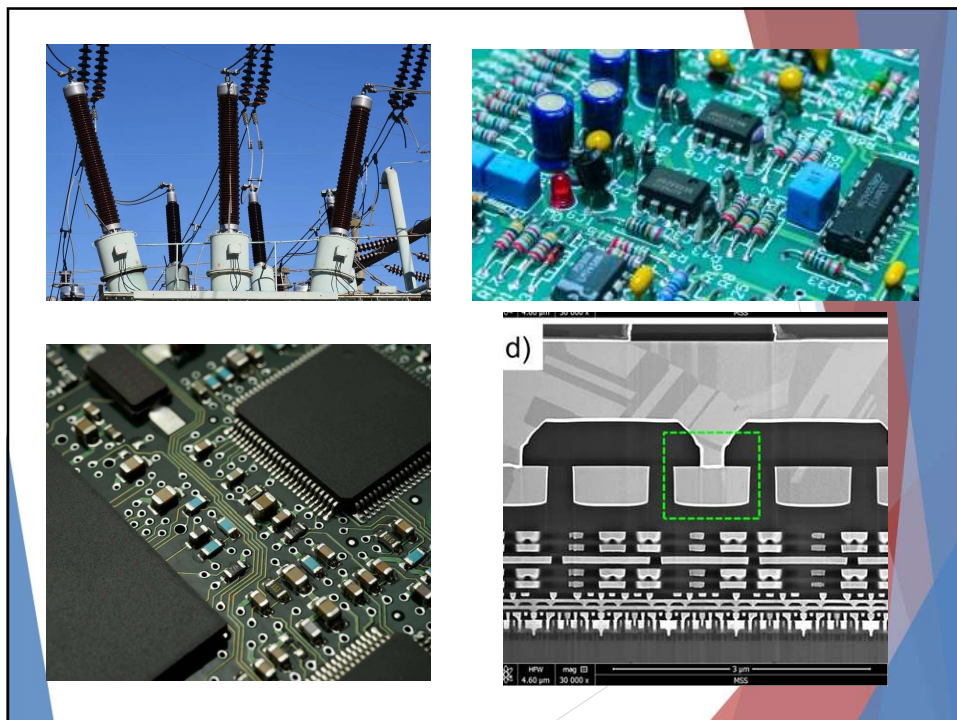
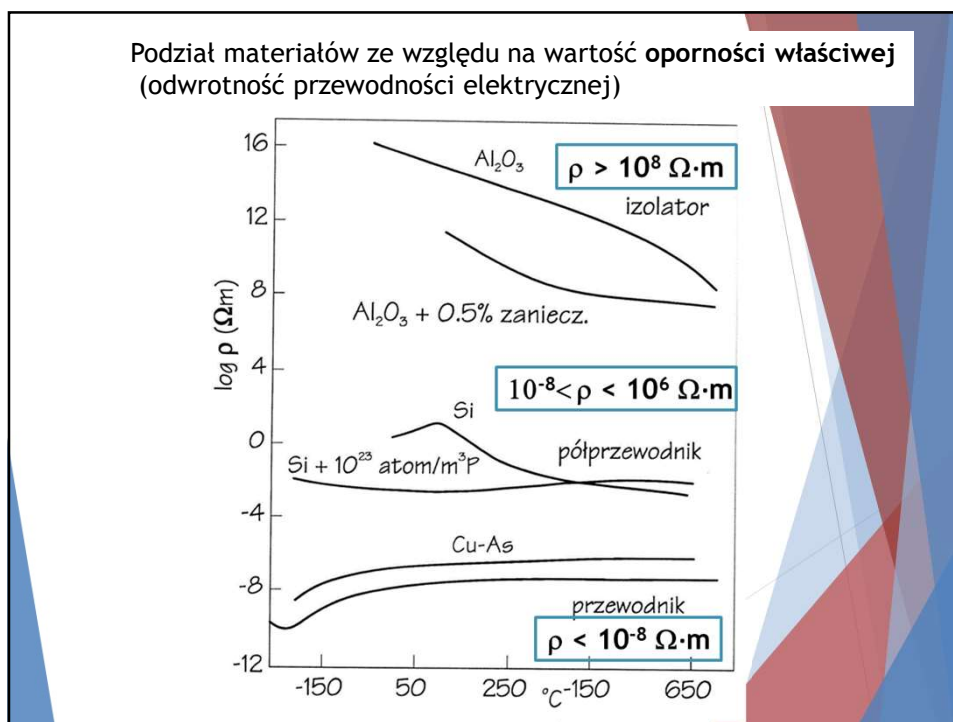




1



2



3

Elektroceramika

Elektrocermika - ceramiczne materiały i urządzenia wykorzystujące właściwości elektryczne.

Przewodniki ceramiczne:

- elementy grzejne
- warystory
- termistory
- czujniki wilgoci
- czujniki gazowe
- elektrolity stałe
- nadprzewodniki

Dielektryki i izolatory:

- izolator elektryczny
- ceramiczny kondensator wielowarstwowy (MLCC)

Ceramika piezoelektryczna:

- przetwornik ultradźwiękowy
- czujnik poziomu wody
- czujnik zbliżeniowy

Ceramika piroelektryczna:

- czujnik temperatury

Ceramika elektro-optyczna

Ceramika magnetyczna

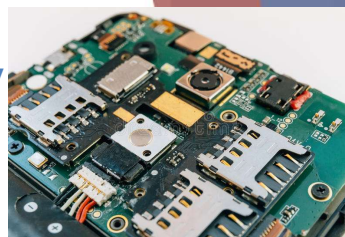
4

Typowe zastosowania elektroceramiki

- ▶ izolatory (podłoża układów elektronicznych)
- ▶ rezystory (oporniki)
- ▶ kondensatory o wysokiej stałej dielektrycznej
- ▶ piezoelektryczne przetworniki dźwiękowe i ultradźwiękowe
- ▶ przetworniki używane w diagnostyce medycznej (USG)
- ▶ filtry radiowe i telekomunikacyjne
- ▶ napędy ultradźwiękowe
- ▶ zawory elektro-optyczne
- ▶ kondensatory cienkowarstwowe
- ▶ ferroelektryczne pamięci cienkowarstwowe
- ▶ elementy grzejne w piecach

5

Przykład: dielektryczne i ferroelektryczne elementy w telefonie komórkowym



- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ▶ ceramiczne kondensatory w układach scalonych ▶ generatory mikrofalowe ▶ filtry mikrofalowe ▶ rezonatory ceramiczne | <ul style="list-style-type: none"> ▶ filtry wysokiej częstotliwości ▶ filtry ceramiczne ▶ odbiorniki piezoelektryczne ▶ głośniki piezoelektryczne |
|---|---|

6

Izolatory i dielektryki

7

Względne stałe dielektryczne próżni i wybranych materiałów ceramicznych o szerokiej przerwie energetycznej E_g

Materiał	Względna stała dielektryczna ϵ_r w 20°C	Zastosowania
Próżnia	1	izolacja elektryczna, w tym obudowy i podłoża obwodów scalonych; dla tych zastosowań ważna jest niska wartość ϵ_r , ponieważ prędkość c [m/s] przesyłania sygnałów elektrycznych przez ścieżki przewodzące zależy od ϵ_r materiału izolującego: $c = c_0 \sqrt{\epsilon_r}$ gdzie c_0 – prędkość światła.
Powietrze (1 atm)	1,00059	
Szko wapienno-sodowe	3,8	
Szko kwarcowe	3,8	
SiO ₂	3,9	
Porcelana	3,1–3,9	
Al ₂ O ₃	4,5–7,0	
Mullit (~3Al ₂ O ₃ · 2SiO ₂)	4–5	
Steatyt (głównie MgSiO ₃)	5–7	
Diament	5,7	
Si ₃ N ₄	6,0	
AlN	8,8	
SiC	15,0	
Ti _x Al _{1-x} O ₄	30,0	
TiO ₂	60,0	
SrTiO ₃	225–310	kondensatory; wysoka wartość ϵ_r , pozwała na miniaturyzację kondensatorów
Pb(Zr _{1-x} Ti _x)O ₃	400–700	
BaTiO ₃	<1 250	
Pb _{0,92} La _{0,08} (Zr _{0,65} Ti _{0,35})O ₃	2 320–3 350	
Pb(Mg _{0,33} Nb _{0,66})O ₃	2 500	
CaCu ₂ Ti ₄ O ₁₂	80 000	

8

Względne stałe dielektryczne próżni i wybranych materiałów ceramicznych o szerokiej przerwie energetycznej E_g

Materiał	Względna stała dielektryczna ϵ_r w 20°C	Zastosowania
Próżnia	1	Izolacja elektryczna: w tym obudowy i podłoża układów scalonych
Powietrze (1 atm)	1,00059	
Szkoło wapienno-sodowe	3,8	
Szkoło kwarcowe	3,8	
SiO ₂	3,9	
Porcelana	3,1–3,9	
Al ₂ O ₃	4,5–7,0	
Mullit (~3Al ₂ O ₃ · 2SiO ₂)	4–5	
Steatyt (głównie MgSiO ₃)	5–7	
Diament	5,7	
Si ₃ N ₄	6,0	
AlN	8,8	
SiC	15,0	
Ti ₂ Al _{1-x} O ₄	30,0	
TiO ₂	60,0	kondensatory; wysoka wartość ϵ_r , pozwala na miniaturyzację kondensatorów
SrTiO ₃	225–310	
Pb(Zr _x Ti _{1-x})O ₃	400–700	
BaTiO ₃	<1 250	
Pb _{0,92} La _{0,08} (Zr _{0,65} Ti _{0,35})O ₃	2 320–3 350	
Pb(Mg _{0,33} Nb _{0,67})O ₃	2 500	
CaCu ₃ Ti ₄ O ₁₂	80 000	

9

Izolatory elektryczne

„Klasyczne” izolatory ceramiczne np. porcelana elektrotechniczna




Podłoża w obwodach scalonych:
- Al₂O₃

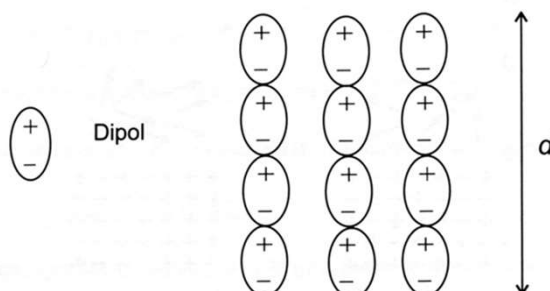
Rys. 1.1. Schemat wielowarstwowej obudowy monolitycznej obwodów scalonych

10

Dielektryki - izolatory lub słabe przewodniki ulegające polaryzacji elektrycznej

$$\epsilon_s = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r, \quad \text{skąd} \quad \epsilon_r = \epsilon_s / \epsilon_0$$

(F.)



Schemat polaryzacji dielektryka po przyłożeniu zewnętrznego pola elektrycznego

Dielektryki - to materiały, które odznaczają się występowaniem w swej strukturze dipoli i których właściwości dielektryczne (ϵ_r) są wykorzystywane w praktyce.

ϵ_r - względna stała dielektryczna

11

Względne stałe dielektryczne próżni i wybranych materiałów ceramicznych o szerokiej przerwie energetycznej E_g

Materiał	Względna stała dielektryczna ϵ_r w 20°C	Zastosowania	
Próżnia	1	izolacja elektryczna, w tym obudowy i podłoża obwodów scalonych; dla tych zastosowań ważna jest niska wartość ϵ_r , ponieważ prędkość c [m/s] przesyłania sygnałów elektrycznych przez ścieżki przewodzące zależy od ϵ_r materiału izolującego: $c = c_0 \sqrt{\epsilon_r}$ gdzie c_0 - prędkość światła.	
Powietrze (1 atm)	1,00059		
Szkoło wapienno-sodowe	3,8		
Szkoło kwarcowe	3,8		
SiO ₂	3,9		
Porcelana	3,1-3,9		
Al ₂ O ₃	4,5-7,0		
Mullit (~3Al ₂ O ₃ · 2SiO ₂)	4-5		
Steatyt (głównie MgSiO ₃)	5-7		
Diament	5,7		
Si ₃ N ₄	6,0		
AlN	8,8		
SiC	15,0		Bramki tranzystorów
Ti _x Al _{1-x} O ₄	30,0		
TiO ₂	60,0		
SrTiO ₃	225-310	Miniaturowe kondensatory	
Pb(Zr _{1-y} Ti _y)O ₃	400-700		
BaTiO ₃	<1 250		
Pb _{0,92} La _{0,08} (Zr _{0,65} Ti _{0,35})O ₃	2 320-3 350		
Pb(Mg _{0,33} Nb _{0,66})O ₃	2 500		
CaCu ₂ Ti ₄ O ₁₇	80 000		

12

Kondensatory

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{V}{d}$$

For air, $\epsilon \approx \epsilon_0$

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$$

$$E_{\text{effective}} = E - E_{\text{polarization}} = \frac{\sigma}{\epsilon \epsilon_0}$$

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

Pojemność kondensatora (C) jest zwiększana o czynnik ϵ

13

13

$$Q = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{AV}{d}$$

$$C = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

$Q = CV$

Q: ładunek (Coulomb)
 C: pojemność (Farad)
 V: różnica potencjałów (Wolt)
 d: odstęp/grubość (metr)

ϵ_0 : przenikalność elektryczna próżni =
 $8,854 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{m}^2 \text{ lub F/m}$
 ϵ_r : stała dielektryczna

Kondensatory ceramiczne

Ceramic Capacitors www.powerelectronicstalks.com

14

14

Ceramiczny kondensator wielowarstwowy MLCC - multilayer ceramic capacitor

Wymagania miniaturyzacji w dużym stopniu **wykluczają** zwiększenie powierzchni czołowej kondensatora - **A**.

W przypadku wielowarstwowego kondensatora ceramicznego (MLCC), pojemność wynosi:

$$C = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{A(N - 1)}{d}$$

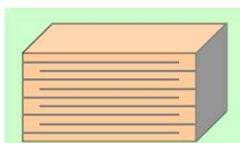
gdzie **N** jest liczbą ułożonych w stos płytek dielektryka.

Idealnie, dielektryk powinien mieć niską przewodność elektryczną, aby prąd upływu nie był zbyt duży.

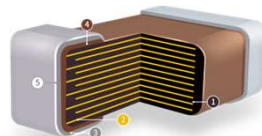
15

15

Ceramiczny kondensator wielowarstwowy (MLCC)

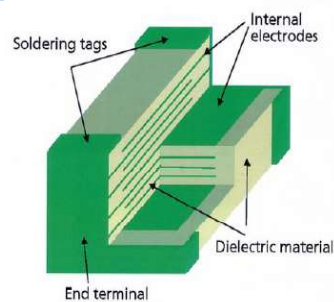


$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d}$$



- ① Ceramic body ② Electrode(Ni/Cu*) ③ Plating(Ni)
- ④ Termination(Cu or Cu+Metal Epoxy) ⑤ Plating(Sn)

* Internal Cu electrode is only applied to limited products.

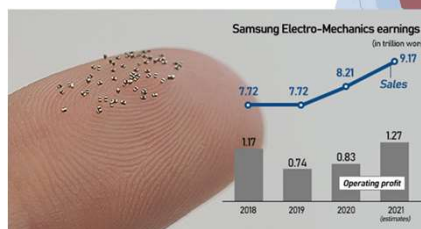
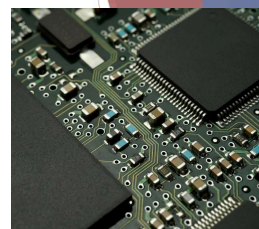


16

Kondensatory montowane powierzchniowo (surface-mount)

Ceramiczne kondensatory **montowane powierzchniowo** stosowane są w każdym rodzaju sprzętu elektronicznego, w tym komputerów, telekomunikacji, elektroniki samochodowej, elektroniki wojskowej, elektroniki medycznej i elektroniki użytkowej.

Wysokonapięciowe i **wysokotemperaturowe** kondensatory ceramiczne służą wojsku, lotnictwu i kosmonautyce, przemysłowi naftowemu, obrazowaniu medycznemu, wytwarzaniu energii i zasilaniu wysokiego napięcia.



17

Dielektryki do zastosowań mikrofalowych

- ▶ Materiały mikrofalowe, w tym dielektryczne i współosiowe rezonatory pozwalają sprostać wymaganiom zastosowań mikrofalowych dla urządzeń o wysokiej wydajności i niskich kosztach.

▶ Zastosowania

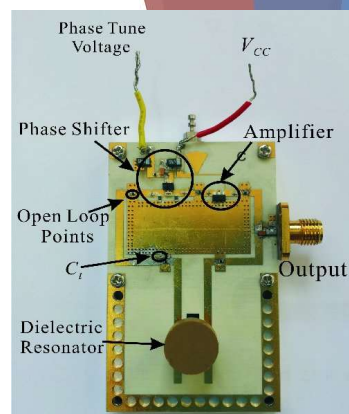
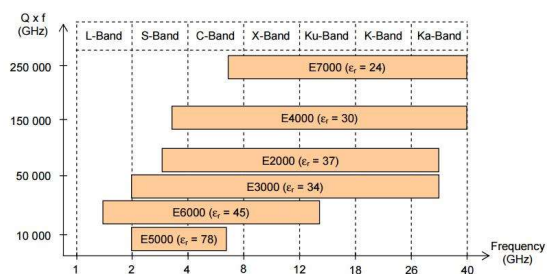
- anteny („patch antennas”)
- rezonatory/induktory
- podłoża
- filtry



Zastosowania „patch antennas”:
 - GPS
 - W-LAN

18

Rezonatory dielektryczne

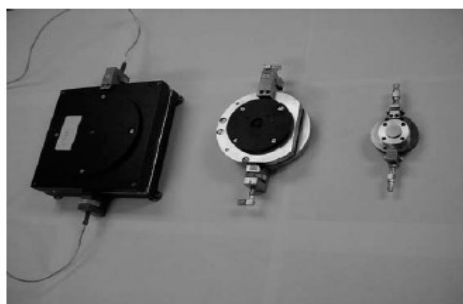


Zastosowanie rezonatorów:

- filtry mikrofalowe
- generatory mikrofalowe - do stabilizacji częstotliwości
- pomiary parametrów materiałowych w paśmie mikrofalowym



19

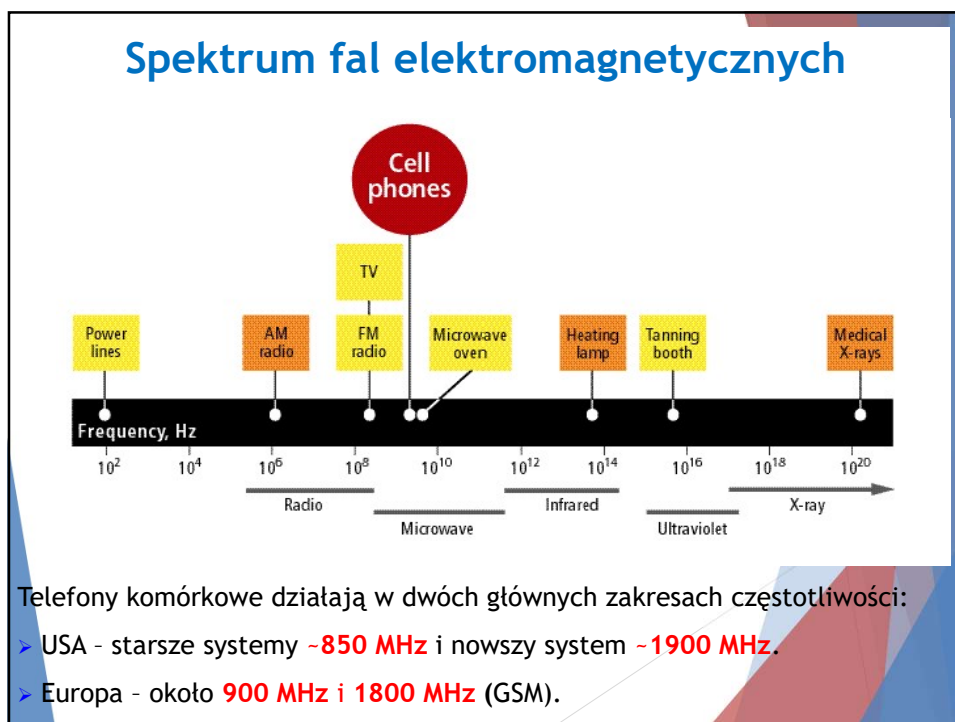


- Zdjęcia rezonatorów dielektrycznych działających przy częstotliwościach: 1,4, 3,2 i 33 GHz.

Tabela I. Typowe parametry materiałów w rezonatorach dielektr.

Rodzaj materiału	Producent	ϵ_r	$\text{tg} \delta$ (4GHz)	τ_ϵ
Ba Ti ₄ O ₉	Raytheon Trans-Tech	38	0.0001	+4
Ba ₂ Ti ₉ O ₂₀	Bell Labs	40	0.0001	+2
(Zr-Sn) TiO ₄	Murata Thomson-CSF Siemens Trans-Tech NTK	38	0.0001	-4 +10
BaO-Sn ₂ O ₃ -5TiO ₂	Murata	77	0.0001	15

20



21



22

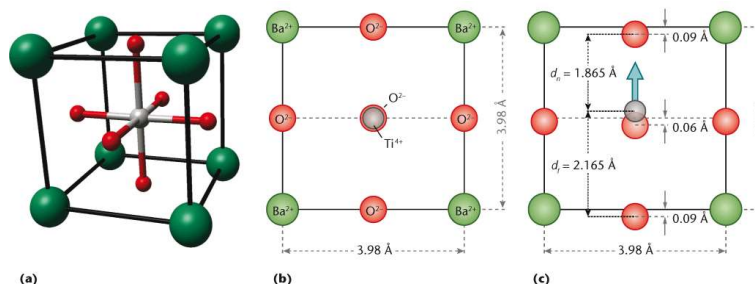
Ferroelektryki - materiały o wysokiej wartości ϵ_r

Ten rodzaj materiałów ma strukturę **perowskitu** o ogólnym wzorze **ABO₃**:

A - duży dwuwartościowy kation taki jak Pb²⁺ lub Ba²⁺

B - mały czterowartościowy kation taki jak Ti⁴⁺ lub Zr⁴⁺
w koordynacji oktaedrycznej z anionami tlenu (O²⁻)

Tytanian baru - BaTiO₃ - pierwszy ferroelektryk

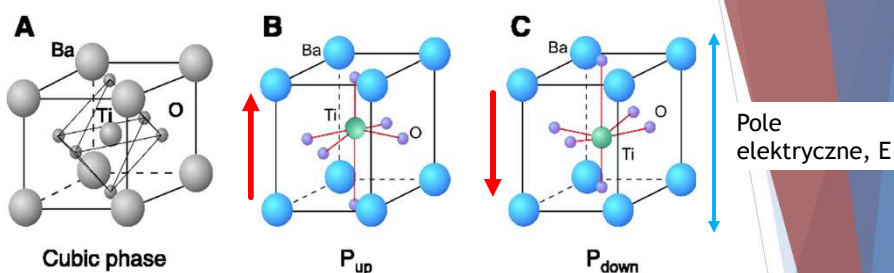


Struktura BaTiO₃: a) regularna, b) rzut **struktury regularnej**), c) rzut **struktury tetragonalnej**

Efekt ferroelektryczny występuje ze względu na **przemieszczenie się kationów „B”** w stosunku do anionów tlenu w przeciwnym kierunku

23

Ferroelektryki



Przemieszczenie to wywołuje **spontaniczną polaryzację**, która jest źródłem innych właściwości, takich jak:

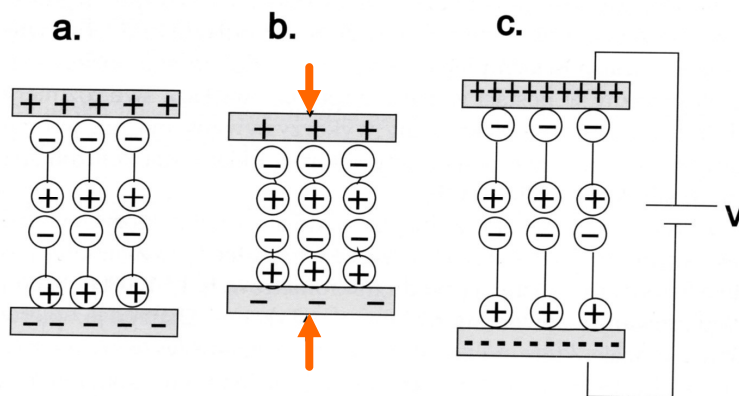
- Bardzo wysoka wartość **współczynnika przenikalności elektrycznej**
 $\epsilon_r = 1000 - 100\ 000$ („pojemne” kondensatory, bramki w tranzystorach)
- Pętla **histerezy elektrycznej** (nieliniowa zależność polaryzacji od przyłożonego pola elektrycznego)
- Efekt **piezoelektryczny**

24

Materiały piezoelektryczne

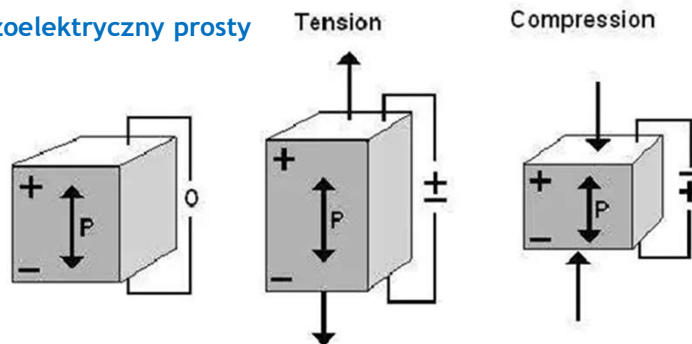
Efekt piezoelektryczny

- przyłożenie **obciążenia** do materiału (a) wywołuje **napięcie elektryczne** (b)
- przyłożenie **napięcia** do materiału (a) wywołuje **zmiany wymiarów** (c)

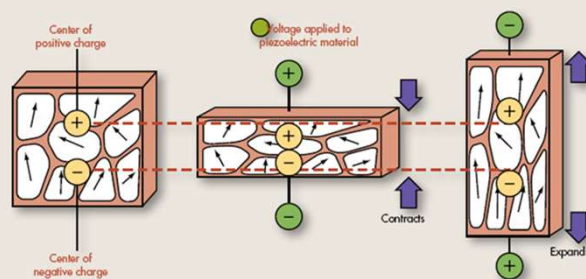


25

Efekt piezoelektryczny prosty



Efekt piezoelektryczny odwrotny



26

Cechy efektu piezoelektrycznego:

- efekty piezoelektryczne są liniowe i odwracalne
- wielkość polaryzacji elektrycznej jest zależna od wielkości naprężenia
- znak wytworzonego ładunku elektrycznego zależy od charakteru naprężenia (rozciągające lub ściskające)

Efekt występuje w przypadku niektórych substancji krystalicznych o strukturze **pozbawionej środka symetrii**:

- kwarc (monokryształ)
- ferroelektryki (spieki)

energia elektryczna ↔ energia mechaniczna

27

Zastosowanie piezoelektryków

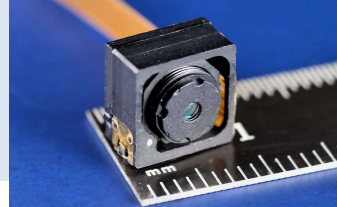
Wykorzystane efekty	Przykładowe zastosowania
Efekt piezoelektryczny prosty („mechaniczna - elektryczna”)	<ul style="list-style-type: none"> - odbiorniki dźwięku i ultradźwięku - mikrofony - generatory energii elektrycznej - generatory iskry
Efekt piezoelektryczny odwrotny („elektryczna - mechaniczna”)	<ul style="list-style-type: none"> - nadajniki dźwięku i ultradźwięku - silniki piezoelektryczne - piezoelektryczne transformatory podwyższające napięcie i natężenie - mikroaktuatory

28

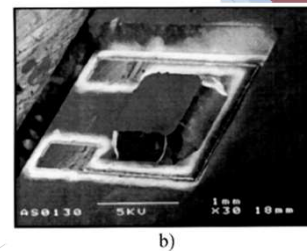
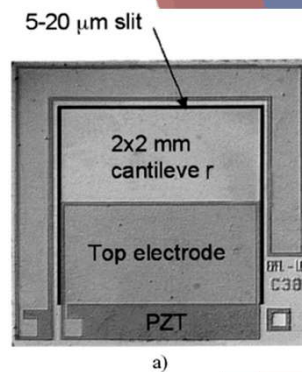
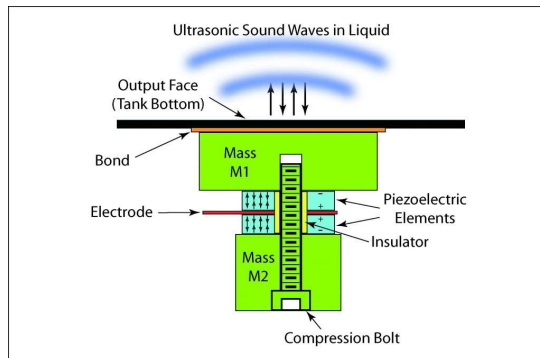
Przykładowe materiały piezoelektryczne:

$Pb(Zr_yTi_{1-y})O_3$ (PZT) w formie jednofazowych polikryształów lub kompozytów ziarnistych z $PbTiO_3$ lub $PbZrO_3$,

- $PbNbO_3$,
- $LiNbO_3$,
- $BaTiO_3$ dotowany Ca lub Pb,
- kwarc (monokryształ)



29



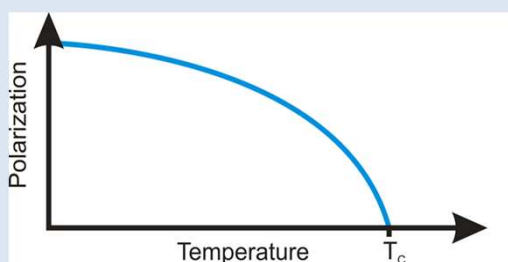
Przykłady piezoelektrycznych mikroczujników:

- a) mikrofon
- b) akcelerometr

30

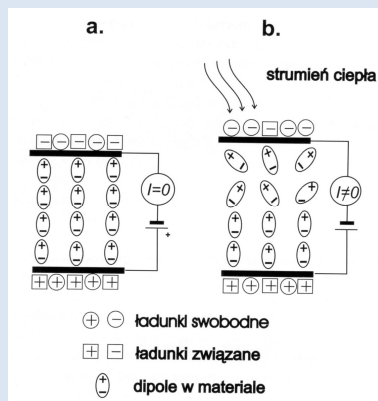
Piroelektryki

Efekt piroelektryczny - polega na pojawieniu się nieskompensowanych ładunków elektrycznych na powierzchni **dielektryka** przy zmianie jego temperatury.



Odptyw **nieskompensowanych** ładunków = prąd elektryczny.

Przy zmianie o 10°C napięcie nawet rzędu 1 kV.



31

31

Cecha wyjątkowa budowy ferroelektryków stosowanych jako piroelektryki:

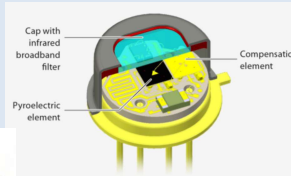
- polikryształy składające się z ziarn o **budowie jednodomenowej**
- monokryształy bez struktury domenowej

Zastosowanie :

- sensory do wykrywania (np. czujnik ruchu w systemach alarmowych PIR) i pomiaru elektrycznego strumieni ciepłych (promieniowania **IR**).

Materiały:

- polikryształy (ferroelektryki):
PZT, LiNbO_3 , LiTaO_3 , PbTiO_3
- monokryształy: CdS , $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$, LiTaO_3



32

32

Rezystory

33

33



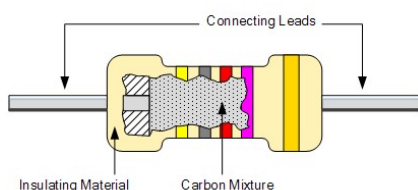
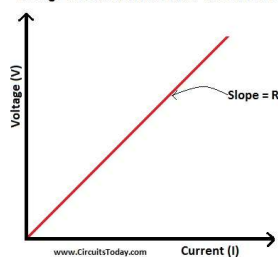
Rezystory ceramiczne

34

34

Rezystory liniowe

Voltage-Current Characteristics - Ohm's Law Graph



Spełniają prawo Ohma

$$I = U \cdot R$$

Właściwości różnych materiałów rezystorowych

Materiał	Rezystywność		Zakres rezystancji	TWR $10^{-6}/K$
	$\rho(\Omega m)$	$R_{kw}(\Omega)$		
NiC - cw 80%Ni,20%C	-	125+950	0,015+950 k Ω	0+50
CrSi - cw 24%Cr,76%Si	-	100+4000	-	od -200 do +200
TiN - cw	-	100+300	0,01+800 k Ω	od -50 do -200
70%Cr,30%SiO - cw	-	<600	-	od -5 do +200
Pd-PdO-Ag - gw	-	125+25000	10 Ω -1M Ω	od -30 do +300
SnO ₂ +Sb - cw	-	10+400	10 Ω -2k Ω	400
Węgiel pirolit.	-	10+5000	<22M Ω	-500
Mat. kompozytowe	10	-	<1000G Ω	2000
Grafit+Cu	(2+5)10 ⁻⁴	-	-	-

cw - cienkie warstwy, gw - grube warstwy

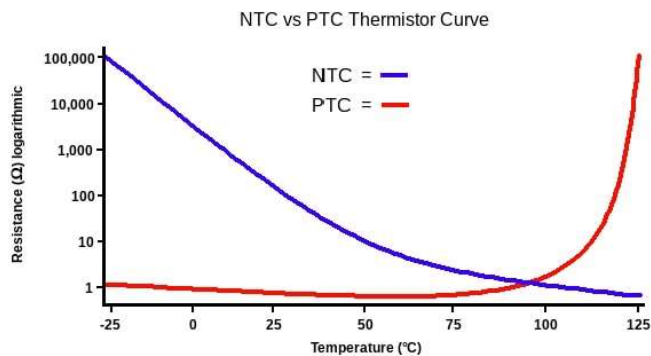
Przykład:

Rezystor węglowy = węgiel + proszek ceramiczny (ZrO₂, talk, TiO₂ itp..)

35

Termistory - rezystory nieliniowe

- Istnieje wiele zastosowań dla rezystorów o **dużej wartości** temperaturowego współczynnika rezystancji (TWR), mogą być one **ujemne (NTC) lub dodatnie (PTC)**.



36

Termistory o ujemnym temperaturowym współczynniku rezystancji - NTCR (*negative temperature coefficient of resistivity*).

Zastosowanie:

- ograniczanie prądu początkowego
- tłumienie przepięć
- pomiary temperatury (np. termometr)
- kontrola temperatury
- kompensacja temperatury



37

37

Materiały na termistory NTCR to **półprzewodniki „ceramiczne”** o wiązaniu jonowym, czyli półprzewodniki **wąskopasmowe**. W ich przypadku **ruchliwość** nośników ładunku elektrycznego (n,p) znacznie **wzrasta z temperaturą**, co odróżnia je od półprzewodników samoistnych.

W rezultacie wzrasta ich przewodnictwo a oporność spada.

Przykłady:

Materiały polikrystaliczne.

Związki o strukturze spinelu.

Mieszanki lub roztwory stałe.

- $\text{Fe}_3\text{O}_4 - \text{ZnCr}_2\text{O}_4$
- $\text{Fe}_3\text{O}_4 - \text{MgCr}_2\text{O}_4$
- Mn_3O_4 : (Mn) Ni, Co, Cu

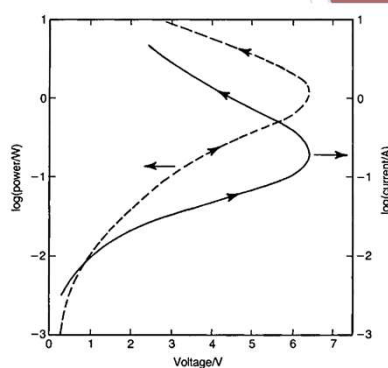


Fig. 4.16 Power and current versus voltage for an NTC thermistor with $R_{300} = 4.54 \times 10^{-3} \Omega$, $R = 3000 \Omega$, $T_0 = 300 \text{ K}$ and $T = T_0 + 30 \text{ K}$

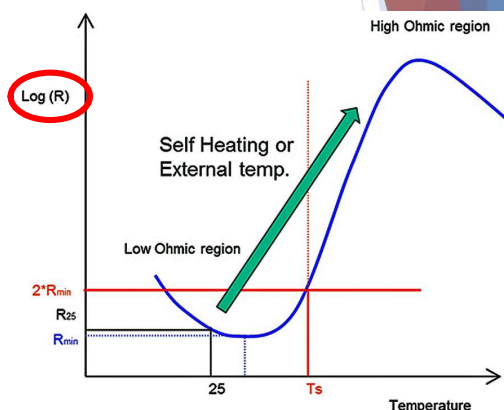
38

Termistory o dodatnim temperaturowym współczynniku rezystancji - PTCR (positive temperature coefficient of resistivity).

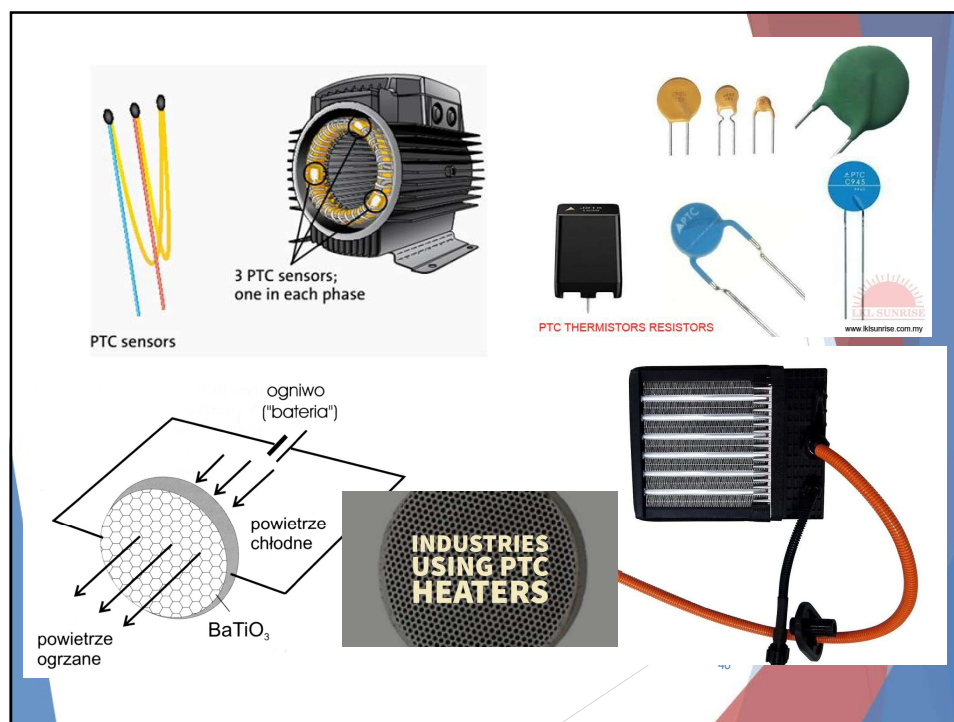
Zastosowania:

- zabezpieczenia nadprądowe i przeciążeniowe
- zabezpieczenia zwarciove
- czujniki temperatury
- ochrona temperaturowa
- czasowe wyłączniki światła
- samoregulujące ciągłe ogrzewanie

T_s = temperatura Curie

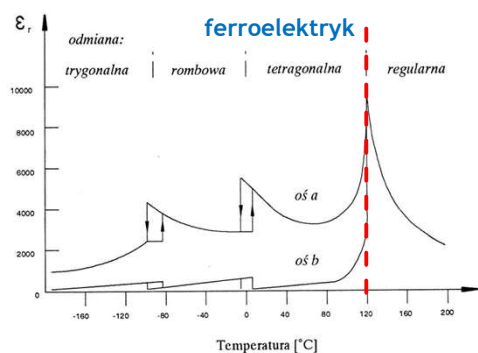


39



40

Termistory PTCR oparte są na **polikrystalicznym** BaTiO_3 **dotowanym** np. La^{3+} . Materiał ten jest **półprzewodnikiem** oraz **ferroelektrykiem**. Na granicach ziarnowych tworzy się **ładunek przestrzenny**, którego obecność wpływa na przewodnictwo materiału. Gęstość prądu **spada** eksponentalnie wraz z obniżaniem stałej **dielektrycznej materiału** (ϵ_r), która gwałtownie maleje powyżej **temperatury Curie** (przejście ferroelektryk - dielektryk).



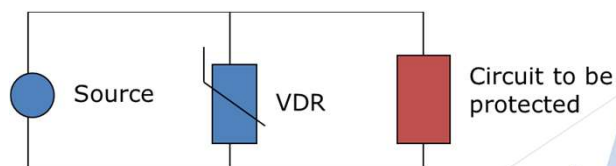
Wpływ temperatury na strukturę krystaliczną i na stałą dielektryczną BaTiO_3 (**monokryształ**)

41

Warystory - VDR (voltage-dependent resistor)

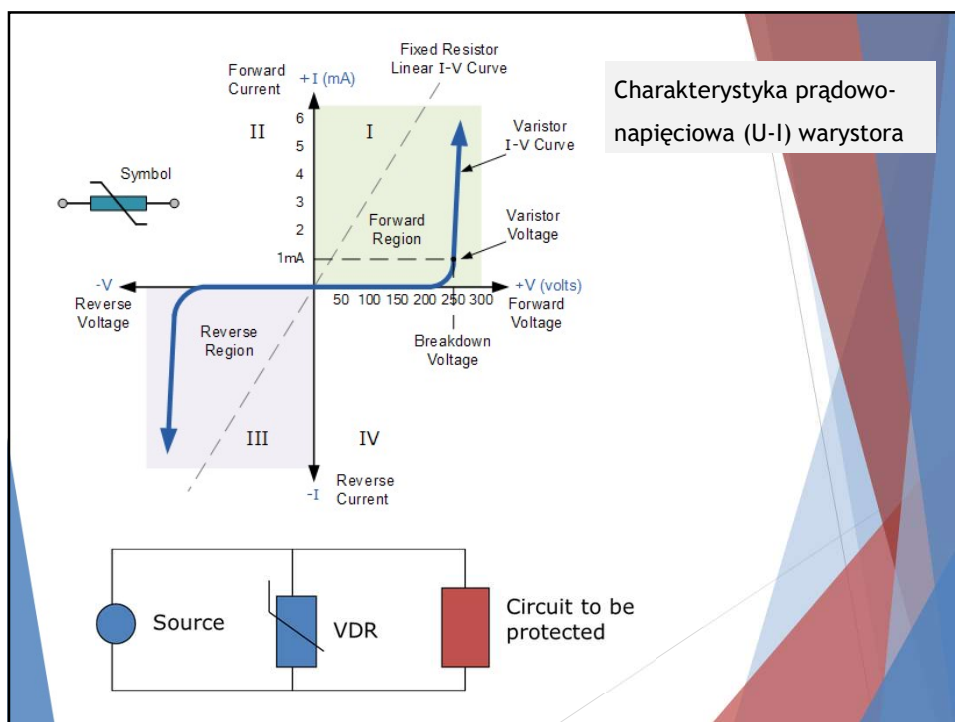
Istnieje wiele sytuacji, w których wykorzystuje się rezystor, który oferuje **wysoką rezystancję** przy niskich napięciach i **niską rezystancję** przy wysokich napięciach.

Takie urządzenia mogą być używane do ochrony obwodu elektrycznego przed stanami przejściowymi wysokiego napięcia poprzez zapewnienie ścieżki przez zasilacz, który pobiera tylko **mały prąd** w **normalnych warunkach**, ale pobiera **duży prąd**, jeśli napięcie **nadmiernie wzrasta**, zapobiegając w ten sposób przedostawaniu się impulsów wysokiego napięcia do obwodu.



Schemat obwodu z VDR służącego do ochrony obwodu (circuit)

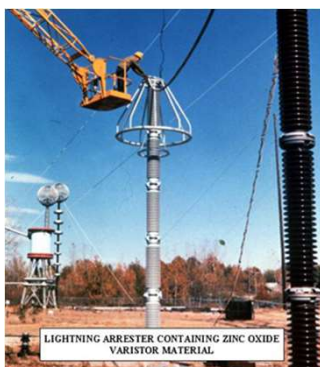
42



43

Zastosowania:

- absorbery uderzenia elektrycznego (uderzenie pioruna w linie energetyczne)
- zabezpieczenie obwodów elektrycznych przed przepięciami (np. tranzystory i układy scalone)



44

Warystory składają się z **ziaren półprzewodnika** otoczonych warstwą innego materiału ceramicznego (spiek). Na przewodzenie warystora największy wpływ ma **granica międzyziarnowa**. Przy niskim napięciu (natężeniu pola elektrycznego) przewodzenie przez tę granicę jest niewielkie. Podwyższenie napięcia powoduje, że granica międzyziarnowa zaczyna brać udział w przewodzeniu (tunelowanie - jak dioda Zenera).

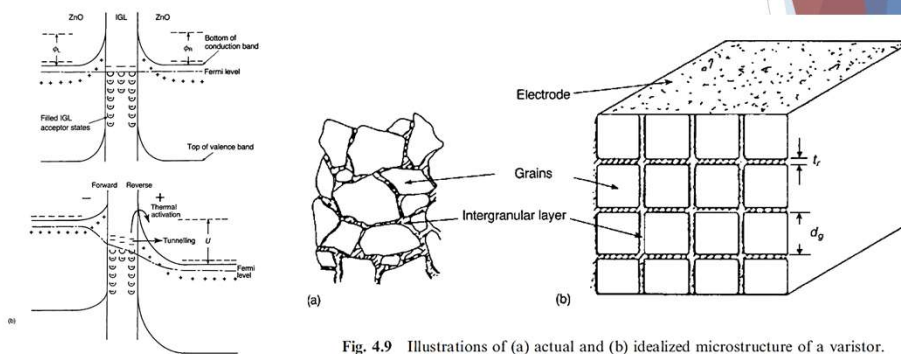


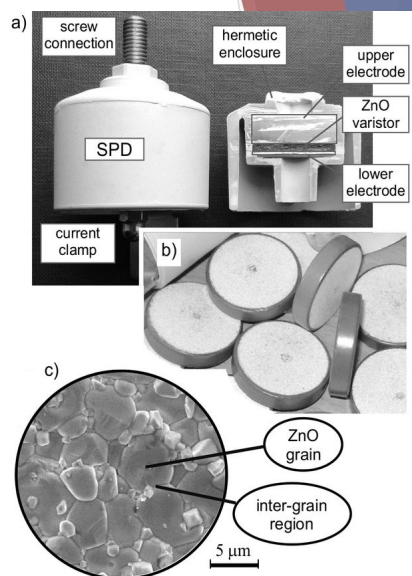
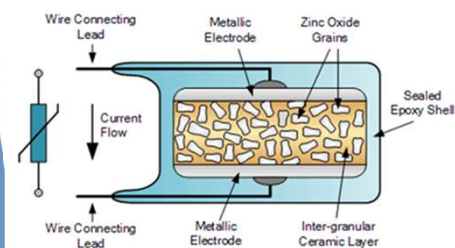
Fig. 4.10 Proposed electronic structure at a junction between semiconducting ZnO grains (a) no voltage applied; (b) with applied voltage.

45

Przykłady:

Materiały polikrystaliczne (spieki) w których ziarna półprzewodnika otoczone są cienką warstwą ceramiczną:

- ziarna SiC (50-150 μm) + krzemianowa faza szklista
- ziarna ZnO (10-50 μm) + warstwa (Bi_2O_3 , CoO , MnO_2)



46

Półprzewodniki

47

Półprzewodniki samoistne

- Półprzewodniki oparte na czystych pierwiastkach np.: krzem i german
- materiały grupy IVA
- Półprzewodniki złożone (związki chemiczne):

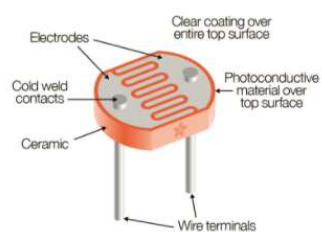
– Związki pierwiastków **III-V grupy** (13 i 15) np.:

GaAs i **InSb** (np. diody LED)

– Związki pierwiastków **II-VI grupy** (12 i 16) np.:

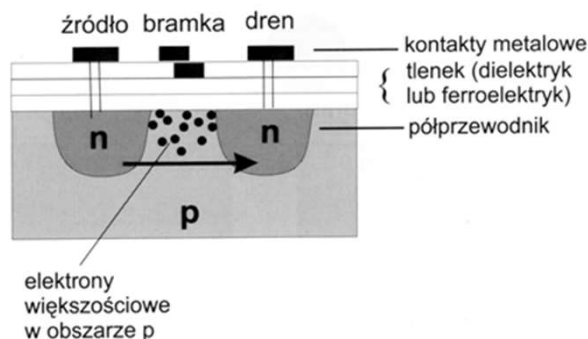
CdS i **ZnTe** (np. fotorezysory)

– Większa różnica w elektroujemności pomiędzy pierwiastkami składowymi prowadzi do **szerszej przerwy** energii wzbronionej.



48

Tranzystor polowy MOSFET

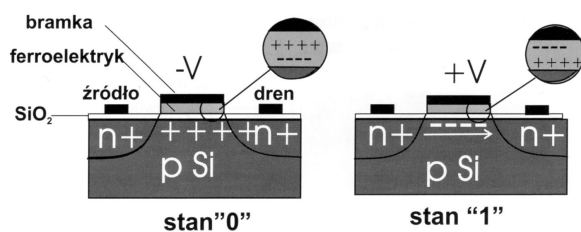


- MOSFET (**M**etal **O**xide **S**emiconductor **F**ield **E**ffect **T**ransistor)
- Tranzystor polowy z warstwą tlenku metalu
- Element układów scalonych otrzymywany metodami cienkowarstwowymi
- Warstwa dielektryka: $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ lub/i **ferroelektryki**

49

Bramki w tranzystorach - warstwy dielektryków

Bramka steruje przepływem prądu pomiędzy **źródłem** a **drenem** przez obszar „p”.
Przepływ prądu – **stan „1”**, brak przepływu prądu – **stan „0”**. Kontrola przepływu prądu zachodzi dzięki zmianom polaryzacji w warstwie ferroelektryka.



Zastosowanie:

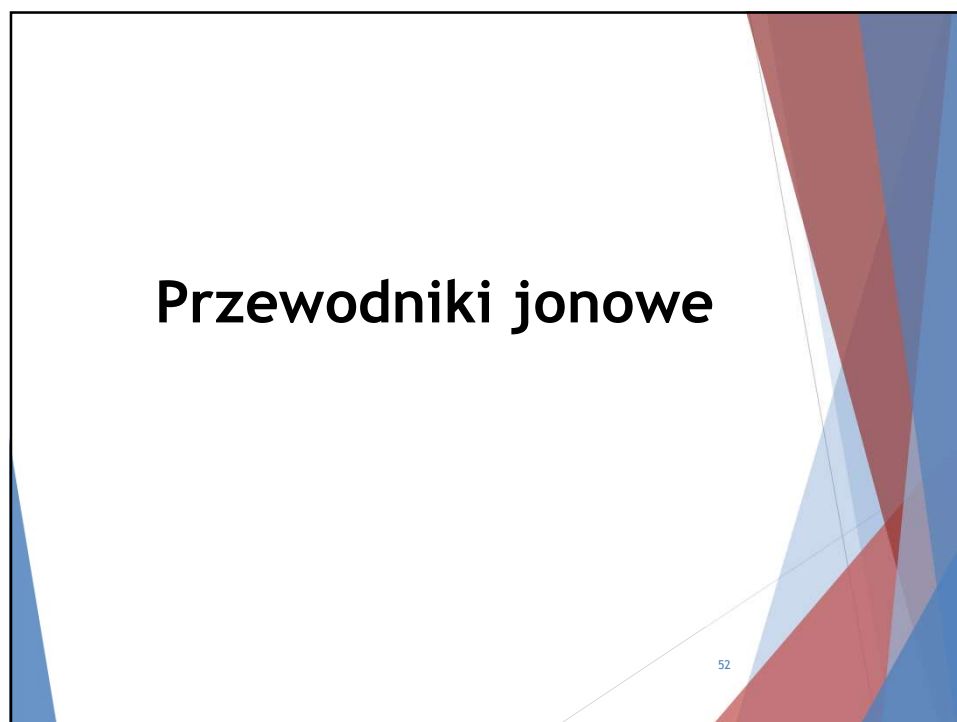
- pamięć DRAM (dynamic random access memory)



50



51



52

Przewodniki jonowe, materiały zazwyczaj o **wiązaniach silnie jonowych**, charakteryzujące się istotną wartością przewodnictwa jonowego.

Liczby przenoszenia:

$$t_e + t_i = 1$$

t_e - liczba przenoszenia dla elektronowych nośników ładunku

t_i - liczba przenoszenia dla jonowych nośników ładunku

Elektrolity stałe wykazują **przewodnictwo jonowe** w temperaturze pokojowej $> 10^{-5} \text{ S}\cdot\text{cm}^{-1}$ i praktyczny brak przewodnictwa elektronowego

53

53

Elektrolity stałe (przewodniki superjonowe)

Wysokie przewodnictwo jonowe jest wynikiem **wysokiej ruchliwości** niektórych jonów i zwykle jedynie **jeden rodzaj** jonów bierze w nim udział.

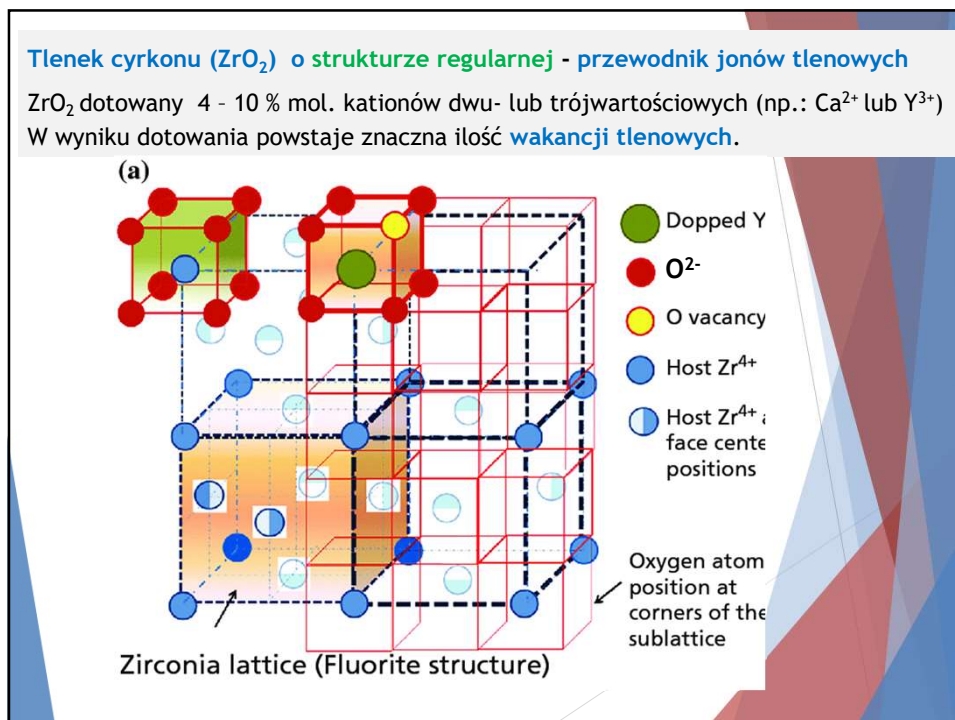
Przewodnictwo jonowe związane jest z jednej strony ze **zdefektowaniem struktury** (obecność defektów, nieuporządkowana struktura) a z drugiej z ruchem tych defektów, czyli ich **dyfuzją**.

Struktury zapewniające **wysokie stężenie ruchliwych** nośników ładunków elektrycznych

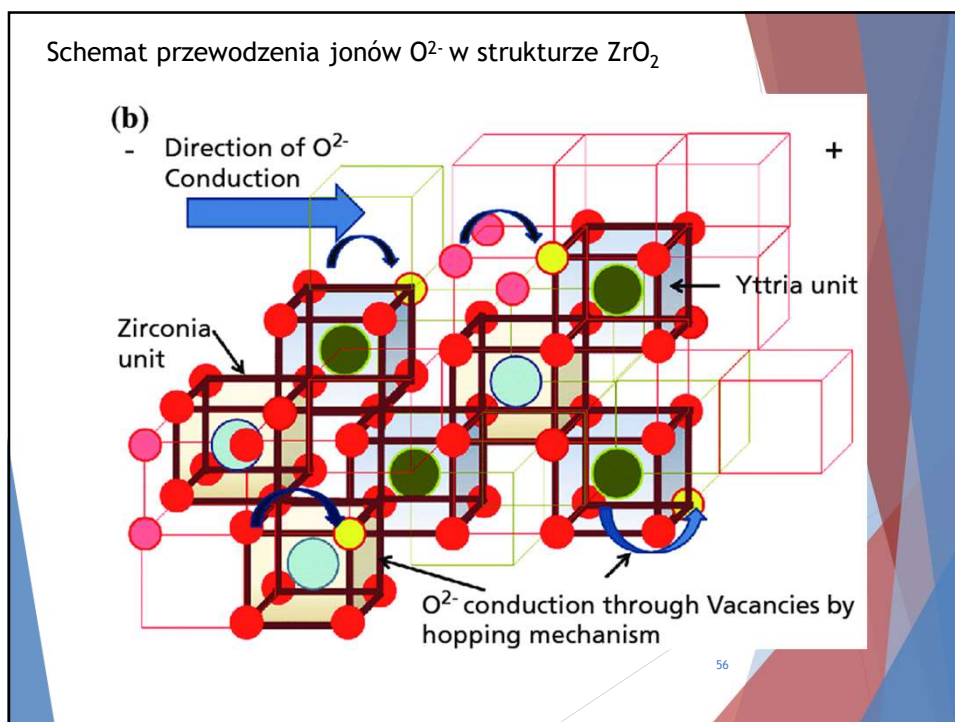
- struktury zdefektowane samoistnie (niestechiometria) np.: Bi_2O_3
- struktury dotowane (tworzenie defektów - wakancji) np.: $\text{ZrO}_2 + \text{Y}^{3+}$ lub Ca^{2+}
- struktury międzywęzłowe (~ interkalacja) np.: $\beta - \text{Al}_2\text{O}_3$ i kationy Na^+

54

54



55



56

Zastosowania:

- sonda tlenowa (sonda λ w silnikach)
- ogniwa paliwowe (Solid Oxide Fuel Cell)

The image contains several diagrams related to Solid Oxide Fuel Cells (SOFC) and oxygen sensors. On the left, a schematic of an SOFC shows the anode, electrolyte, and cathode. Hydrogen enters the anode, and oxygen enters the cathode. Oxygen ions move through the electrolyte, and electrons flow through an external load. Water is produced at the anode. Below this is a cross-section of a fuel cell stack showing layers: End Plate, Anode, Electrode Matrix, Cathode, Interconnect, Anode, Electrode Matrix, Cathode, End Plate. Fuel and oxidant flows are indicated. On the right, a diagram of an oxygen sensor system shows the Fuel Injector, Powertrain Control Module (PCM), Oxygen Sensor, Downstream Oxygen Sensor, and Catalytic Converter. Below that is a detailed view of an oxygen sensor with labels: Positive Side, Negative Side, Housing, Ambient Air, Support Ceramic, Vent Opening for Ambient Air, and Sensor Tip (Exhaust Side). A small photograph shows several white ceramic sensor components.

57

Elektrolity z nieuporządkowaniem strukturalnym

Związki **interkalacyjne** np.: β - Al_2O_3 (zmodyfikowany), struktura heksagonalna lub **NASICON** ($\text{Na}_{1-x}\text{Zr}_2\text{Si}_x\text{P}_{3-x}\text{O}_{12}$)

Wysokie elektryczne przewodnictwo **jonów alkaicznych** związane ze strukturą warstwową

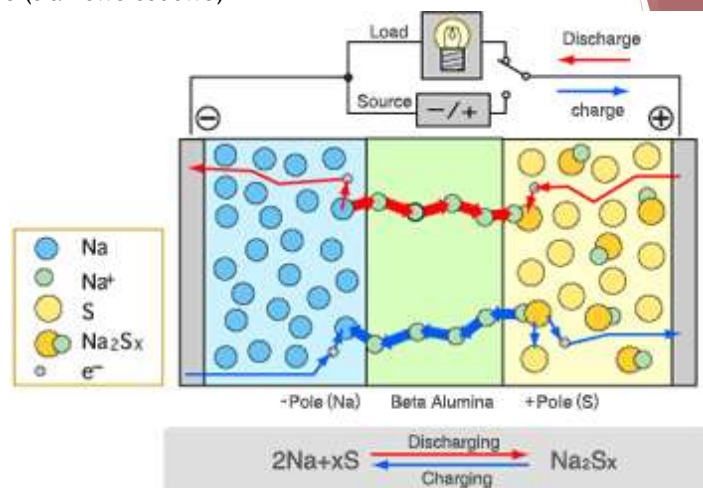
struktura spinelu (regularna)

The diagram shows two structural models. On the left, a layered structure of NASICON is shown with layers labeled A, B, C, A, A, C, B, A. A dashed line indicates a 'Conduction plane'. On the right, a regular spinel structure is shown with layers labeled C, A, B', A, C, B, A, C, A, C, A, B. A legend at the bottom identifies the ions: Al^{3+} (small black dot), Na^+ (medium grey dot), and O^{2-} (large white circle).

58

Zastosowanie:

- baterie (siarkowo-sodowe)



59

59

**Nadprzewodniki
wysokotemperaturowe**

**HTS - high temperature
superconductors**

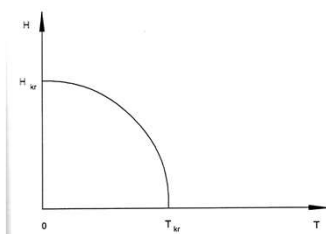
60

60

Nadprzewodnictwo

Przewodzenie prądu elektrycznego przy niemiernie niskim oporze w określonej niskiej temperaturze.

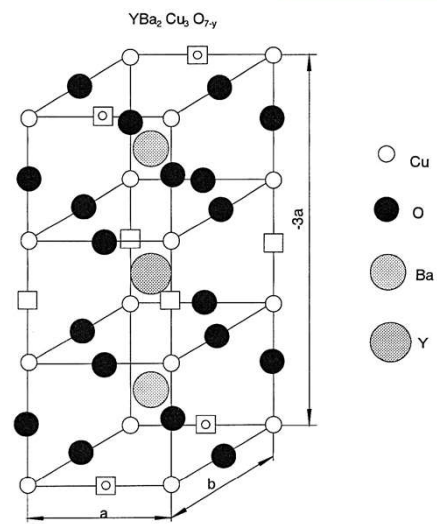
Przejęcie do stan nadprzewodzącego następuje skokowo i zależy od temperatury oraz pola magnetycznego.



Rys. 4.13. Parametry krytyczne nadprzewodnika.

Nadprzewodniki są idealnymi diamagnetykami (wypierają z wnętrza pole magnetyczne)

YBa₂Cu₃O_{7-y} - pierwszy HTS (spiek)



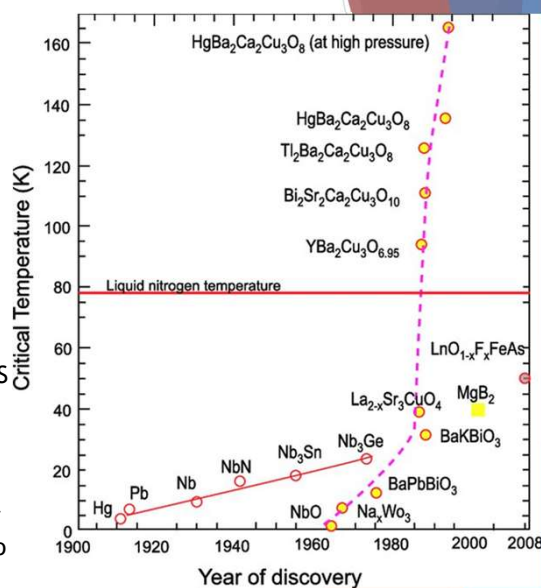
61

High Temperature Superconductors (HTS)

„Klasyczne” nadprzewodniki (metale) pracują w temperaturze poniżej 22 K.

Nadprzewodniki ceramiczne działają w temperaturach powyżej 70 K (ciekły azot).

Mechanizm nadprzewodnictwa w HTS jest inny niż w „klasycznych” nadprzewodnikach. Prawdopodobnie też występuje mechanizm tworzenia par elektronów (pary Coopera), ale o innym charakterze.

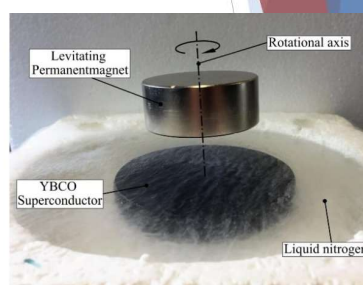


62

Zastosowania (możliwe):

Podobne jak „klasyczne” nadprzewodniki ale w wyższej temperaturze

- mocne elektromagnesy (Large Hadron Colider)
- elektromagnesy - obrazowanie medyczne (MRI)
- elektromagnesy - transport (Maglev)
- przesył energii elektrycznej



Nadprzewodniki są idealnymi diamagnetykami (wypierają z wnętrza pole magnetyczne)

63

Dziękuję za uwagę

64