





### Budowa polikryształów - wiadomości wstępne

Obraz materiału w mikroskali



TiC

NAUKA O MATERIAŁACH IV: Polikryształy

---

---

---

---

---

---

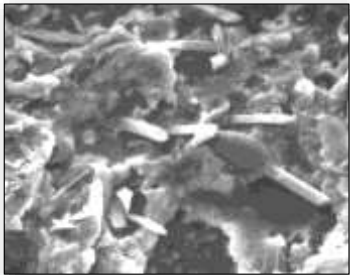
---

---



### Budowa polikryształów - wiadomości wstępne

Obraz materiału w mikroskali



Gres

NAUKA O MATERIAŁACH IV: Polikryształy

---

---

---

---

---

---

---

---



### Budowa polikryształów - wiadomości wstępne

Obraz materiału w mikroskali



Płytki ścienna

NAUKA O MATERIAŁACH IV: Polikryształy

---

---

---

---

---

---

---

---



## Budowa polikryształów - wiadomości wstępne

Większość występujących naturalnie w przyrodzie i wytwarzanych syntetycznie materiałów ma budowę typu polikryształów.

### POLIKRYSTAŁ

materiał o złożonej budowie, którego podstawą są połączone trwale (granicami fazowymi) różnie zorientowane elementy krystaliczne

NAUKA O MATERIAŁACH IV: Polikryształy

---

---

---

---

---

---

---

---

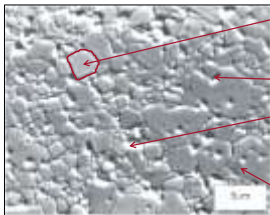
---

---



## Budowa polikryształów - wiadomości wstępne

### Podstawowe elementy budowy polikryształu



- A. ZIARNA** - pojedyncze kryształy oddzielone granicami międzyziarnowymi. W polikryształach mogą znajdować się ziarna wielu faz.
- B. PORY** - puste przestrzenie między ziarnami wypełnione fazą gazową
- C. FAZA AMORFICZNA (SZKLISTA)** - występująca jako oddzielne elementy mikrostruktury lub w postaci warstw na granicach ziaren
- D. WTRĄCENIA DYSPERSYJNE** - małe kryształy występujące w objętości ziaren

NAUKA O MATERIAŁACH IV: Polikryształy

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



## Budowa polikryształów - wiadomości wstępne

### KLASYFIKACJA POLIKRYSTAŁÓW

- Polikryształy są układami termodynamicznie nietrwałymi
- Budowa polikryształów jest ściśle związana ze sposobem ich otrzymania
- Budowa polikryształu może być bardzo zróżnicowana

Celem wykładu jest omówienie budowy najbardziej typowych polikryształów, zasad decydujących o ich budowie i podstawowych metod otrzymania.

NAUKA O MATERIAŁACH IV: Polikryształy

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---





## Budowa polikryształów jednofazowych

### Budowa idealnych polikryształów jednofazowych

#### Równowaga na styku trzech ścian

W warunkach równowagi  $\sum \gamma_i = 0$

stąd dla trzech ścian:

$$\gamma_1 = \gamma_2 \cos(\alpha/2) + \gamma_3 \cos(\alpha/2)$$

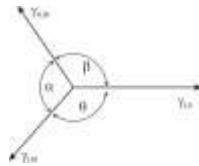
jeżeli:

$$\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3 = \gamma \quad \text{to} \quad \gamma = 2\gamma \cos(\alpha/2)$$

$$\text{stąd} \quad \cos(\alpha/2) = 1/2$$

to:

$$\alpha = 120^\circ \quad \text{czyli} \quad \alpha = \beta = \theta = 120^\circ$$



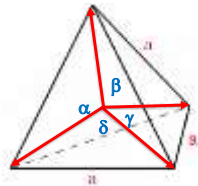
NAUKA O MATERIAŁACH IV: Polikryształy



## Budowa polikryształów jednofazowych

### Budowa idealnych polikryształów jednofazowych

Podobnie w wypadku miejsca styku czterech ścian:



$$\alpha = \beta = \gamma = \delta = 109^\circ 28'$$

NAUKA O MATERIAŁACH IV: Polikryształy



## Budowa polikryształów jednofazowych

### Budowa idealnych polikryształów jednofazowych

**Brak jest bryły geometrycznej spełniającej powyższe warunki równości kątów i kryterium zapełnienia przestrzeni.**

Kryteria te najlepiej przybliża tzw. **czternastościan Kelvina** który posiada:

- \* 8 ścian sześciobocznych
- \* 6 ścian kwadratowych
- \* zniekształcone (wypukłe lub wklęsłe) krawędzie dla zachowania kątów w miejscu styku

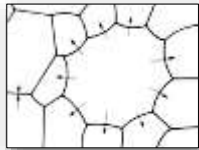


NAUKA O MATERIAŁACH IV: Polikryształy



### Budowa polikryształów jednofazowych

W rzeczywistości w polikryształach jednofazowych ziarna mają różne wymiary. Zachowanie warunków równowagi napręć powierzchniowych powoduje, że ściany ziaren mają krzywizny - wypukłe lub wklęsłe.



Mikrostrukturę polikryształu obrazuje struktura piany mydlanej

NAUKA O MATERIAŁACH IV: Polikryształy

---

---

---

---

---

---

---

---

---

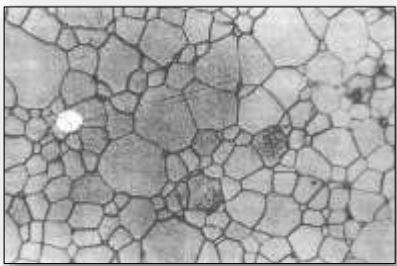
---

---

---



### Budowa polikryształów jednofazowych



spiek korundowy

NAUKA O MATERIAŁACH IV: Polikryształy

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



### Budowa polikryształów jednofazowych

W przypadku silnego zróżnicowania wartości energii powierzchniowej na poszczególnych płaszczyznach krystalograficznych, w polikryształach mogą powstawać ziarna o dominacji ścian o najniższych energiach zorientowanych tak, aby wystąpiła największa koincydencja sieci.



Zjawisko to występuje zwłaszcza w materiałach o wiązaniach kowalencyjnych

Przykład: spiek SiC



NAUKA O MATERIAŁACH IV: Polikryształy

---

---

---

---

---

---

---

---

---

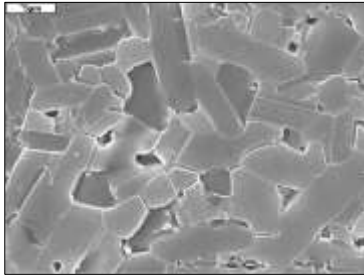
---

---

---



### Budowa polikryształów jednofazowych



spiek węgla krzemu

NAUKA O MATERIAŁACH IV: Polikryształy

---

---

---

---

---

---

---

---

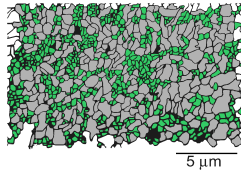
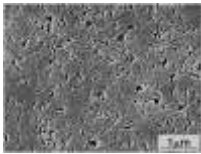
---

---



### Budowa polikryształów wielofazowych

Budowę polikryształów złożonych z ziaren różnych faz określają także warunki równowagi w miejscach styku granic międzyziarnowych.



Przykład gęstego spieku 25 %SiC - sialon  
Gęsty polikryształ dwufazowy o zbliżonych wartościach energii powierzchniowej obu faz.

NAUKA O MATERIAŁACH IV: Polikryształy

---

---

---

---

---

---

---

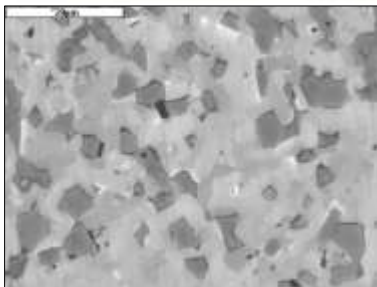
---

---

---



### Budowa polikryształów wielofazowych



SiC + B<sub>4</sub>C

NAUKA O MATERIAŁACH IV: Polikryształy

---

---

---

---

---

---

---

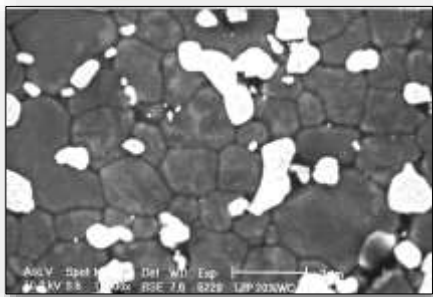
---

---

---



**Budowa polikryształów wielofazowych**



ZrO<sub>2</sub> + WC

NAUKA O MATERIAŁACH IV: Polikryształy

---

---

---

---

---

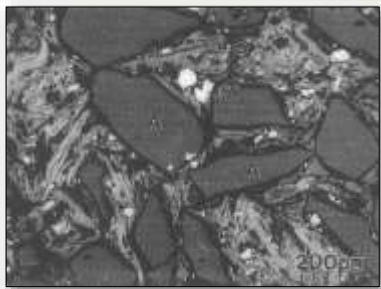
---

---

---



**Budowa polikryształów wielofazowych**



Korund + Si + grafit

NAUKA O MATERIAŁACH IV: Polikryształy

---

---

---

---

---

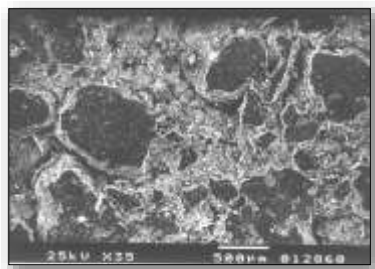
---

---

---



**Budowa polikryształów wielofazowych**



Korund + ZrO<sub>2</sub> + mullit

NAUKA O MATERIAŁACH IV: Polikryształy

---

---

---

---

---

---

---

---





## Budowa polikryształów wielofazowych

W wypadku polikryształów wielofazowych (zwłaszcza ceramicznych) na wyróżnienie zasługuje obecność w materiale drugiej fazy w postaci:

- fazy gazowej (porowatość),
- fazy szklistej

NAUKA O MATERIAŁACH IV: Polikryształy



## Budowa polikryształów wielofazowych

### Polikryształy porowate

Obecność w polikryształach porowatości (fazy gazowej, pustych objętości) jest konsekwencją procesu otrzymywania materiału. Pory często w sposób decydujący określają właściwości materiałów jak właściwości mechaniczne (sprężyste, wytrzymałościowe), cieplne, dielektryczne i in.



W praktyce  
 $\gamma_{ss} = \gamma_{sc}$   
 Stąd pory są „negatywem” ziaren

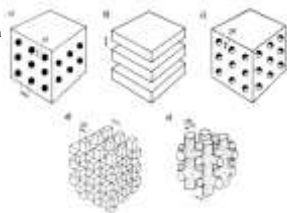
NAUKA O MATERIAŁACH IV: Polikryształy



## Budowa polikryształów wielofazowych

### Otrzymywanie polikryształów porowatych

- proces technologiczny nie pozwala (lub się nie opłaca) na otrzymanie gęstego polikryształu (w wypadku spiekania z proszków) lub  
 -w sposób świadomy otrzymuje się polikryształy o założonym udziale i kształcie porów (materiały izolacyjne, filtry, podłoża do katalizatorów)



Przykłady kształtu porów w materiale

NAUKA O MATERIAŁACH IV: Polikryształy



## Budowa polikryształów wielofazowych

### Wielkość porowatości w materiałach ceramicznych

Stan spieku	Porowatość w praktyce
proszek po formowaniu	40 - 60 %
materiały ziarniste np. ogniotwale	30 - 40 %
materiały budowlane	20 - 40 %
porcelana	poniżej 2 %
ceramika specjalna	poniżej 5 %
szkło	poniżej 1 %

NAUKA O MATERIAŁACH IV: Polikryształy



## Budowa polikryształów wielofazowych

### Przykłady materiałów o kontrolowanej, wysokiej porowatości (50 - 90%)

- Przygotowanie specjalnej formy materiału wstępnie uformowanego typu „plaster miodu”
- Przygotowanie do spiekania materiału w formie piany
- Wprowadzenie do spiekanej masy elementów, które po usunięciu z układu zostawiają pory
- Wydzielanie się w toku wypalania gazu wskutek reakcji chemicznych
- Spiekanie żeli otrzymanych metodami chemicznymi - metoda zol-żel
- Odwzorowanie mikrostruktury gąbki



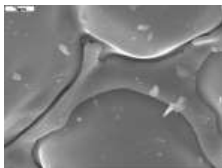
NAUKA O MATERIAŁACH IV: Polikryształy



## Budowa polikryształów wielofazowych

### Polikryształy z fazą amorficzną –szklistą

- Obecność w polikryształach fazy amorficznej (szklistej) jest typowa dla materiałów ceramicznych szlachetnej (stopy krzemianowe), ceramicznych ogniotwalej (niskotopliwe eutektyki) i ceramicznych specjalnej (aktywatory spiekania).
- Fazy te powstały przez zestalenie się stopionych faz występujących w procesie powstawania polikryształów



NAUKA O MATERIAŁACH IV: Polikryształy

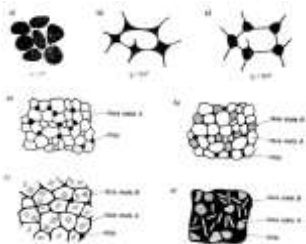




### Budowa polikryształów wielofazowych

#### Przykłady mikrostruktur

Polikryształy z fazą szklistą:



NAUKA O MATERIAŁACH IV: Polikryształy

---

---

---

---

---

---

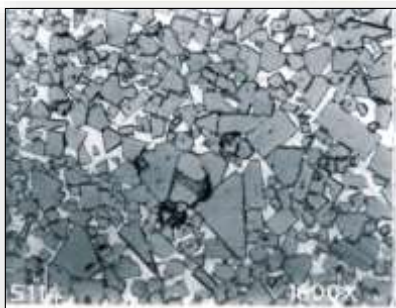
---

---



### Budowa polikryształów wielofazowych

Węglik spiekany (widia)



NAUKA O MATERIAŁACH IV: Polikryształy

---

---

---

---

---

---

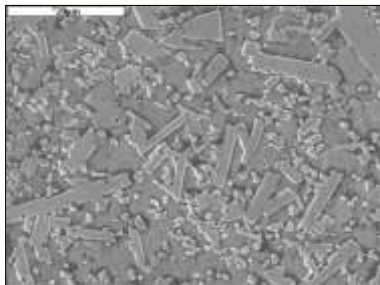
---

---



### Budowa polikryształów wielofazowych

Spiek WC



NAUKA O MATERIAŁACH IV: Polikryształy

---

---

---

---

---

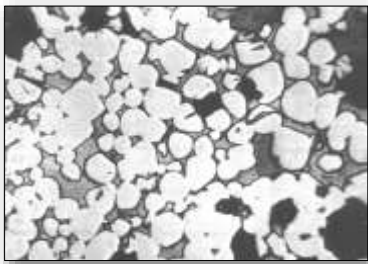
---

---

---



**Budowa polikryształów wielofazowych**



MgO + stop krzemianowy

NAUKA O MATERIAŁACH IV: Polikryształy

---

---

---

---

---

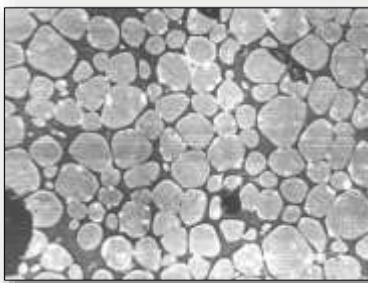
---

---

---



**Budowa polikryształów wielofazowych**



ZrO<sub>2</sub> + stop krzemianowy

NAUKA O MATERIAŁACH IV: Polikryształy

---

---

---

---

---

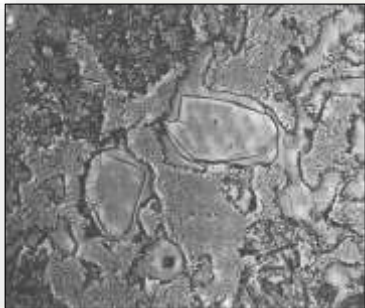
---

---

---



**Budowa polikryształów wielofazowych**



porcelana

NAUKA O MATERIAŁACH IV: Polikryształy

---

---

---

---

---

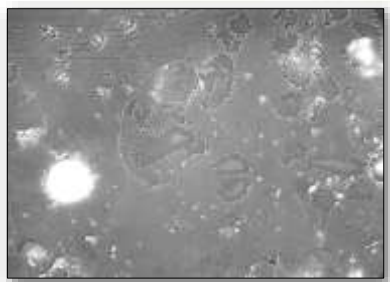
---

---

---



### Budowa polikryształów wielofazowych



Szklivo porcelany elektrotechnicznej

NAUKA O MATERIAŁACH IV: Polikryształy

---

---

---

---

---

---

---

---



AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA  
IM. STANISŁAWA STABICKI W KRAKOWIE

## NAUKA O MATERIAŁACH

**Dziękuję.  
Do zobaczenia  
za tydzień.**

JERZY LIS  
Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki  
Katedra Ceramiki i Materiałów Ogniotrwałych

---

---

---

---

---

---

---

---