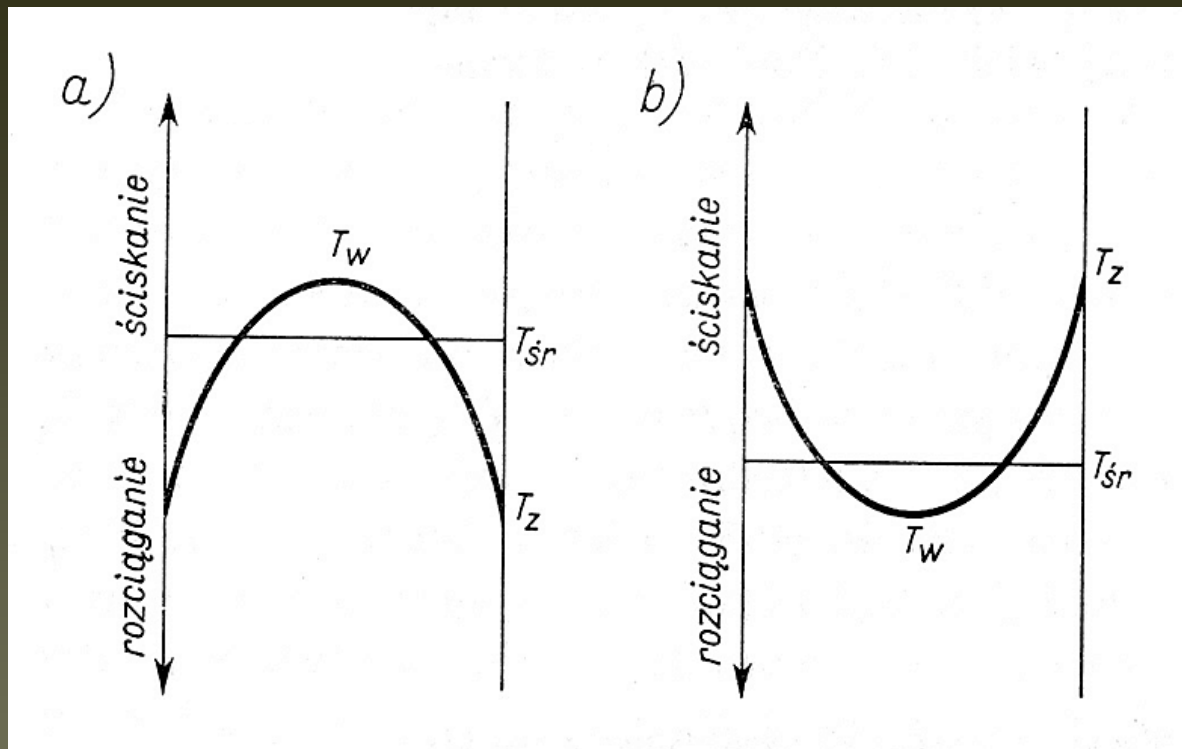
ZrB₂/SiC_f fibers

HfB₂/SiC_f fibers

Dla aplikacji o jeszcze wyższych wymaganiach (patrz ilustracja) stosuje się osnowy z faz o najwyższych temperaturach topnienia.

ODPORNOŚĆ NA NAPRĘŻENIA CIEPLNE

Przy gwałtownym ogrzewaniu lub studzeniu naprężenia powstające wskutek rozszerzalności cieplnej mogą przekroczyć wytrzymałość materiału.

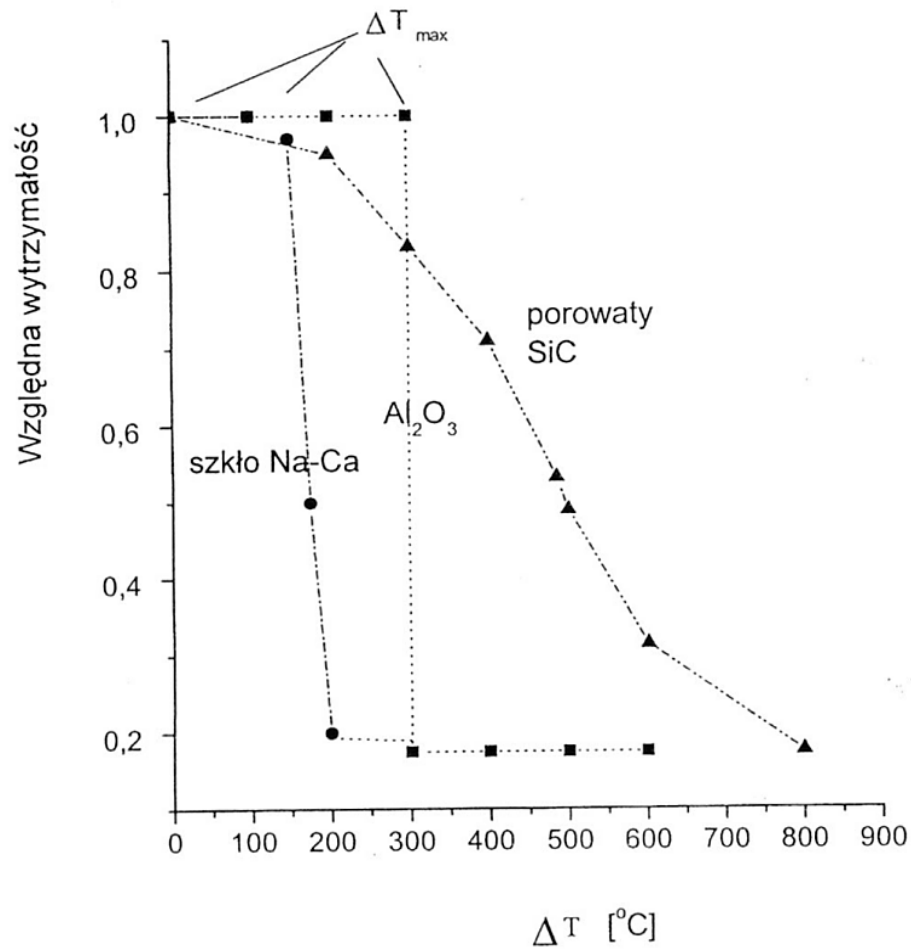


Rozkład temperatury i naprężeń cieplnych

a) w materiale chłodzonym b) w materiale ogrzewanym

*Krótkie przypomnienie:
dlaczego ceramika ma
„asymetryczną” odporność
na wstrząs cieplny?
Bo brak możliwości
odkształcenia plastycznego
uważliwia ją bardzo na
rozciąganie powierzchni,
gdzie zwykle znaleźć można
wady krytyczne, które będą
propagować katastroficznie.
A taki stan naprężeń
pojawia się przy
gwałtownym chłodzeniu
(przy ogrzewaniu jest
odwrotnie co ogranicza
rozwój wad krytycznych)*

ODPORNOŚĆ NA NAPRĘŻENIA CIEPLNE

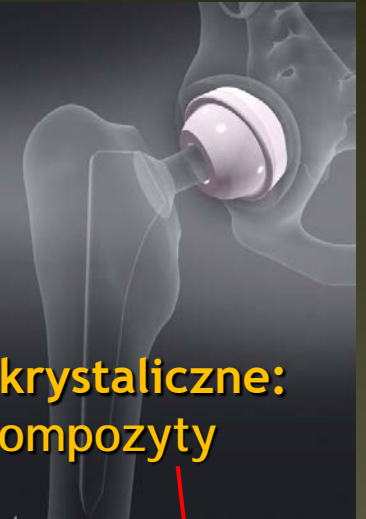
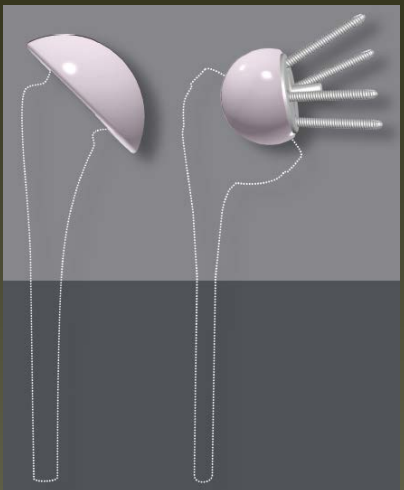


A dla konkretnego materiału i wyrobu !!! :

Wielkość dopuszczalnej różnicy temperatur uzależniona jest od:

- rozszerzalności cieplnej fazy,
- przewodności cieplnej fazy;
- od kształtu i wymiarów wyrobu

PRZYKŁADY BIOMATERIAŁÓW CERAMICZNYCH KONSTRUKCYJNYCH



Materiały polikrystaliczne:
 Al_2O_3 , ZrO_2 , kompozyty
 Al_2O_3/ZrO_2 ,

oraz coraz częściej

Si_3N_4



Wymagania: BIOINERTNOŚĆ

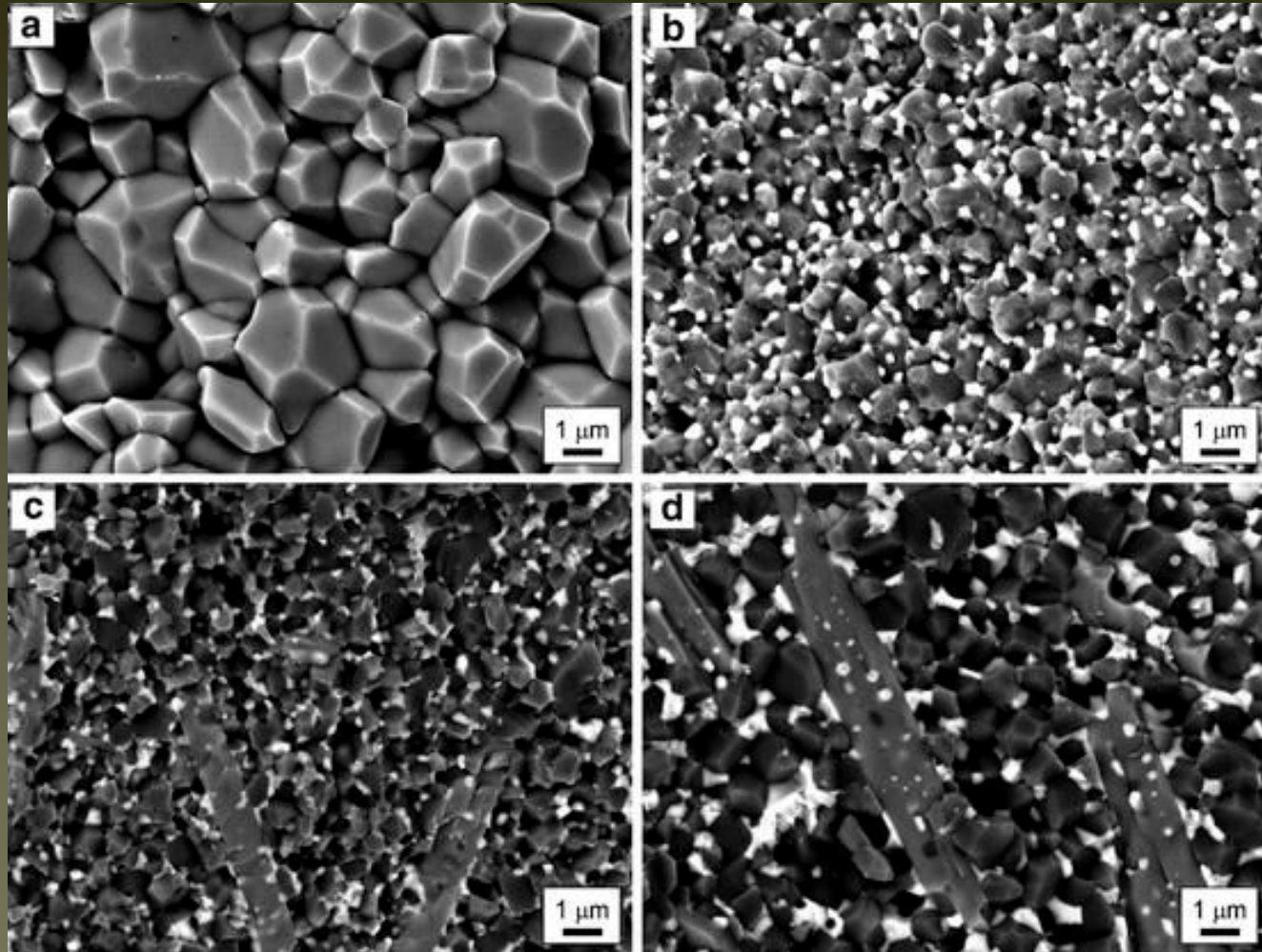


The MULTIGEN PLUS Ceramic Knee (LIMA Corporate)

The BPK-S Ceramic Knee (Peter Brehm GmbH)



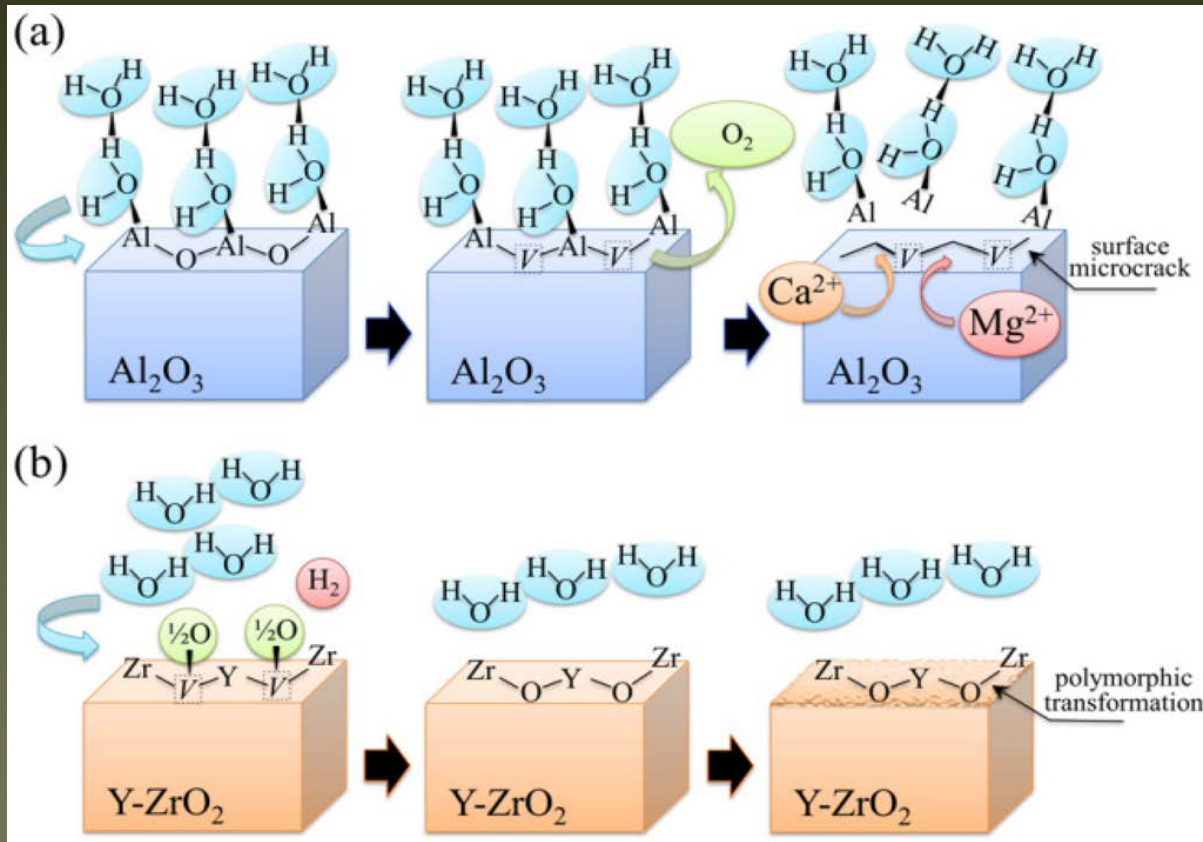
PRZYKŁADY BIOMATERIAŁÓW CERAMICZNYCH KONSTRUKCYJNYCH



Przykładowe mikrostruktury; proszę zwrócić uwagę na skalę, tj. wielkość ziaren w materiale jednofazowym i w kompozytach oraz na jednorodność rozproszenia faz w kompozytach

PRZYKŁADY BIOMATERIAŁÓW CERAMICZNYCH KONSTRUKCYJNYCH

Bioinertność nie oznacza braku jakiegokolwiek oddziaływania



W środowisku biologicznym nie można uniknąć oddziaływania związków jonowych lub częściowo tylko jonowych z wodą i elektrolitami. Zwykle skupiamy się na oddziaływaniu materiału na organizm ale jest też druga strona medalu, organizm może oddziaływać na materiał powodując jego degradację i obniżać jego funkcjonalność i niezawodność

PRZYKŁADY BIOMATERIAŁÓW CERAMICZNYCH

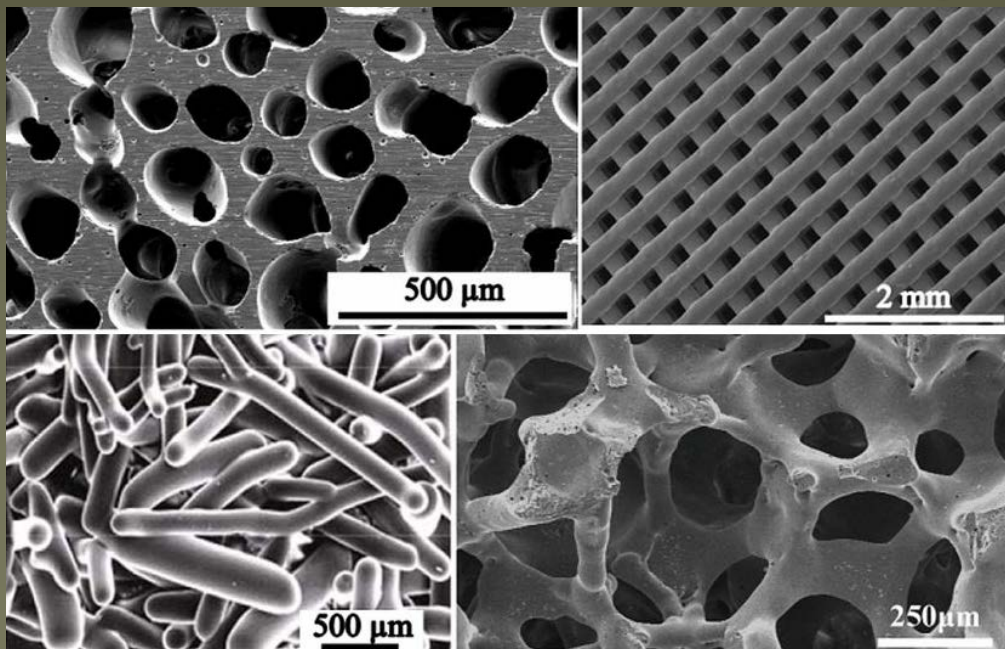
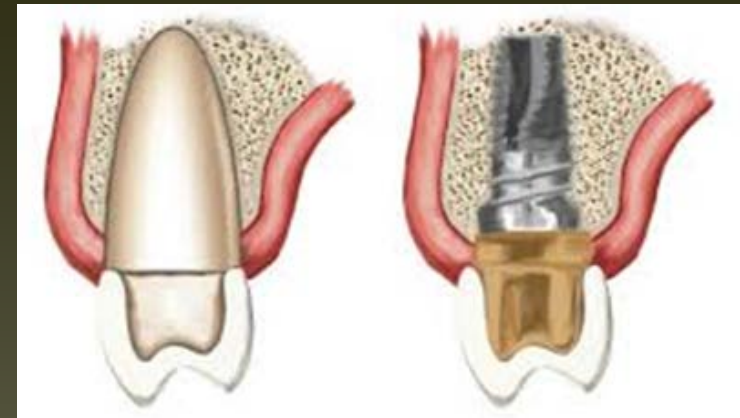
Wymagania: BIOAKTYWNOŚĆ

Materiały:

Hydroksyapatyt HAp [$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$],

Bioszkła,

Fosforan trójwapniowy wapnia TCP [$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$]



Rola tych faz to zwykle warstwa „sprzęgająca” organizm z implantem, czasami izolująca od złego wpływu chemicznego implantu na organizm, stosowane głównie jako rusztowania, powłoki, warstwy pośrednie lub jako proszki o rozwiniętej powierzchni

PRZYKŁADY BIOMATERIAŁÓW CERAMICZNYCH

Wymagania: WIELOFUNKCYJNOŚĆ



np. izolacja w celu ograniczenia możliwości alergii na kobalt, nikiel, chrom

Materiały:

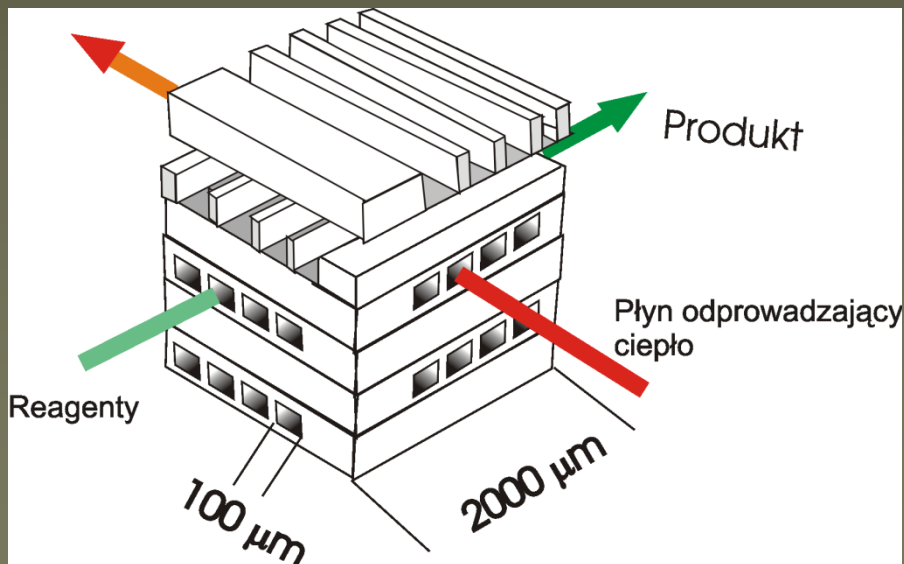
Hydroksyapatyt HAp, Azotek cyrkonu ZrN

MIKROREAKTORY CERAMICZNE

Węglik krzemu SiC:

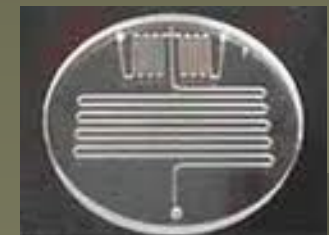
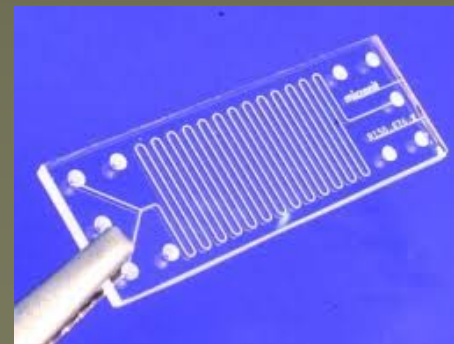
uniwersalny materiał konstrukcyjny dla wysokich temperatur

- wysoka wytrzymałość w wysokich temperaturach
- wysoka twardość i niski współczynnik rozszerzalności cieplnej
- odporność chemiczna w wysokich temperaturach
- dobre przewodnictwo elektryczne i cieplne
- właściwości półprzewodnikowe w wysokich temperaturach



Mikroreaktory służą do precyzyjnej kontroli przebiegu reakcji chemicznej - ze względu na zminimalizowany obszar reakcji rzędu mikrometrów sześciennych, możliwa jest kontrola stężenia reagentów, temperatury, pH na poziomie umożliwiającym przeprowadzanie zaawansowanych procesów chemicznych i biochemicznych, a także kontrolę procesów wysokoenergetycznych (wysoce egzotermicznych)

Inne typy reaktorów (np. szklane):



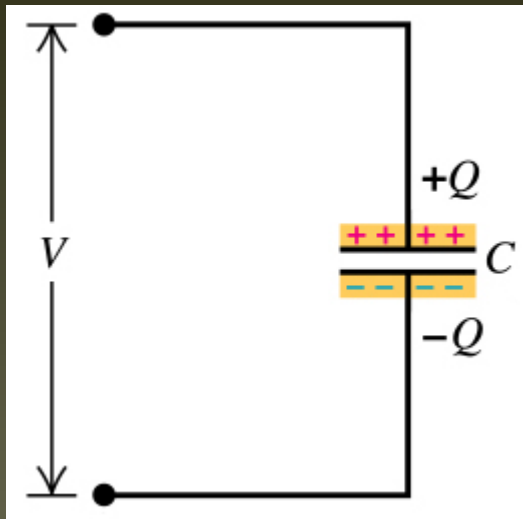
FUNKCJE TWORZYW CERAMICZNYCH WYNIKAJĄCE Z ODDZIAŁYWAŃ Z POLAMI ELEKTRYCZNYM I MAGNETYCZNYM

WYBRANE PRZYKŁADY



CERAMIKA KONDENSATOROWA

Pojemnościowe elementy układów elektrycznych



$$C = \epsilon_0 \epsilon \frac{S}{d}$$

ϵ_0 - stała dielektryczna próżni ($8.8542 \cdot 10^{-12}$ F/m)

ϵ - stała dielektryczna

S- pole powierzchni okładek

d- odległość pomiędzy okładkami (grubość warstwy dielektrycznej)

Wymagane właściwości:

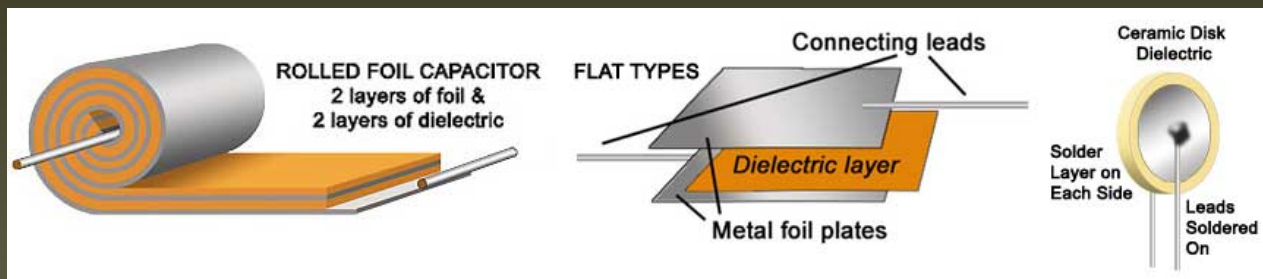
- znaczna polaryzacja w polu elektrycznym
 - duża wartość stałej dielektrycznej (nawet kilkanaście tysięcy)
- zwykle stosowane fazy to **BaTiO₃** i **SrTiO₃**

Slajd przypominający od czego zależy pojemność kondensatora:

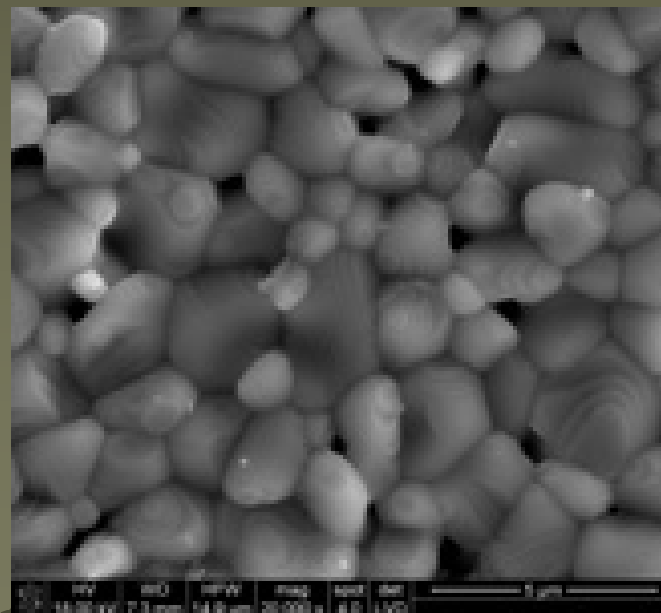
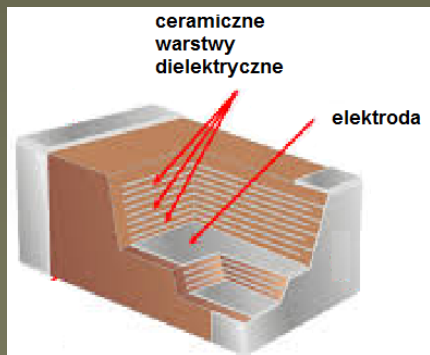
- jak największa powiechrznia „okładek”;
- jak najmniejsza odległość pomiędzy nimi;
- Jak największa wartość przenikalności dielektrycznej materiału

Jak zwiększyć pojemność kondensatora ?

$$C = \epsilon_0 \epsilon \frac{S}{d}$$



- wzrost powierzchni okładek
- zmniejszenie grubości dielektryka
- zwiększenie stałej dielektrycznej

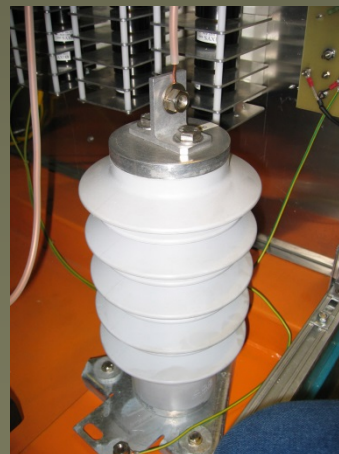
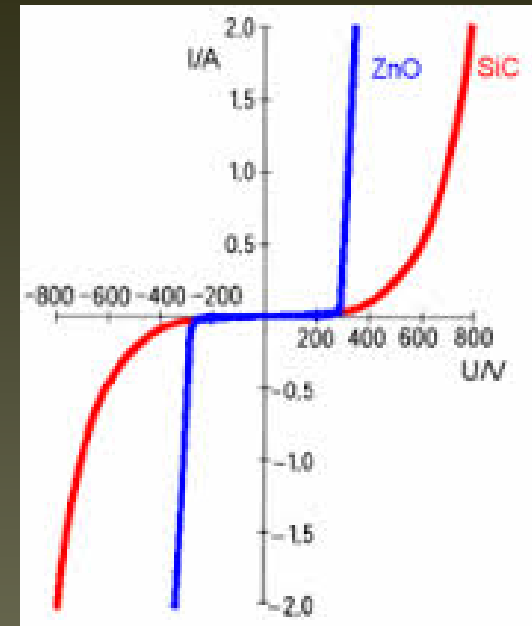
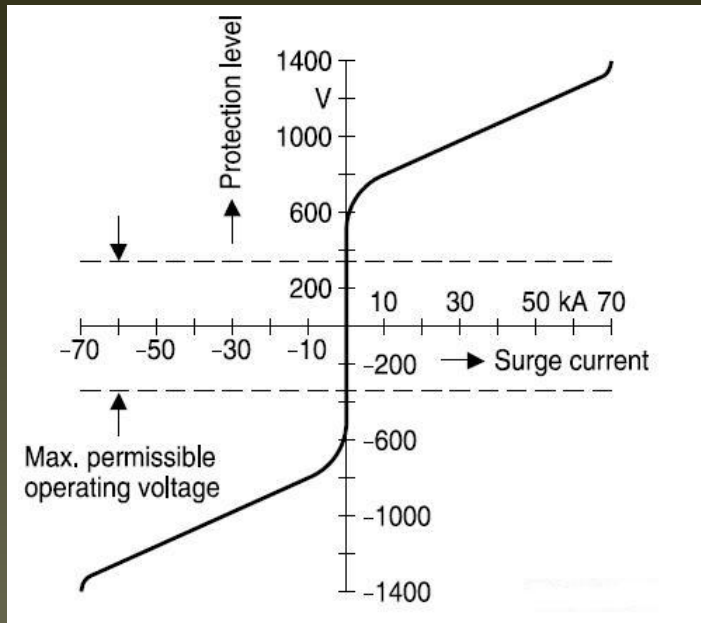


Rys historyczny (obok)

oraz schemat i mikrostruktury współczesnego kondensatora o wysokiej pojemności; parametry zapewnia niewielką grubość warstw pomiędzy elektrodami oraz submikronowa wielkość ziarna dielektryka pomiędzy nimi

CERAMIKA WARYSTOROWA nieliniowe rezystory

zabezpieczenie przed nadmiernym napięciem

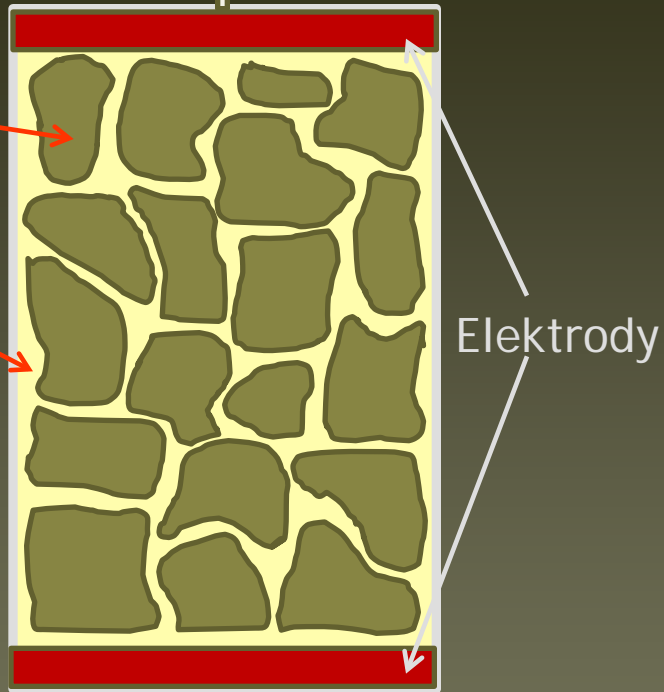


Slajd przypominający do czego służą warystory

Jak działa warystor na bazie ZnO ?

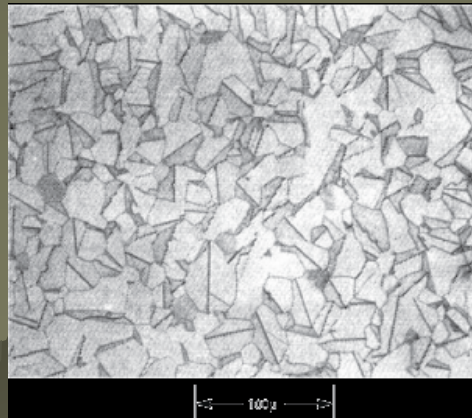
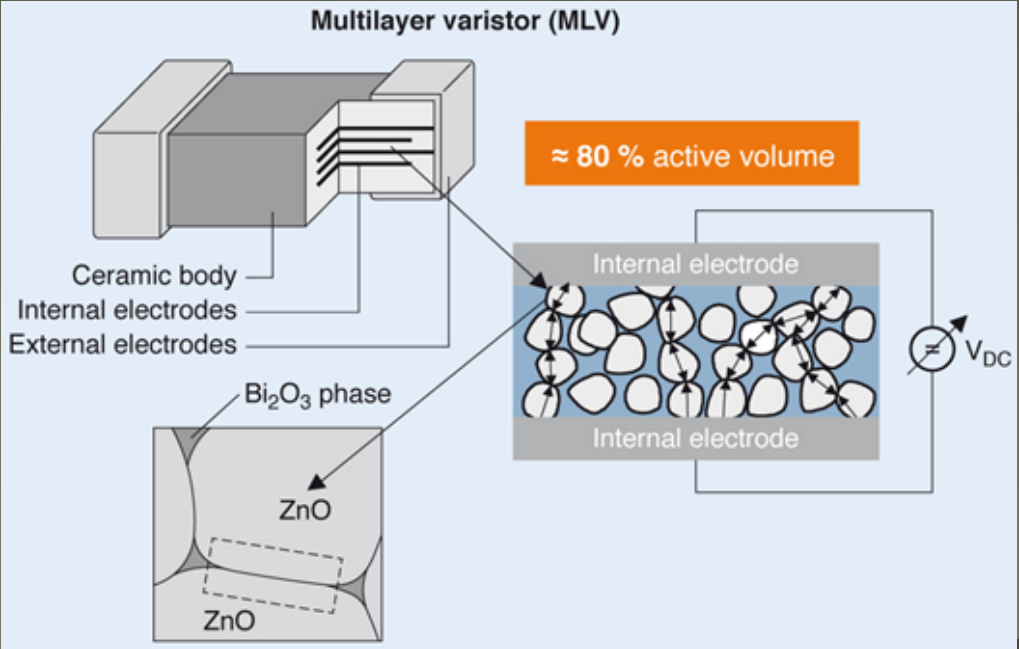
- ◆ Ziarna ZnO - niski opór
- ◆ Międzyziarnowa faza bogata w bizmut, oddzielająca ziarna ZnO- wysoki opór
- ◆ W czasie skoku napięcia faza międzyziarnowa umożliwia przepływ prądu (ulega „przebiciu”)

Sądzę, że slajd się broni sam bez dalszego szczegółowego komentarza



Elektrody

Kierunek przepływu prądu

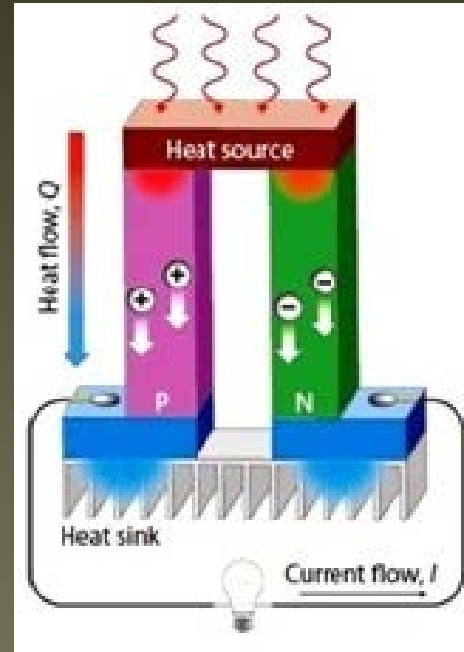
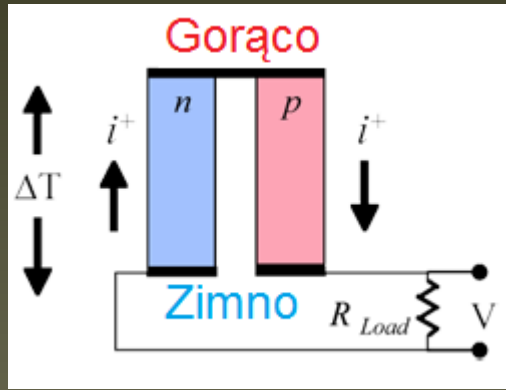
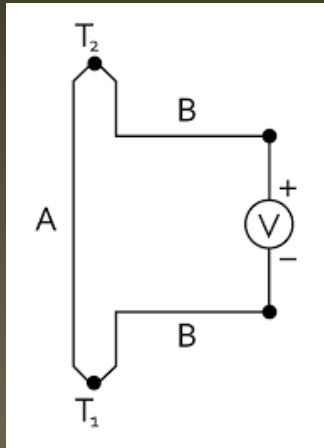


CERAMIKA, A ZJAWISKA TERMOELEKTRYCZNE

EFEKT SEEBECKA

dla metali:
np. termopara

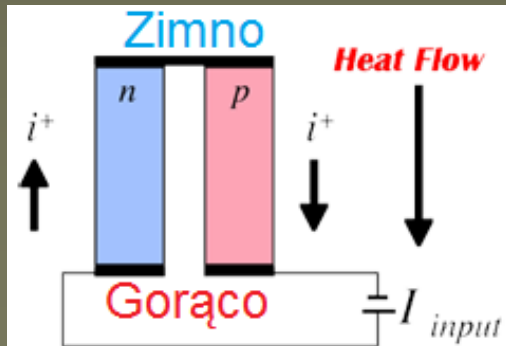
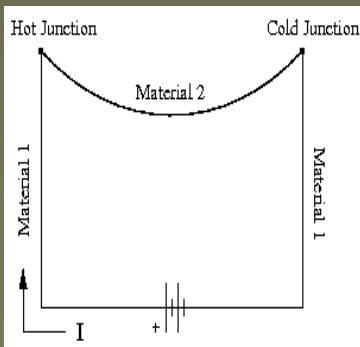
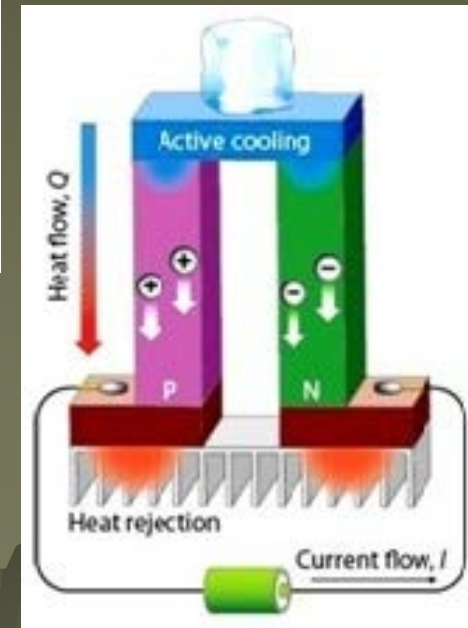
dla półprzewodników:
np. zamiana ciepła na energię elektryczną



EFEKT PELTIERA

EFEKT PELTIERA

EFEKT SEEBECKA



MODUŁ TERMoeLEKTRYCZNY

współczynnik efektywności ZT

$$ZT = \left(\frac{S^2 \sigma}{\lambda} \right) T$$

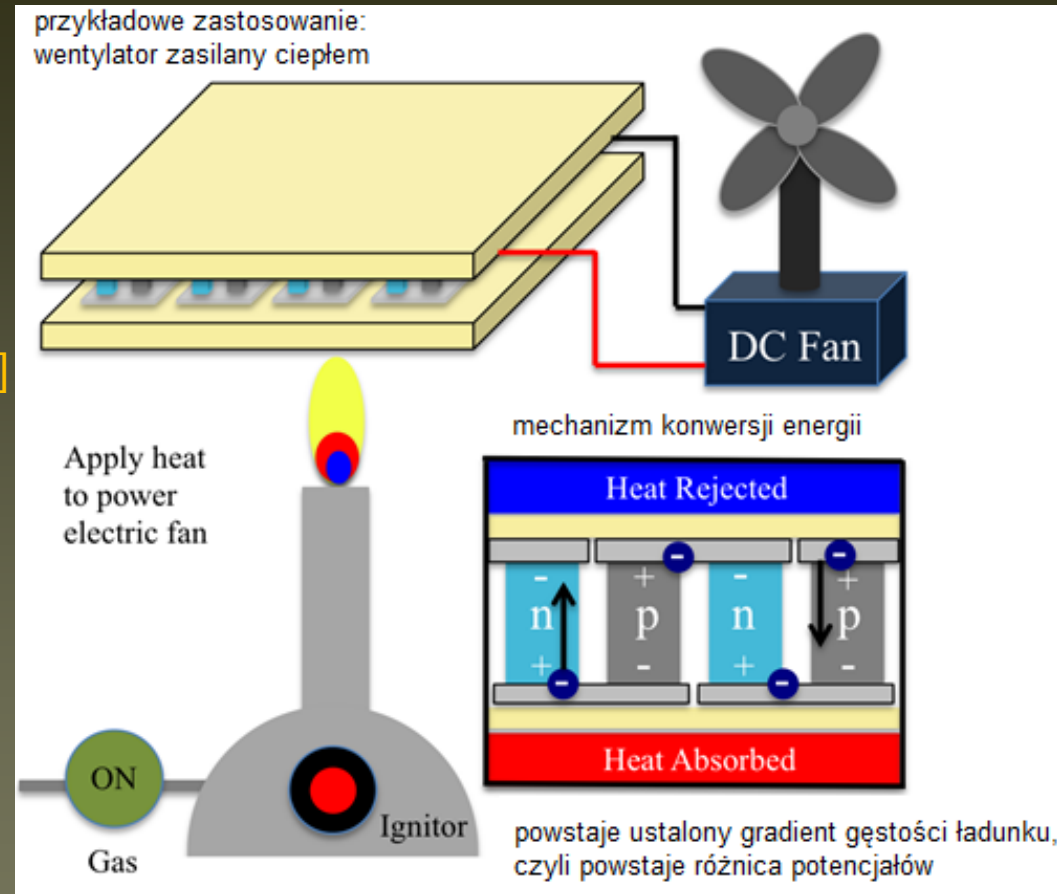
S = współczynnik Seebecka lub potencjał termoelektryczny [$\mu\text{V}/\text{K}$]

σ = przewodność elektryczna [S/cm]

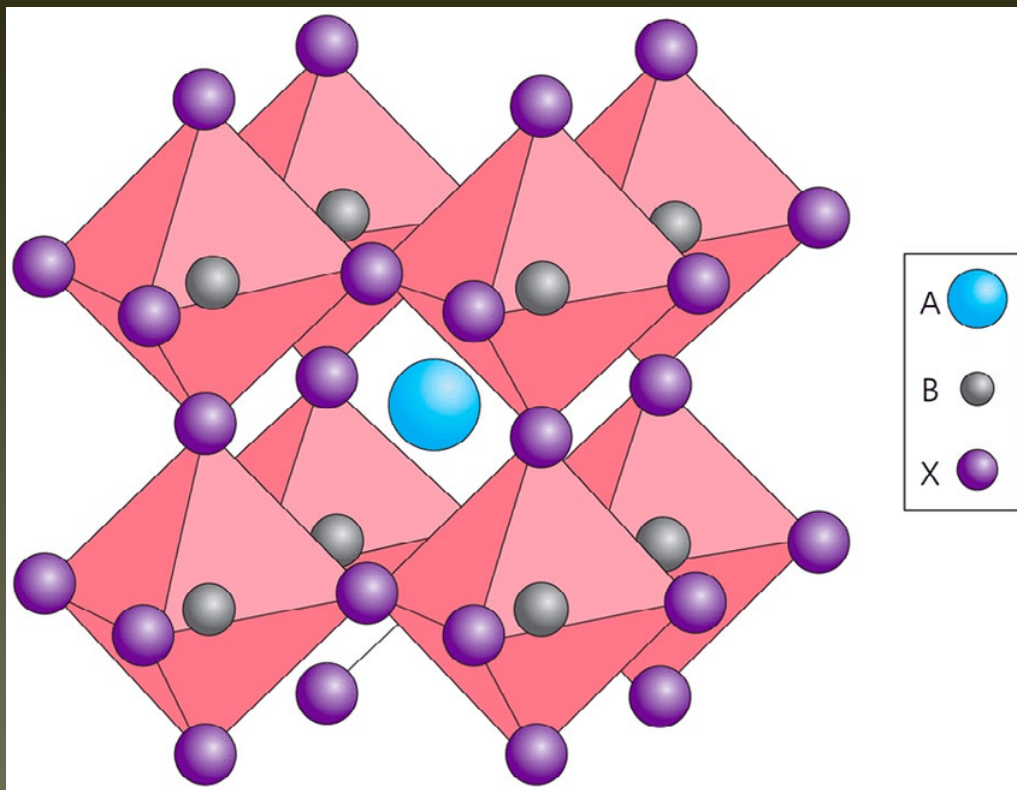
λ = całkowita przewodność cieplna [$\text{W} / (\text{m} \cdot \text{K})$]

T = temperatura bezwzględna [K]

Kluczowa dla zastosowań termoelektrycznych jest wartość ZT; jak na razie najlepsze w tej konkurencji są związki międzymetaliczne, ale materiały ceramiczne są stabilniejsze, więc trwają badania nad tym jak je udoskonalić



Model struktury typu perowskitu ABX_3



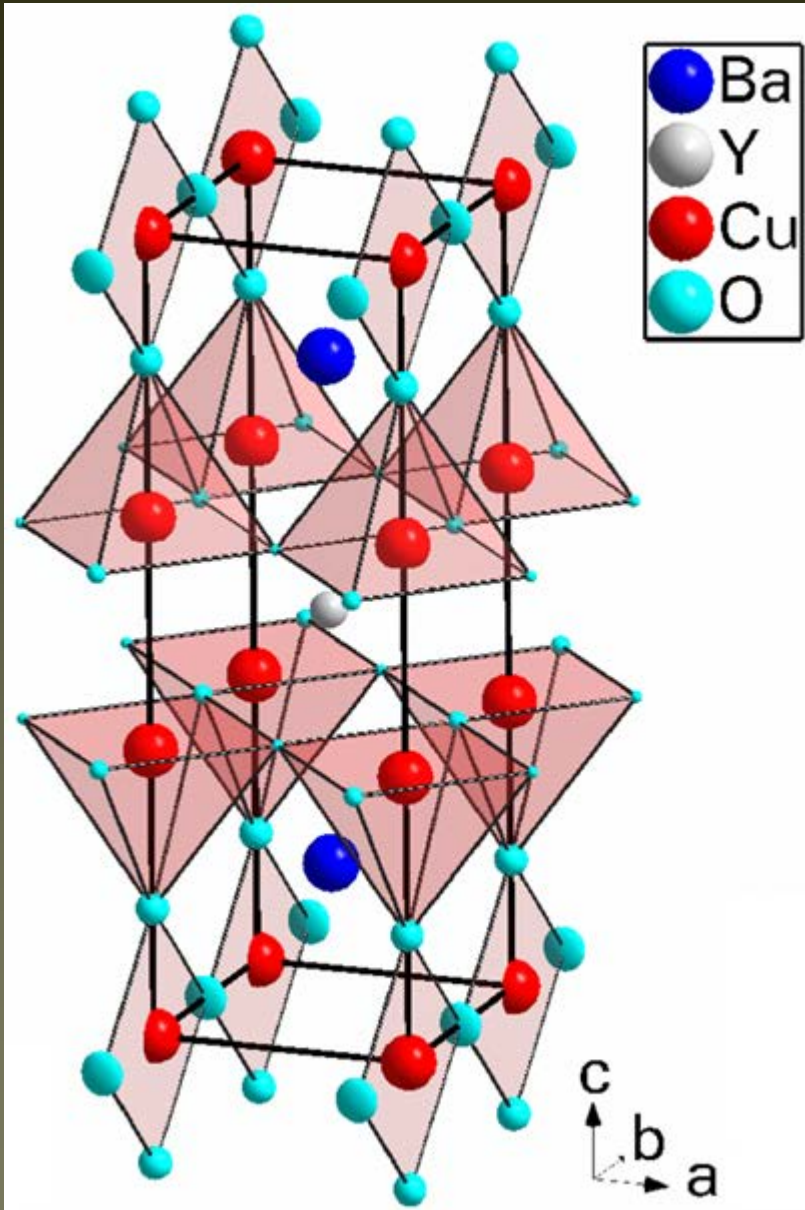
Struktura, która daje olbrzymie możliwości uzyskania zróżnicowanych właściwości funkcjonalnych.

*Najczęściej X to tlen – O
Tak więc ABO_3 to złożone tlenki.*

W pozycji A i w pozycji B mogą być podstawiane różne atomy (w tym również różne rodzaje w tym samym typie podstawienia).

Ponieważ mogą one mieć różne właściwości (np. magnetyczne, para-dia-, etc.), elektryczne, to w efekcie można uzyskać materiały o zróżnicowanych właściwościach funkcjonalnych

Nadprzewodnictwo



Jednym ze spektakularnych przykładów są nadprzewodniki wysokotemperaturowe

Tu schemat pierwszego z odkrytych związków nadprzewodzących

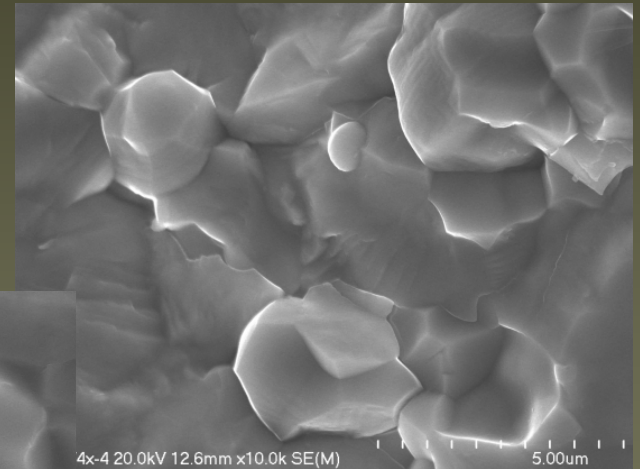
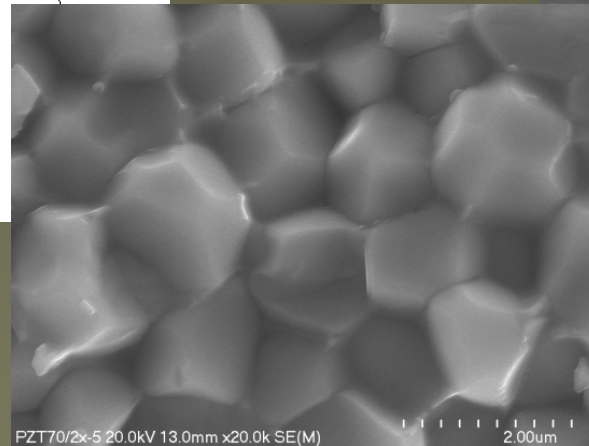
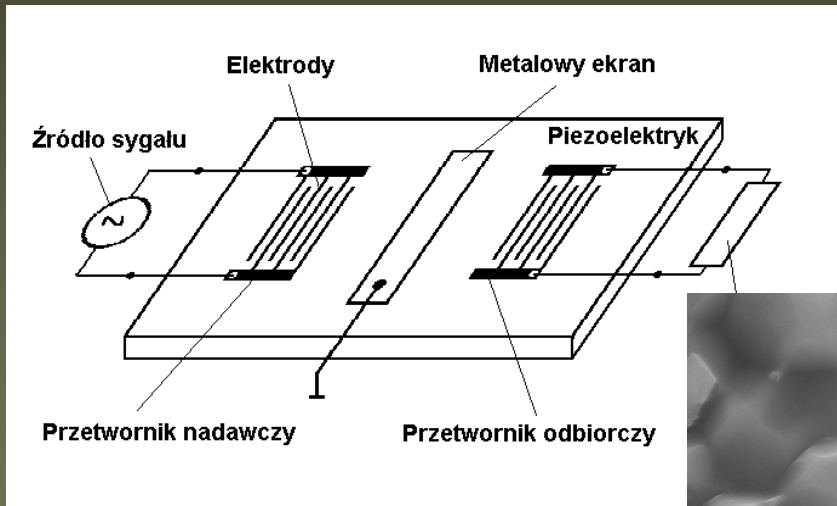
YBa₂Cu₃O₇

T_f = 92K = -180 C

wykazującego w płaszczyznach Cu-O

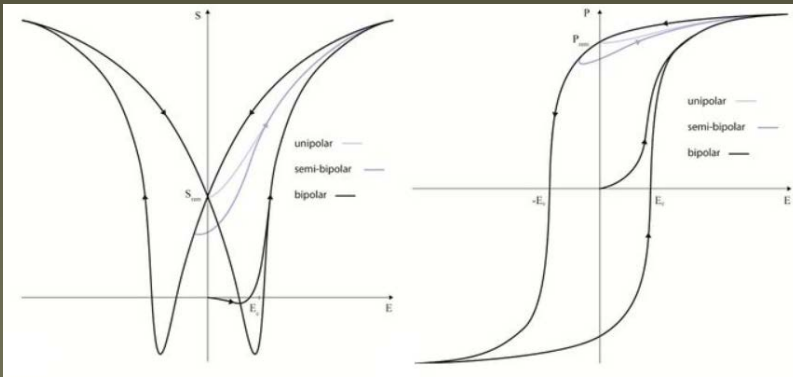
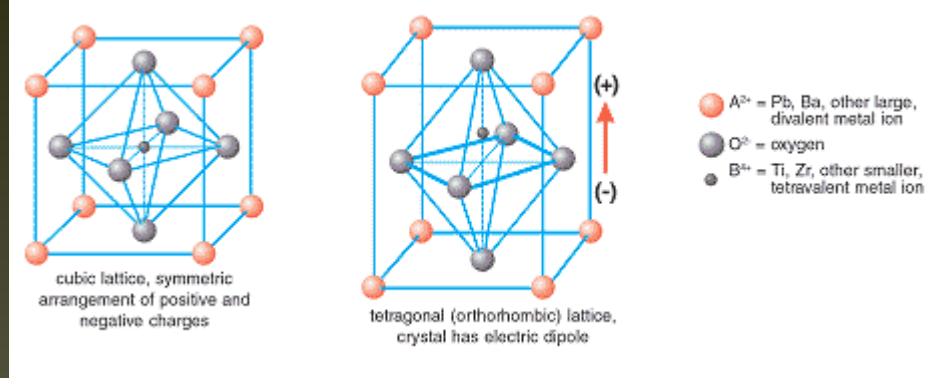
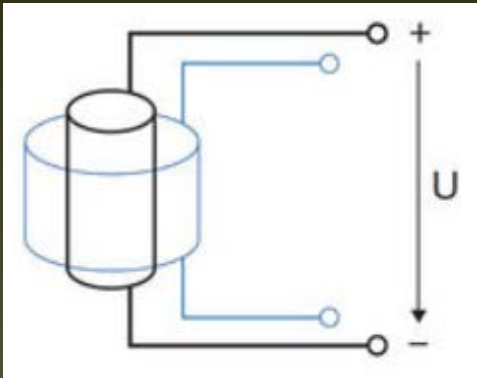
CERAMIKA PIEZZOELEKTRYCZNA

- materiały w których tworzą się momenty dipolowe, zmieniające się pod wpływem pola elektrycznego lub obciążenia mechanicznego
- zmiana sygnału elektrycznego na mechaniczny (np. akustyczny) i odwrotnie
- materiały na bazie tytanianu baru $BaTiO_3$, ewentualnie domieszkowanych Ca i Pb
- materiały na bazie cyrkonianu-tytanianu ołowiu PZT: $Pb(Zr_yTi_{1-y})O_3$
- nadajniki i odbiorniki dźwięku, przetworniki, generatory iskry, sensory ciśnienia, wilgotności, temperatury, urządzeń do pomiarów przyspieszenia



Materiały te mogą mieć dość skomplikowane składy po zoptymalizowaniu, np.:
 $Pb(Zr_{0,70}Ti_{0,30})O_3 + 0,15\text{wag. \%Cr}_2O_3 + 0,5\text{ wag. \% MnO}_2$

CERAMIKA PIEZZOELEKTRYCZNA



Multiferroiki

Ferroiki – są to materiały z przedrostkiem „ferro” (nie dot. łac. „*ferrum*” – żelazo), obejmujące zarówno materiały **ferromagnetyczne (FM)**, **ferroelektryczne (FE)** jak i **ferroelastyczne (FES)**. Te trzy rodzaje materiałów nazywane są „podstawowymi” ferroikami. W klasyfikacji ferroików bierze się pod uwagę rodzaj uporządkowania, a więc uporządkowanie układów magnetycznego, elektrycznego lub sprężystego.

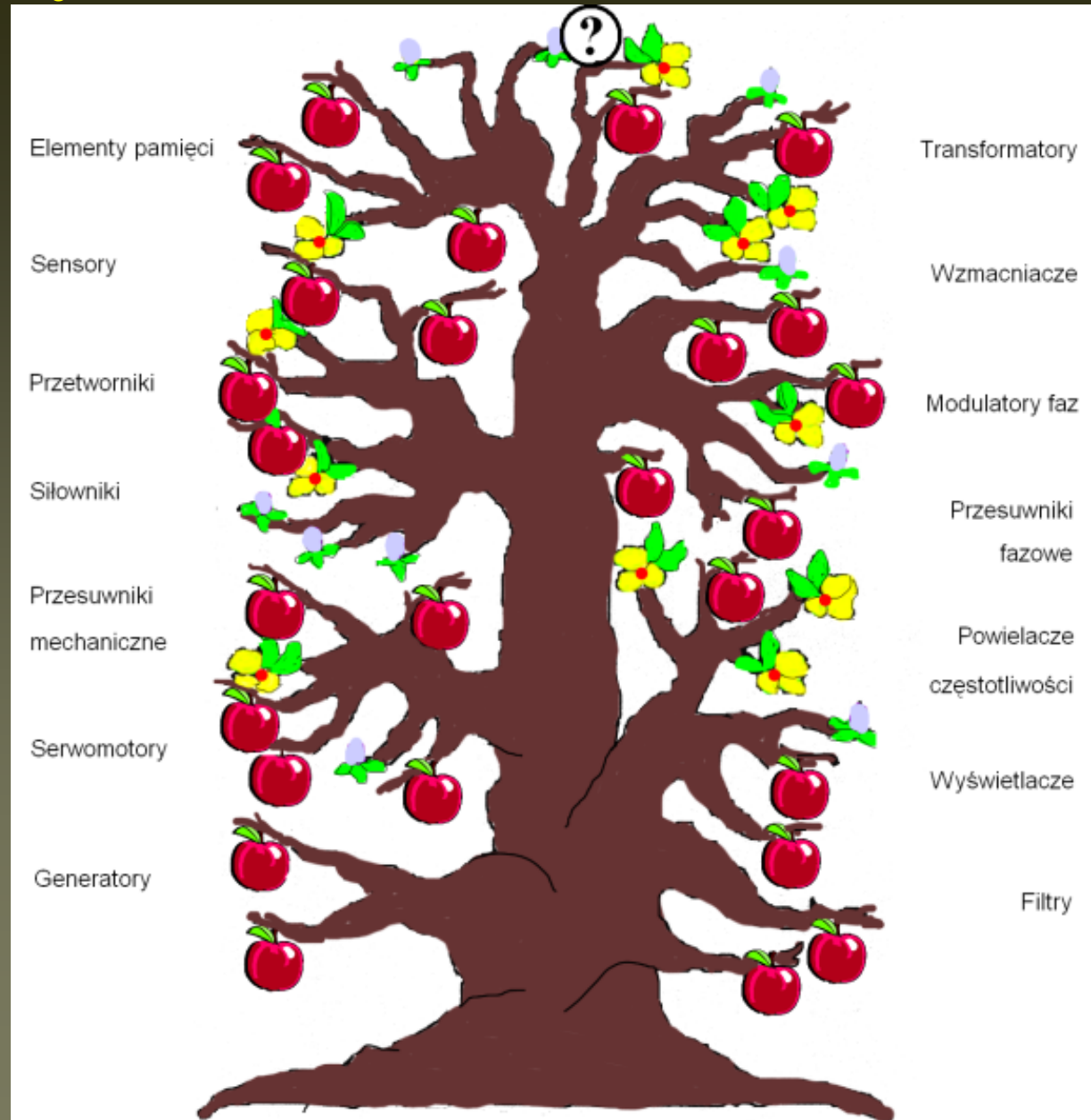
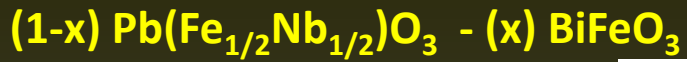
Multiferroiki są to materiały wykazujące równocześnie co najmniej dwa stany ferroikowe (MF) - *H.Schmid 1994 r.*

W tego typu materiałach **magnetyzacja M_s** , **polaryzacja P_s** , i **deformacja η_s** mogą być zmieniane zarówno przez pole magnetyczne (H), pole elektryczne (E) lub przez naprężenie (σ).

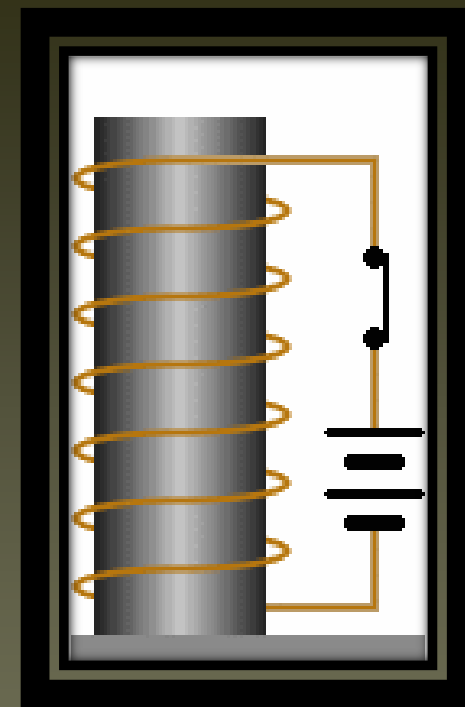
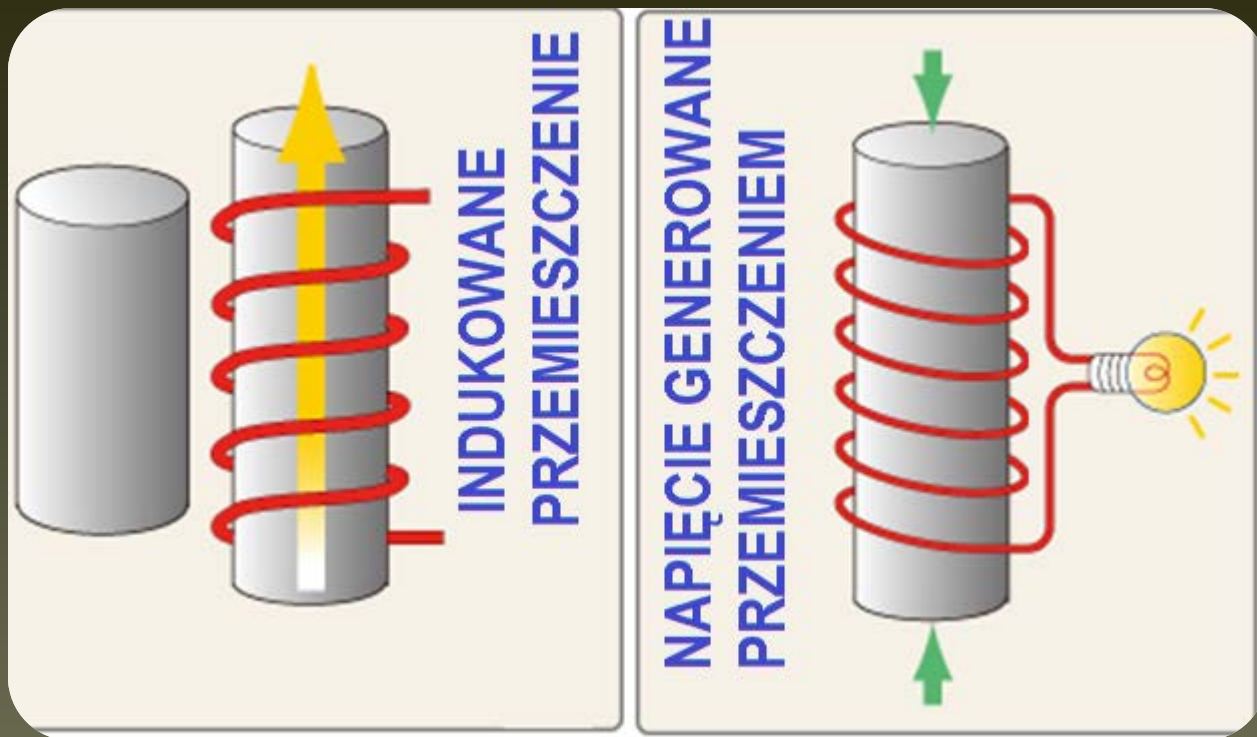
$\text{Pb}(\text{Fe}_{1-x}\text{Nb}_x)\text{O}_3$

PFN jest biferroikiem o właściwościach ferroelektrycznych i antyferromagnetycznych występujących w tej samej fazie. Przemiana fazowa z fazy paraelektrycznej w ferroelektryczną zachodzi w dodatniej temperaturze (ok. 102°C -115°C), natomiast przemiana z fazy paramagnetycznej w antyferromagnetyczną w ujemnej (ok. -130°C).

Zastosowanie materiałów ferro-elektro-magnetycznych (PFN)



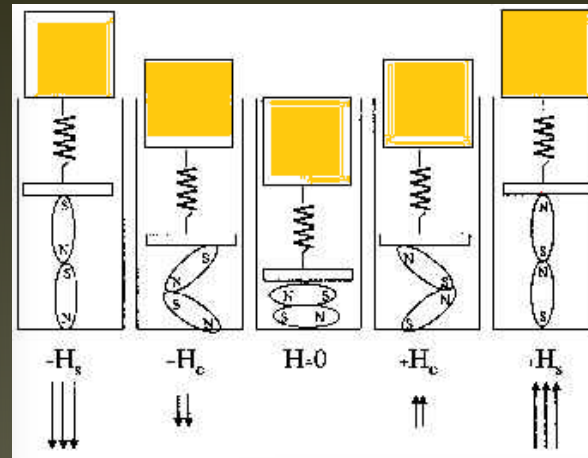
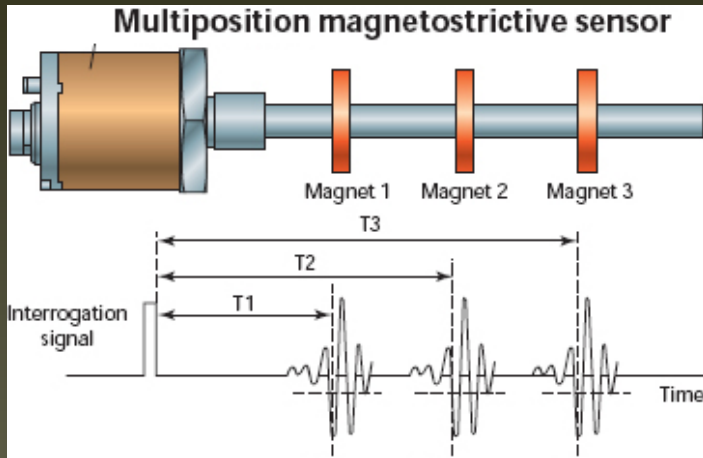
EFEKT MAGNETOSTRYKCYJNY



Efekt magnetostrykcyjny indukowany przez pole magnetyczne generowane przez zewnętrzne dodatkowe uzwojenia

EFEKT MAGNETOSTRYKCYJNY

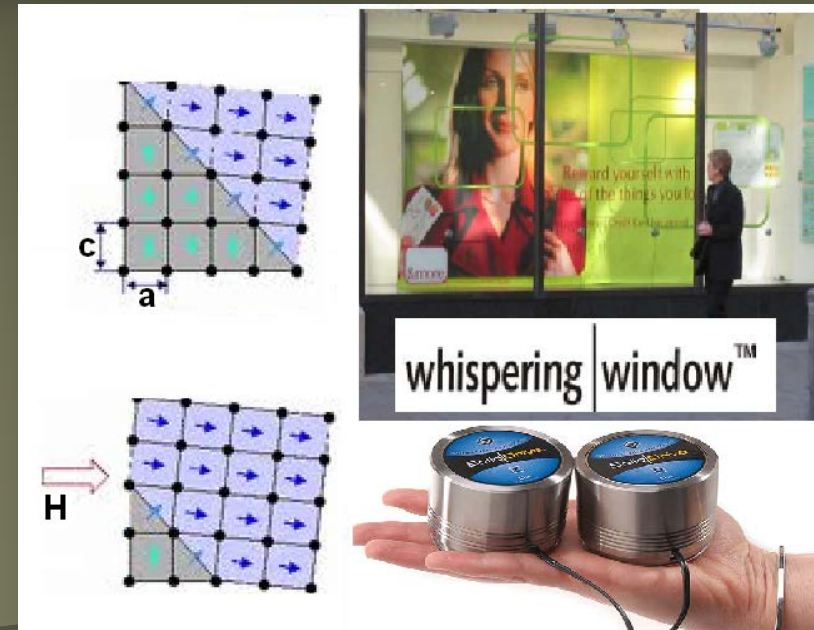
Czujniki sejsmiczne, sonary, zawory hydrauliczne, wtrysk paliwa, lustra o zmiennej geometrii, czujniki ruchu i pola magnetycznego



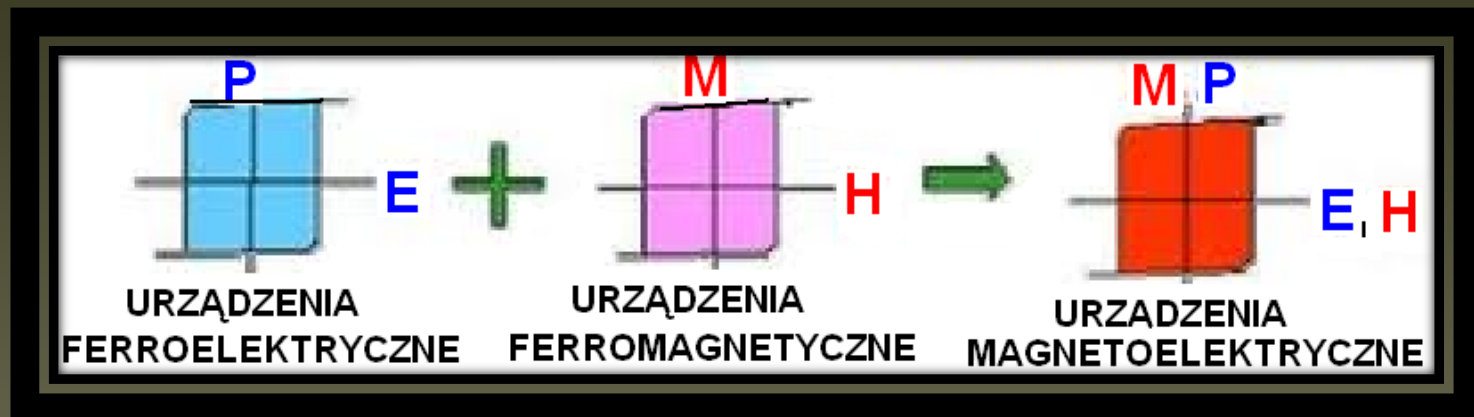
Niewidzialne nagłośnienie:

Generacja drgań sztywnych elementów z otoczenia – ścian, okien wystawowych, sufitów

Związki układu $(Pb_{1-x}La_x)(Zr_yTi_{1-y})_{1-0,25x}O_3$ oznaczane jako 100(x/y/1-y) PLZT łączą właściwości piezoelektryczne i fotowoltaiczne

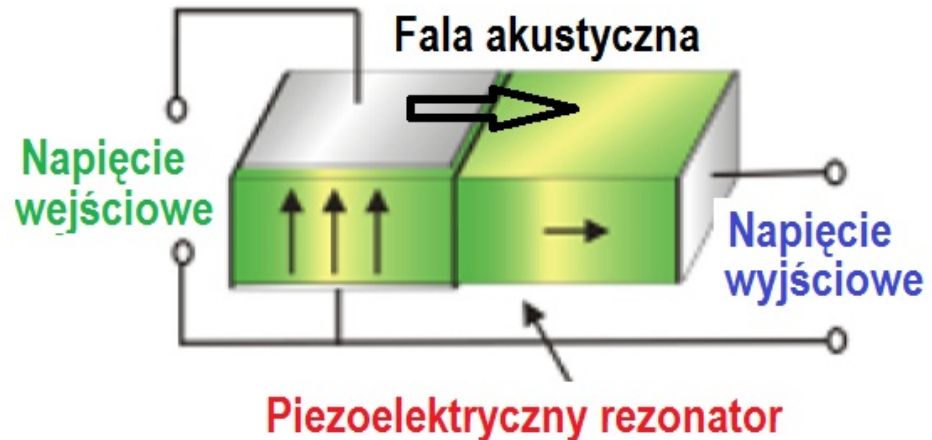
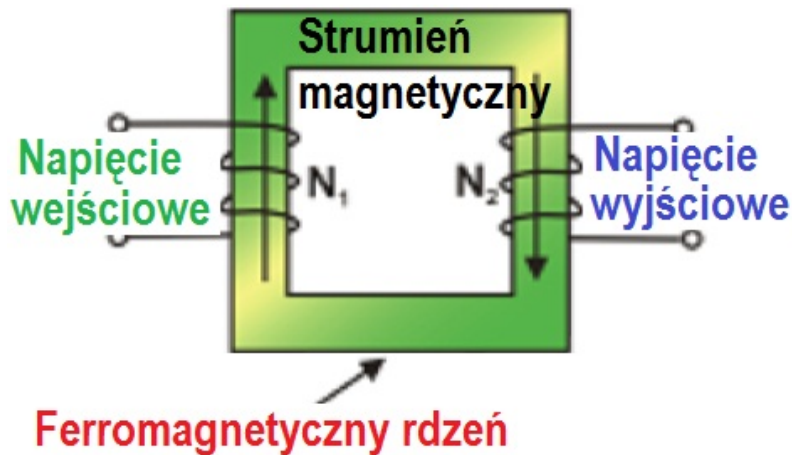


EFEKT MAGNETOELEKTRYCZNY



Przetworniki i urządzenia z efektami ferroelektrycznym i ferromagnetycznym można łączyć prowadząc do poszerzenia obszarów zastosowań o urządzenia magnetoelektryczne

Monolityczny transformator magneto-piezoelektryczny



1. Wysoka sprawność (>90%)
2. Wyższy poziom parametru gęstości mocy
3. Mniejsze rozmiary i koszty
4. Bardzo dobra izolacja strony pierwotnej i wtórnej
5. Wyższe częstotliwości pracy
6. Brak zakłóceń elektromagnetycznych

np. $\text{Pb}_{0.91}(\text{La}_{1-0.5}\text{Fe}_{0.5})_{0.09}(\text{Zr}_{0.65}\text{Ti}_{0.35})_{0.9775}\text{O}_3$

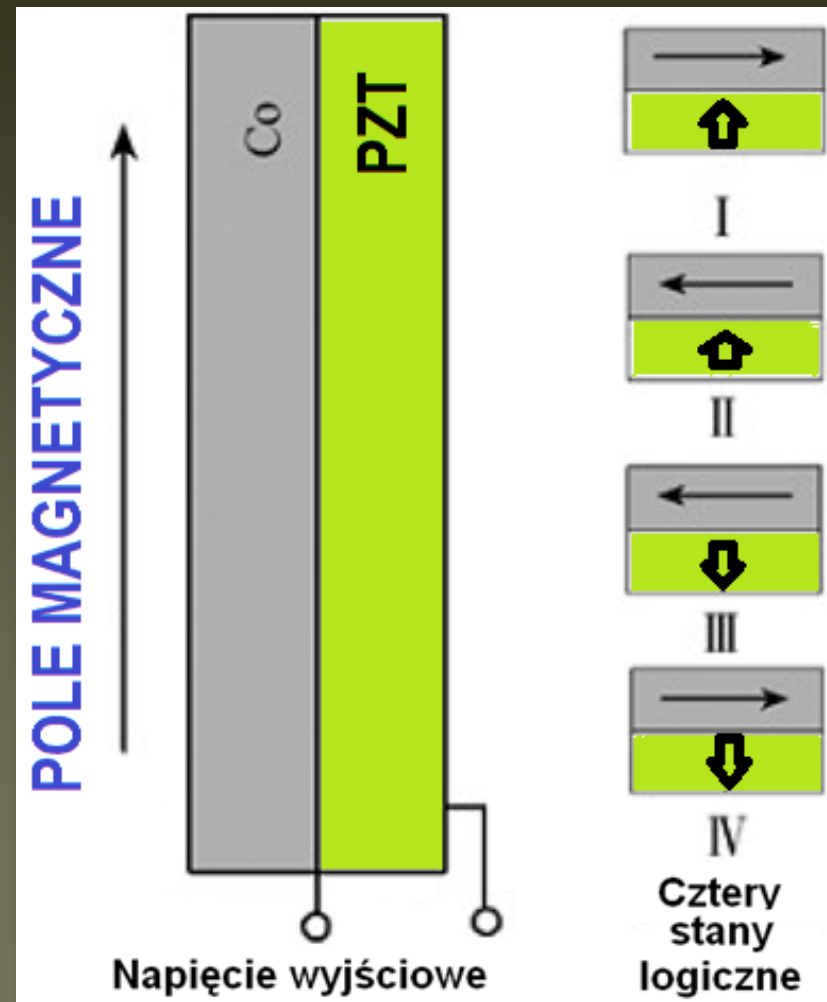
bardzo wysoka wartość współczynnika magnetoelektrycznego (ME)

EFEKT MAGNETOELEKTRYCZNY

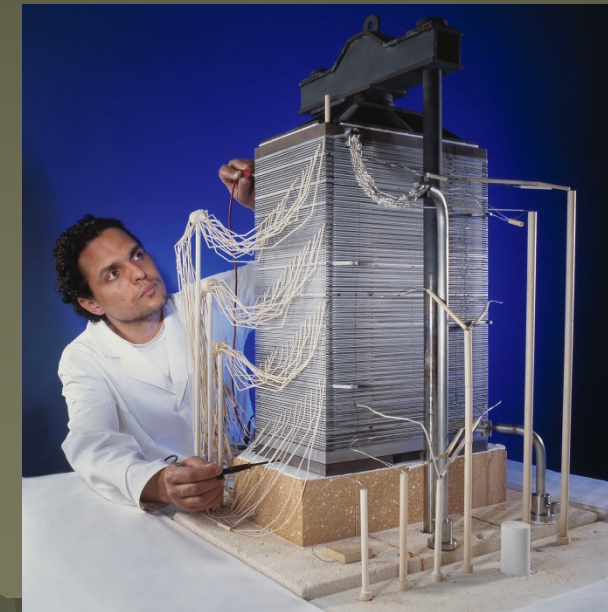
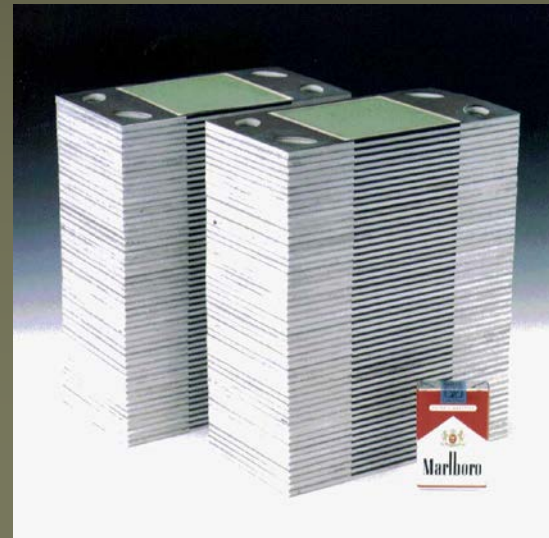
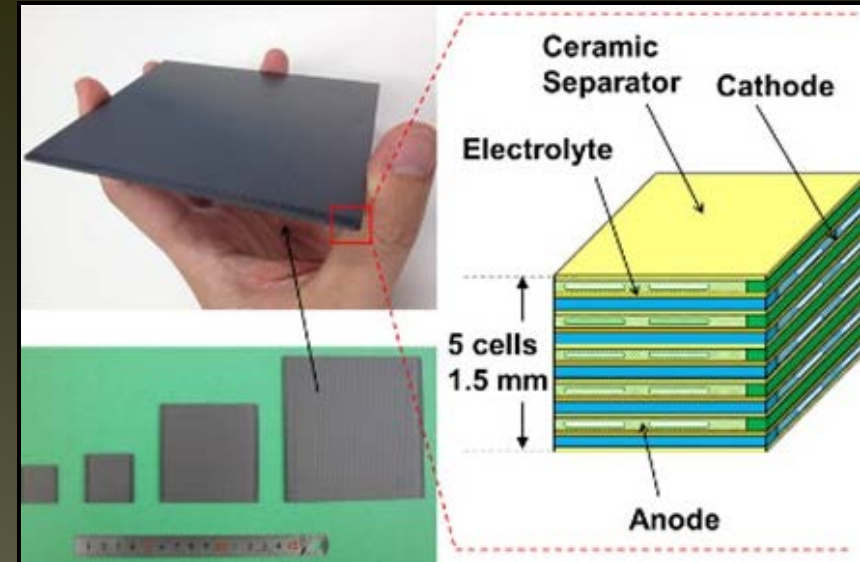
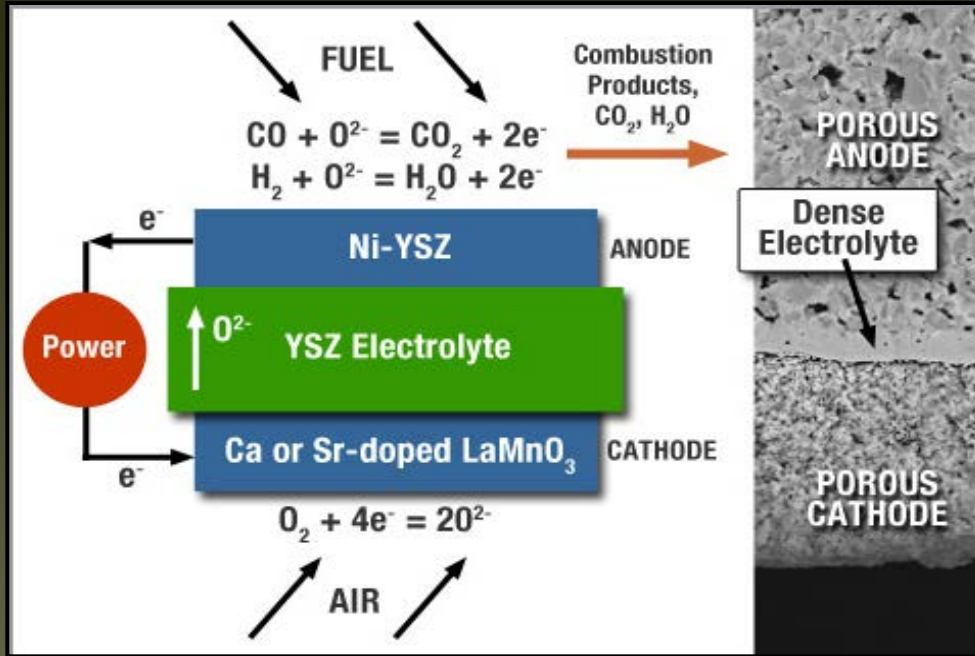
- zastosowania - pamięci komputerowe

Efekty te są niezwykle istotne w inżynierii materiałowej, która poszukuje efektywnych materiałów na czujniki pola magnetycznego dające proporcjonalną zmianę napięcia w stosunku do zmiany natężenia pola magnetycznego, w szczególności pracujące przy wysokich częstotliwościach pola pomiarowego.

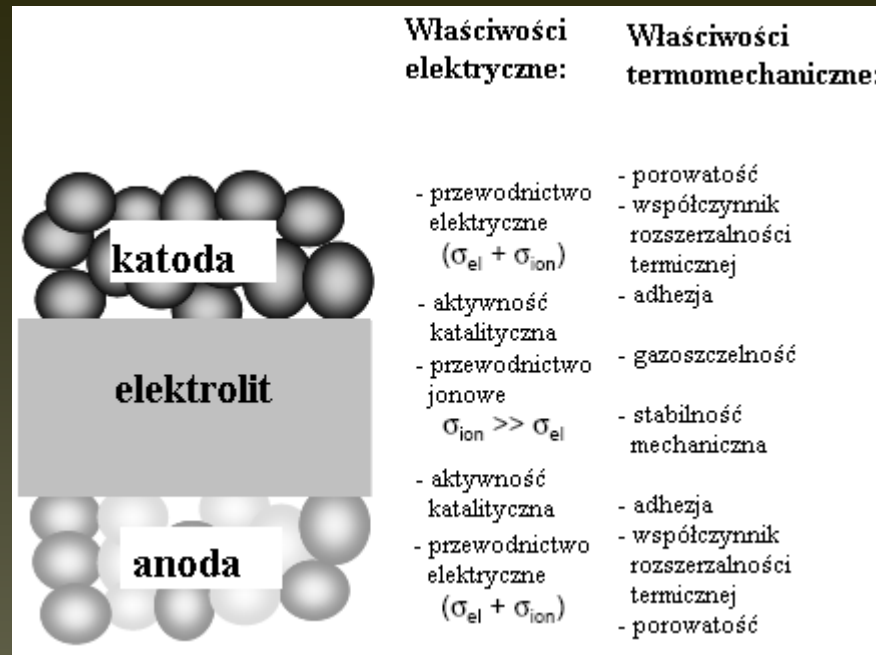
np. DELL szybkości odczytu do 500 GHz



OGNIWA PALIWOWE typu SOFC (Solid Oxide fuel Cells)



Ogniwa paliwowe typu SOFC



Katoda:

LSM: $\text{Ln}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MO}_{3-y}$ (Ln = lantanowce, M = Mn, Fe, Co, Ni)

LSCM: $(\text{La}_{0,8}\text{Sr}_{0,2}\text{Mn}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3)$

LSF: $(\text{La}_{0,8}\text{Sr}_{0,2}\text{FeO}_3)$

LSCF: $(\text{La}_{0,8}\text{Sr}_{0,2}\text{Co}_{0,2}\text{Fe}_{0,8}\text{O}_3)$

LSCFN: $(\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Co}_{1-y}\text{Fe}_y\text{NiO}_{3-\delta})$

Elektrolit:

YSZ Ytria Stabilized Zirconia (wysokotemp.)

BIT ($\text{BaIn}_{0,3}\text{Ti}_{0,7}\text{O}_{2,85}$) (średniotemp. 800°C)

$\text{K}_{0,88}\text{H}_{1,12}\text{Nb}_2\text{O}_6 \cdot 1,58 \text{H}_2\text{O}$ (niskotemp. 400°C)

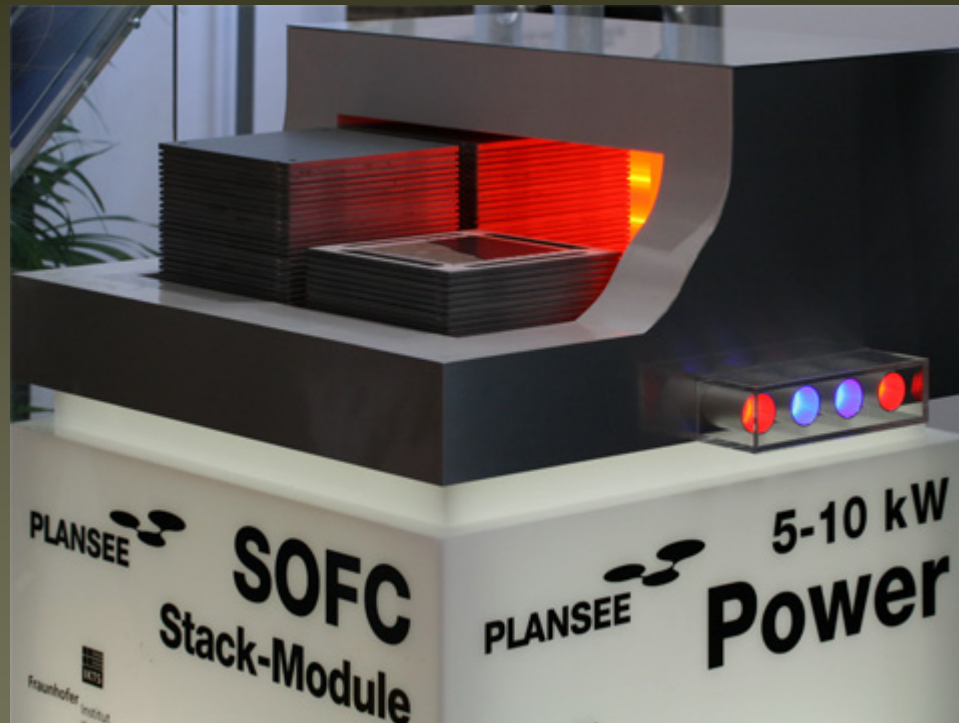
Anoda:

Ni/YSZ

$\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Cr}_{1-y}\text{M}_y\text{O}_3$ (M = Mn, Fe, Co, Ni)

Ogniwa paliwowe typu SOFC

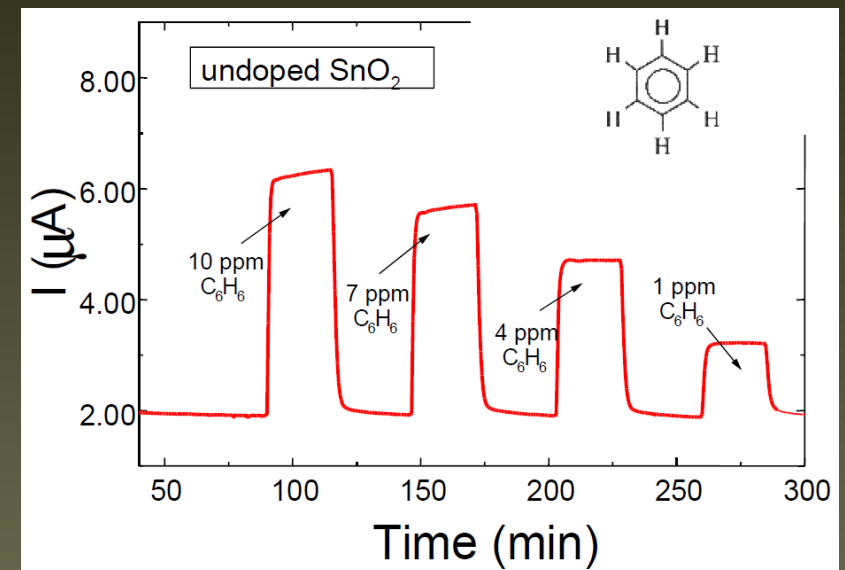
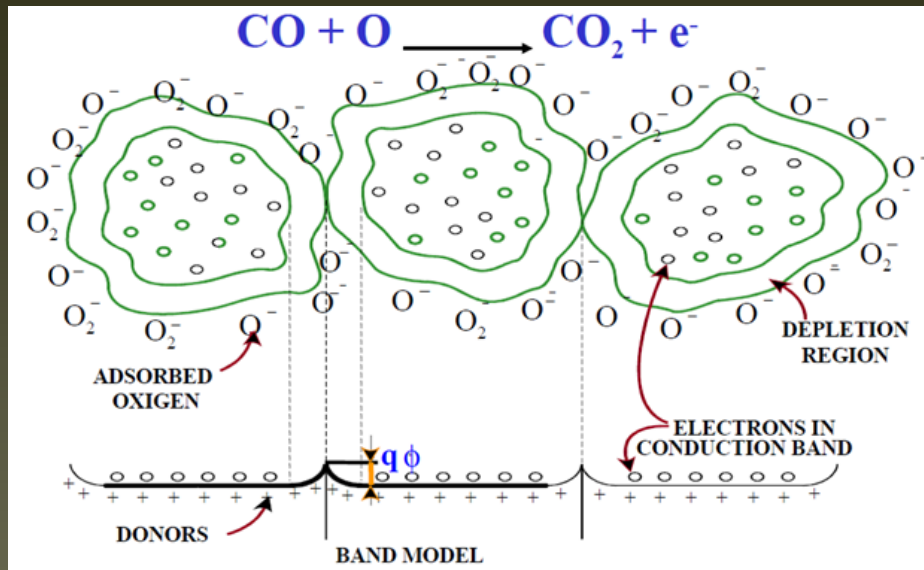
efektywne w wysokich temperaturach
(min. 750°C)



Bloom Energy ES-5000 Energy Server™ SOFC system. (Source: Bloom Energy)

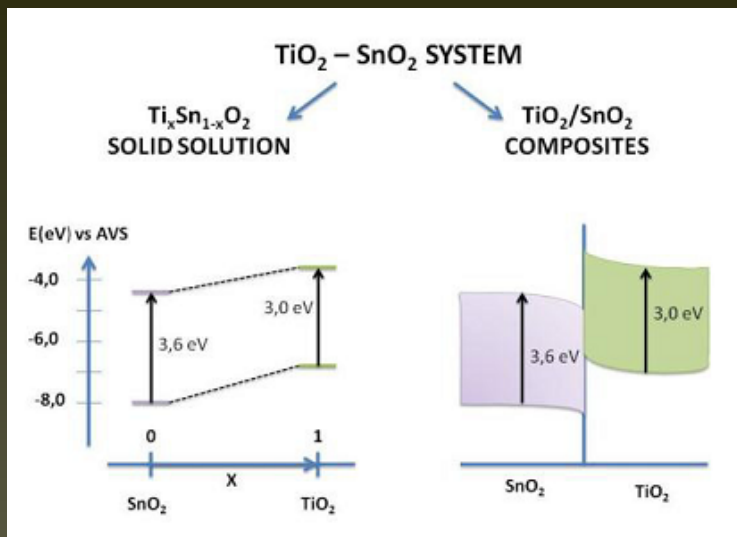
SENSORY

Przykładowy czujnik gazów



Polikrystaliczna warstwa tlenku cyny o rozmiarach nanometrycznych
Gazy z otoczenia oddziałują z tlenem zaadsorbowanym na powierzchni
Reakcje redox powodują zmiany w przewodności warstwy

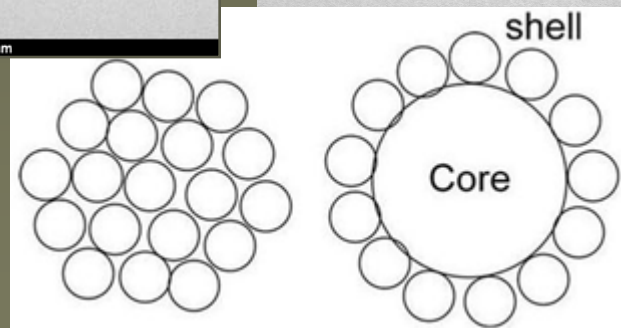
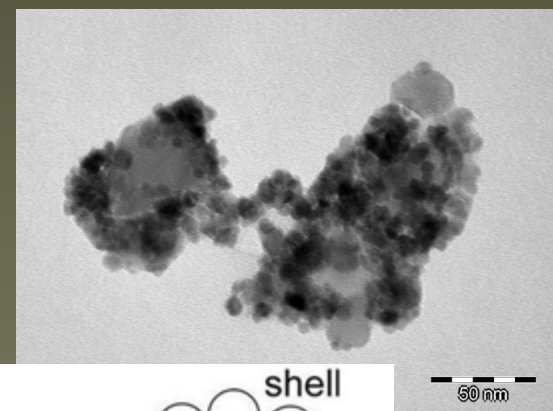
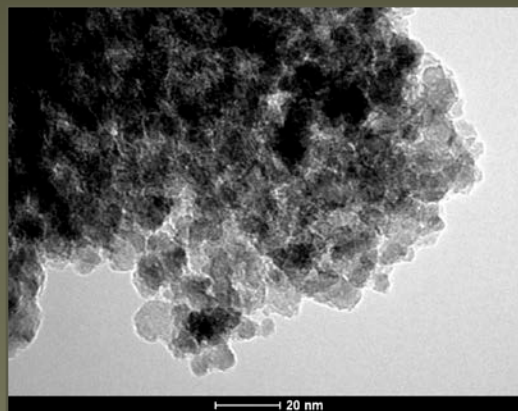
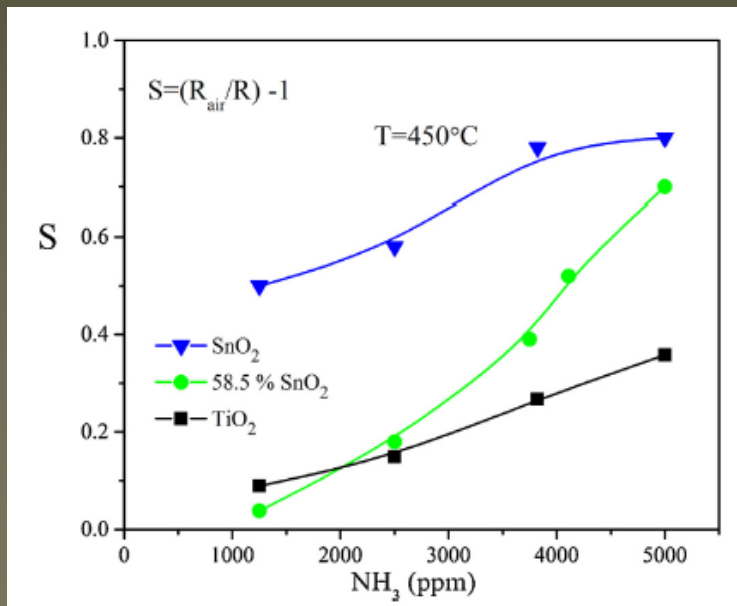
SENSORY KOMPOZYTOWE

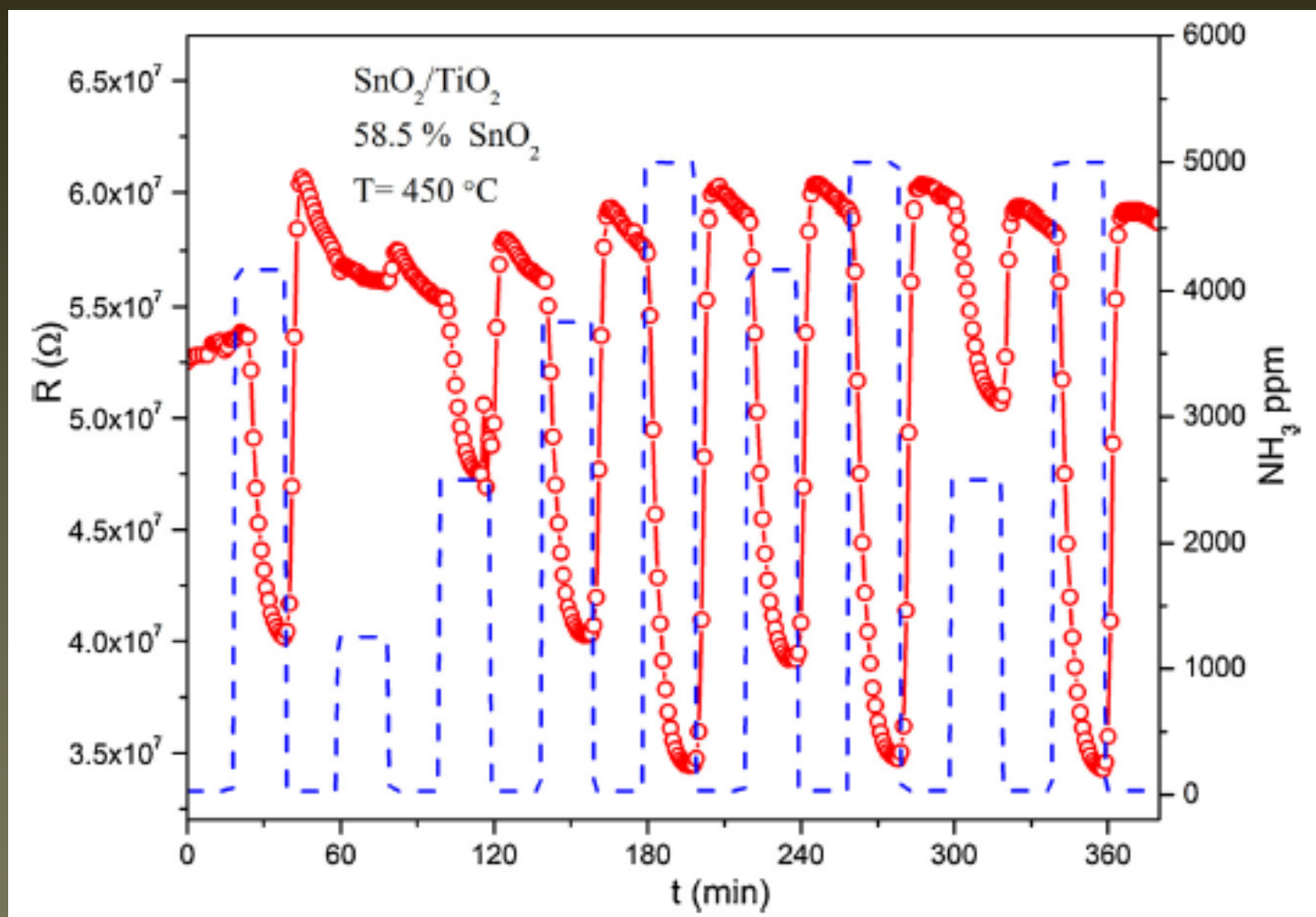


Dodatek SnO₂ do TiO₂:

Przesunięcie granicy absorpcji międzypasmowej w kierunku wyższych energii.

Zmniejszenie rezystancji na skutek zmiany położenia poziomu Fermiego oraz dostarczenie wolnych nośników ładunku elektrycznego.





Zmiany oporu elektrycznego R czujników gazowych bazujących na kompozycie zawierającym 58,5% SnO₂ i 41,5% TiO₂ po wprowadzeniu NH₃ w temp. 450 °C.

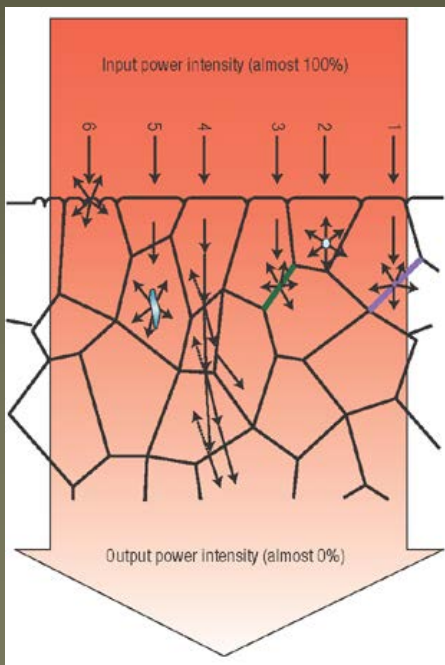
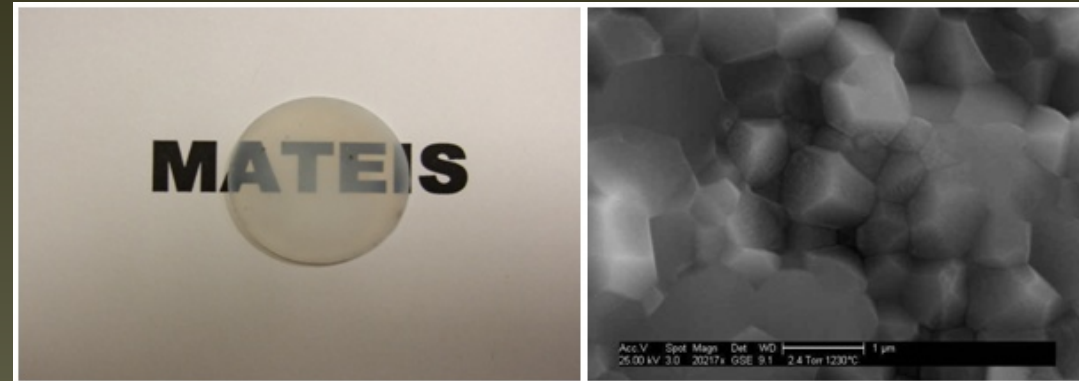
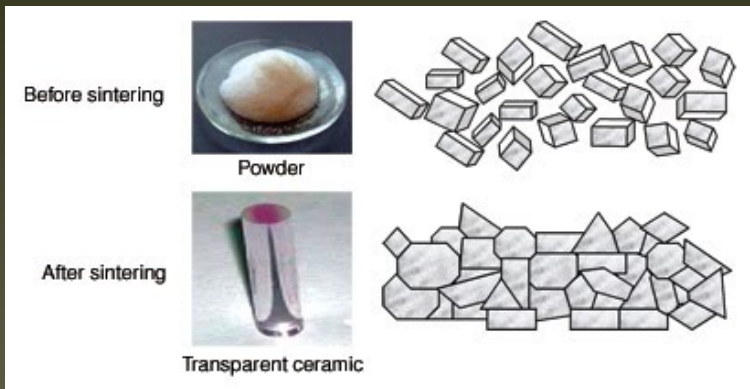
CERAMIKA OPTOELEKTRONICZNA

- powiązanie techniki elektronicznej i optycznej w celu gromadzenia, przetwarzania i emisji sygnałów optycznych odzwierciedlających sygnały elektryczne
- przezroczyste spieki lub warstwy ferroelektrycznego cyrkonianu-tytanianu ołowiu, zawierającego lantan **PLZT: $\text{Pb}_{1-x}\text{La}_x(\text{Zr}_{1-y}\text{Ti}_y)\text{O}_3$**
- modulacja światła, przełączanie sygnałów, wskaźniki, elementy pamięci i osłon światłoczułych

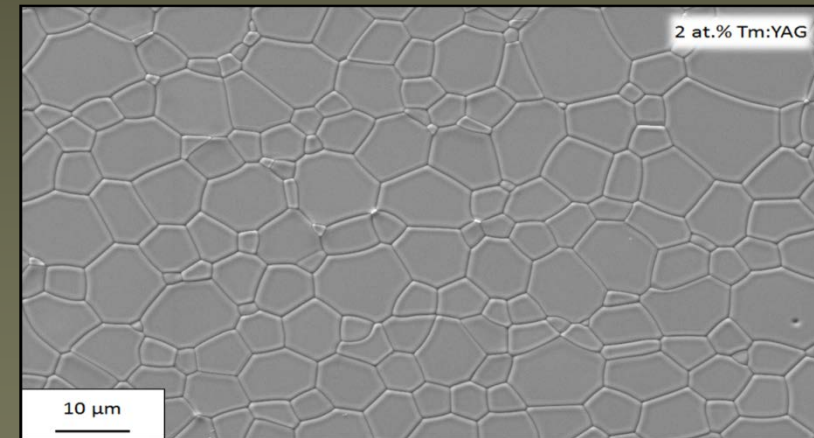


CERAMIKA PRZEŹROCZYSTA O WYSOKIEJ WYTRZYMAŁOŚCI

Wymagana wysoka czystość, pełne zagęszczenie i jednorodna mikrostruktura



- 1 – granice ziaren
- 2 – pory
- 3 – niejednorodności na granicy ziaren
- 4 – podwójne odbicie
- 5 – wtrącenia innych faz
- 6 – chropowatość powierzchni



LITERATURA do wykładu

1. R. Pamuch, Materiały ceramiczne. Zarys nauki o materiałach nieorganiczno-niemetalicznych, PWN, Warszawa, 1988
2. R. Pamuch, Współczesna materiały ceramiczne, Wyd. AGH, Kraków, 2005
3. R. Pampuch, Siedem wykładów o ceramice, Wyd. AGH, Kraków 2001
4. R. Pampuch, K. Haberko, M. Kordek, Nauka o procesach ceramicznych, PWN, Warszawa, 1992
5. L. Stobierski, Ceramika węglkowa, Wyd. AGH, Kraków, 2005
6. K. E. Oczóś, Kształtowanie ceramicznych materiałów technicznych, OWPRz, Rzeszów, 1996
7. M. F. Ashby, D. Jones, Materiały inżynierskie, Wyd. Nauk.-Techn., Warszawa, 1995
8. D. Bochenek, Technologia wytwarzania i właściwości multiferroikowej ceramiki typu PFN, Wyd. Uśl, Katowice, 2012
9. M. Szutkowska, Odporność na kruche pękanie spieków ceramicznych stosowanych na ostrza narzędzi skrawających, Zeszyty Naukowe Instytutu Obróbki Skrawaniem nr 85, Kraków, 200

**JEŚLI WAS ZAINTERESUJE KTÓREŚ ZAGADNIENIE, MOŻECIE ZWRÓCIĆ SIĘ
BEZPOŚREDNIO DO MNIE ŻEBYM WAM POLECIL SZCZEGÓLOWĄ LITERATURĘ**