

MATERIAŁOZNAWSTWO ELEKTRYCZNE

Program wykładów

Budowa fizykochemiczna materiałów. Wiązania chemiczne. Struktury materiałów elektrotechnicznych.

Materiały przewodzące. Przewodnictwo elektryczne metali, zjawisko oporu elektrycznego. Nadprzewodnictwo. Materiały przewodowe, oporowe i stykowe. Zastosowanie w elektrotechnice.

Materiały magnetyczne. Własności. Materiały magnetycznie miękkie i magnetycznie twarde - metaliczne i niemetaliczne - zastosowanie.

Materiały półprzewodzące. Własności półprzewodników. Wytwarzanie materiałów półprzewodnikowych, surowce, oczyszczanie, krystalizacja, domieszkowanie. Technologie epitaksjalne. Nanotechnologia i jej zastosowanie w elektronice.

Materiały elektroizolacyjne. Własności. Materiały izolacyjne gazowe, ciekłe i stałe, pochodzenia naturalnego i syntetyczne.

Sprawdzenie wiadomości z wykładów:

Kolokwium w połowie i na końcu semestru. Egzamin pisemny.

Literatura

1. Celiński Z., Materiałoznawstwo elektrotechniczne, OWPW Warszawa, 2018.
2. Bojarski Z. [i in.], Krystalografia, Wydaw. Nauk. PWN, Warszawa, 2014.
3. Adamov G. E. [et al.], Handbook of nanophysics, T.6 Nanoelectronics and nanophotonics, Boca Raton: CRC Press/ Taylor & Francis Group, 2011.
4. Kostrubiec F., Podstawy fizyczne materiałoznawstwa dla elektryków, Wydawn. PŁ, Łódź, 1999.
5. Wyderka S., Materiałoznawstwo elektryczne, materiały pomocnicze, OWPRz Rzeszów, 2011.
6. Plewako J., Wyderka S., Inżynieria materiałowa dla elektryków i elektroników, materiały pomocnicze, OWPRz, 2013.
7. Grabarczyk J., Wstęp do fizyki ciała stałego, OWPW Warszawa, 2000.
8. Blicharski M., Inżynieria materiałowa, Wydaw. Nauk. PWN, Warszawa, 2017.
9. Nitkiewicz Z., Iwaszko J., Kucharska B., Podstawy krystalografii geometrycznej, Wydawn. PCz, Częstochowa, 2008.

Biblioteka PRz, IBUK Libra. Wysłać e-mail na adres: biblio_info@prz.edu.pl z prośbą o indywidualny kod dostępu do zasobów elektronicznych. Szczegółowe informacje na stronie: <https://biblio.prz.edu.pl/e-zrodla/dodatkowe-info-o-bazach/ibuk>

Materiały elektrotechniczne

Podstawowe czynniki decydujące o własnościach materiałów:

- 1) skład chemiczny (określone pierwiastki i związki chemiczne wchodzące w skład materiału),
- 2) rodzaje i siły wiązań między poszczególnymi cząstkami (atomami, jonami, cząsteczkami),
- 3) układ przestrzenny cząstek (określone struktury krystaliczne lub ich brak),
- 4) stan termodynamiczny (wartości funkcji stanu: energia wewnętrzna, entalpia, entropia).

Wiązania międzyatomowe i międzycząsteczkowe

Spójność - cecha materiałów stałych i ciekłych: określona wytrzymałość na działanie sił zewnętrznych.

Wiązania międzyatomowe

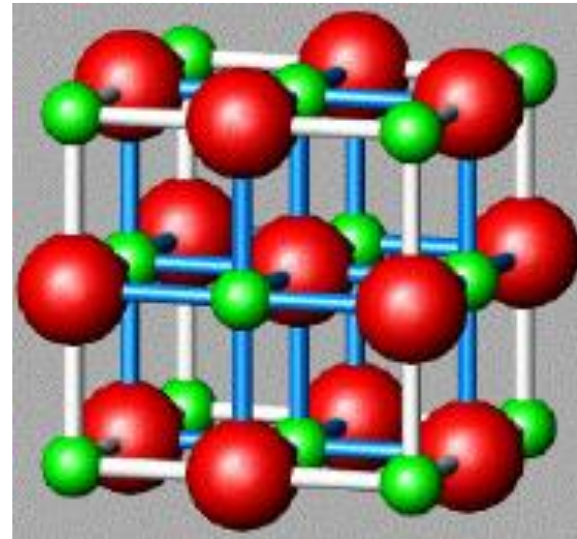
(jonowe, kowalencyjne, metaliczne oraz pośrednie)

Wiązania międzyatomowe polegają na dążeniu atomów do uzyskania kompletu elektronów w ostatniej powłoce.

Energia wiązania jest rzędu kilkaset kilodżuli na mol.

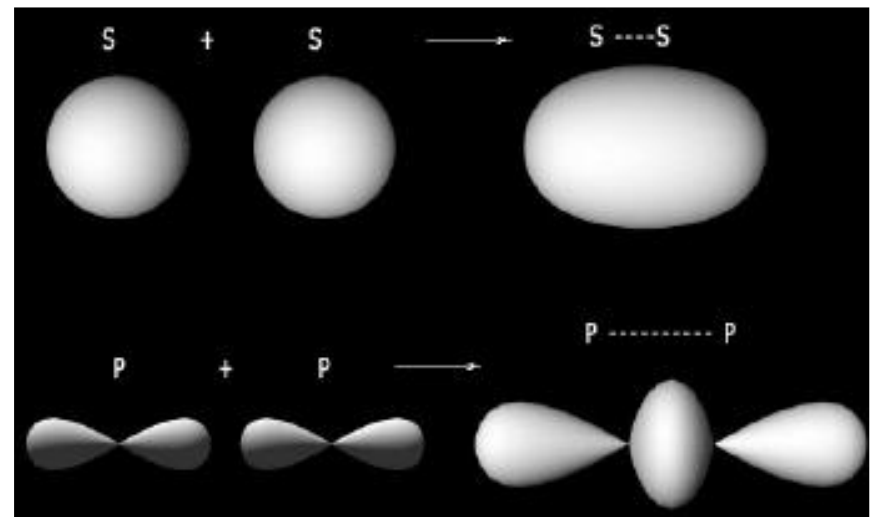
Wiązania jonowe

Polegają na wymianie elektronów walencyjnych między atomami różnych pierwiastków.



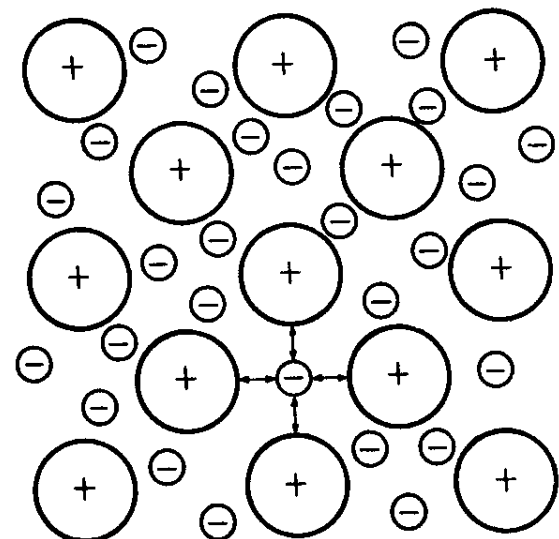
Wiązania kowalencyjne

Polegają na uwspólnianiu elektronów walencyjnych atomów tego samego pierwiastka lub pierwiastków o zbliżonych wartościach elektroujemności.



Wiązania metaliczne

Dotyczą pierwiastków o liczbie elektronów walencyjnych mniejszej niż 4. Polegają na wymianie energii między rdzeniami atomowymi a elektronami swobodnymi.



Układ okresowy pierwiastków

I A 1																		VIIIA 18	
1	1,01 1H wodor	IIA 2	masa atomowa 55,84 26Fe symbol liczba atomowa żelazo nazwa										III A 13	IV A 14	V A 15	VIA 16	VII A 17	4,00 2He hel	1
2	6,94 3Li lit	9,01 4Be beryl											10,81 5B bor	12,01 6C węgiel	14,00 7N azot	15,99 8O tlen	18,99 9F fluor	20,18 10Ne neon	2
3	22,99 11Na sód	24,30 12Mg magnez	IIIB 3	IVB 4	VB 5	VIB 6	VIIB 7	VIIIB 8	VIIIB 9	VIIIB 10	IB 11	IIB 12	26,98 13Al glin	28,09 14Si krzem	30,97 15P fosfor	32,07 16S siarka	35,45 17Cl chlor	39,95 18Ar argon	3
4	39,10 19K potas	40,08 20Ca wapń	44,96 21Sc skand	47,87 22Ti tytan	50,95 23V wanad	51,99 24Cr chrom	54,94 25Mn mangan	55,84 26Fe żelazo	58,93 27Co kobalt	58,69 28Ni nikiel	63,55 29Cu miedź	65,39 30Zn cynk	69,72 31Ga gal	72,61 32Ge german	74,92 33As arsen	78,96 34Se selen	79,90 35Br brom	83,80 36Kr krypton	4
5	85,47 37Rb rubid	77,62 38Sr stront	88,90 39Y itr	91,22 40Zr cyrkon	92,90 41Nb niob	95,94 42Mo molibden	(97,90) 43Tc technet	101,07 44Ru ruten	102,90 45Rh rod	106,42 46Pd pallad	107,87 47Ag srebro	112,41 48Cd kadm	114,82 49In ind	118,71 50Sn cyna	121,76 51Sb antymon	127,60 52Te tellur	126,90 53I jod	131,29 54Xe ksenon	5
6	132,90 55Cs cez	137,33 56Ba bar	138,91 57La lantan	178,49 72Hf hafn	180,95 73Ta tantal	183,84 74W wolfram	186,21 75Re ren	190,23 76Os osm	192,22 77Ir iryd	195,08 78Pt platyna	196,97 79Au złoto	200,59 80Hg rtęć	204,38 81Tl tal	207,20 82Pb ołów	208,98 83Bi bismut	(208,98) 84Po polon	(209,99) 85At astat	(222,02) 86Rn radon	6
7	(223,02) 87Fr frans	(226,02) 88Ra rad	(227,03) 89Ac aktyn	(261,11) 104Rf rutherford	(263,11) 105Db dubn	(265,12) 106Sg seaborg	(264,10) 107Bh bohr	(269,10) 108Hs has	(268,10) 109Mt meitner	(271,10) 110Uun ununilium	(272,10) 111Uuu ununium	(277,10) 112Uub ununbium		(289,00) 114Uuq ununquadium		(292,00) 116Uuh ununhexium		(294,00) 118Uuo ununoctium	7
Lantanowce				140,12 58Ce cer	140,91 59Pr prazeodym	144,24 60Nd neodym	(144,91) 61Pm promet	150,36 62Sm samar	151,96 63Eu europ	157,25 64Gd gadolin	158,92 65Tb terb	162,50 66Dy dysproz	164,93 67Ho holm	167,26 68Er erb	168,93 69Tm tul	173,04 70Yb iterb	174,97 71Lu lutet		
Aktynowce				232,04 90Th tor	231,04 91Pa protaktyn	238,03 92U uran	(237,05) 93Np neptun	(244,06) 94Pu pluton	(243,06) 95Am ameryk	(247,07) 96Cm ciur	(247,07) 97Bk berkel	(251,08) 98Cf kaliforn	(252,09) 99Es einstein	(257,09) 100Fm ferm	(258,10) 101Md mendelew	(259,10) 102No nobel	(262,11) 103Lr lorens		
			metale			półmetale			niemetale			gazy szlachetne							

Wiązania pośrednie jonowo-kowalencyjne

Udział energii poszczególnych rodzajów wiązań zależy od elektroujemności (E). Elektroujemność pierwiastka zależy od dążności jego atomów w cząsteczkach do przyciągania elektronów.

Elektroujemność wg Paulinga:

$$E = (P_J + P_E)/130$$

Pierwiastek:	Si	C	O
E:	1,90	2,55	3,44

Przykłady:

Si-O $\Delta E = 1,54$ wiązanie jonowo-kowalencyjne
udział w wiązaniu: 50 % + 50 %

SiC $\Delta E = 0,65$ wiązanie jonowo-kowalencyjne
udział w wiązaniu: 20 % + 80 %

Różnica $E < 0,4$ - wiązanie kowalencyjne

Różnica E od 0,4 do 1,7 - wiązanie jonowo-kowalencyjne

Różnica $E > 1,7$ - wiązanie jonowe

Elektroujemność pierwiastków wg Paulinga

H 2,20																	He
Li 0,98	Be 1,57											B 2,04	C 2,55	N 3,04	O 3,44	F 3,98	Ne
Na 0,93	Mg 1,31											Al 1,61	Si 1,90	P 2,19	S 2,58	Cl 3,16	Ar
K 0,82	Ca 1,00	Sc 1,36	Ti 1,54	V 1,63	Cr 1,66	Mn 1,55	Fe 1,83	Co 1,88	Ni 1,91	Cu 1,90	Zn 1,65	Ga 1,81	Ge 2,01	As 2,18	Se 2,55	Br 2,96	Kr 3,00
Rb 0,82	Sr 0,95	Y 1,22	Zr 1,33	Nb 1,6	Mo 2,16	Tc 1,9	Ru 2,2	Rh 2,28	Pd 2,20	Ag 1,93	Cd 1,69	In 1,78	Sn 1,96	Sb 2,05	Te 2,1	I 2,66	Xe 2,6
Cs 0,79	Ba 0,89	*	Hf 1,3	Ta 1,5	W 2,36	Re 1,9	Os 2,2	Ir 2,20	Pt 2,28	Au 2,54	Hg 2,00	Tl 1,62	Pb 2,33	Bi 2,02	Po 2,0	At 2,2	Rn 2,2
Fr 0,7	Ra 0,9	**	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Uub	Uut	Uuq	Uup	Uuh	Uus	Uuo
*	La 1,1	Ce 1,12	Pr 1,13	Nd 1,14	Pm 1,13	Sm 1,17	Eu 1,2	Gd 1,2	Tb 1,1	Dy 1,22	Ho 1,23	Er 1,24	Tm 1,25	Yb 1,1	Lu 1,27		
**	Ac 1,1	Th 1,3	Pa 1,5	U 1,38	Np 1,36	Pu 1,28	Am 1,13	Cm 1,28	Bk 1,3	Cf 1,3	Es 1,3	Fm 1,3	Md 1,3	No 1,3	Lr 1,3		

$$E = (PJ + PE)/130 \text{ [kJ/mol]}$$

PJ - potencjał jonizacyjny atomu lub cząsteczki, jego miarą jest minimalna energia, którą należy dostarczyć, aby oderwać elektron od atomu danego pierwiastka lub cząsteczki.

PE - powinowactwo elektronowe, jego miarą jest energia uwalniana podczas przyłączania elektronu do obojętnego atomu danego pierwiastka.

Liczba Avogadro $N_A = 6,02214076 \cdot 10^{23}$ cząstek w 1 molu

Wiązania międzycząsteczkowe

Występują między cząsteczkami, w których atomy są już związane wiązaniami międzyatomowymi.

Energia wiązania mieści się w przedziale od ułamków do kilkudziesięciu kilodżuli na mol (kJ/mol).

Wiązania dipol-dipol

Polegają na wymianie energii (przyciąganiu) między różnoimiennymi biegunami dipoli naturalnych lub indukowanych.

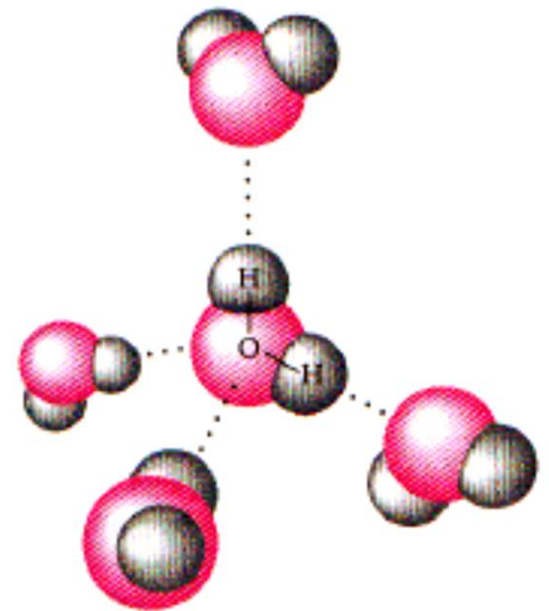
Przykłady:

Wiązania wodorowe (dipol-dipol)

Są to silne wiązania dipol-dipol między prawie nieosłoniętymi jądrami wodoru a pobliskimi elektronami tlenu.

Wiązania dyspersyjne (dipol-dipol)

Występują między atomami gazów szlachetnych w stanie ciekłym w wyniku dyspersji wzajemnego położenia jąder i otaczających je elektronów.



Budowa ciał stałych

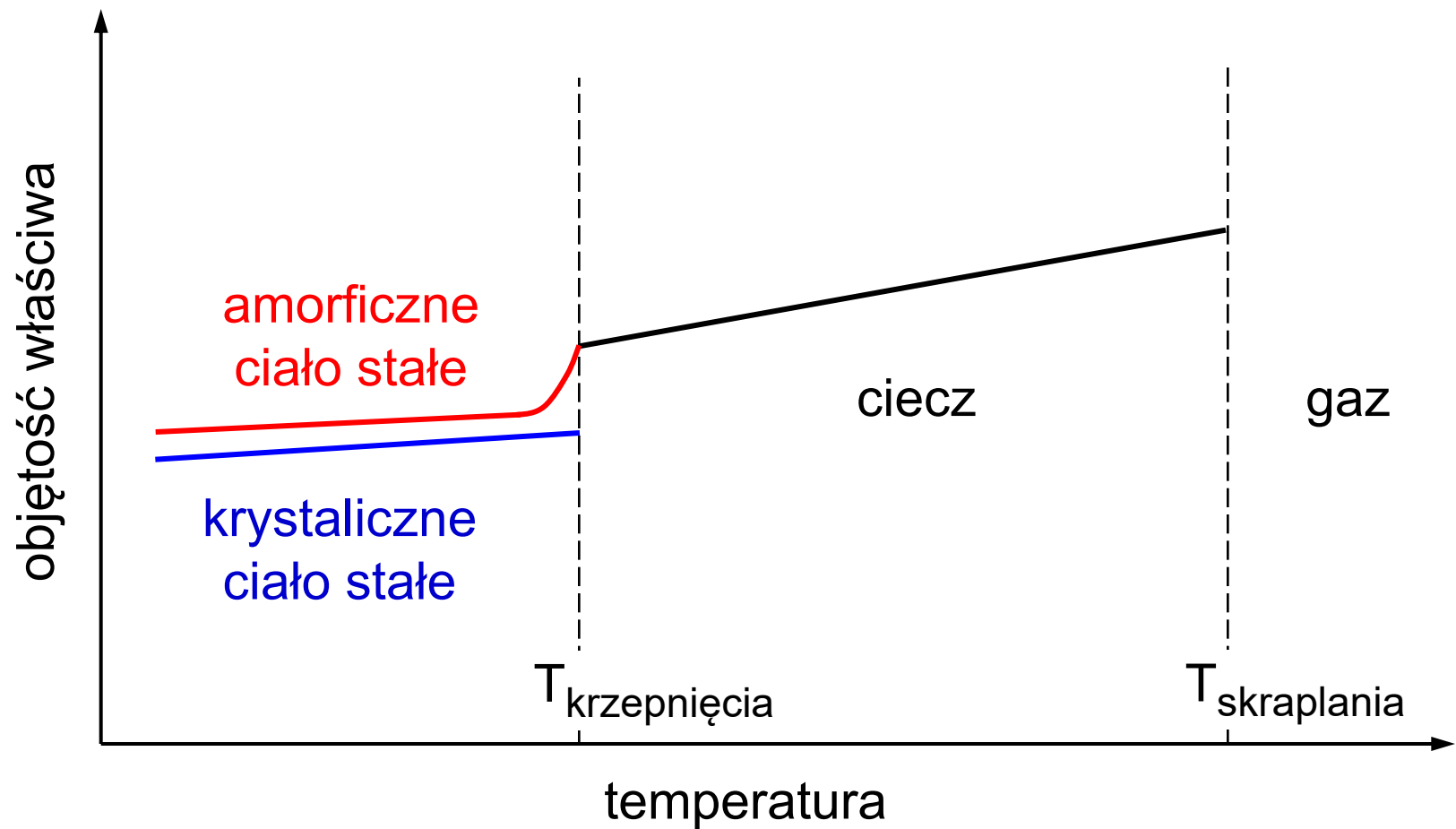
Można wyróżnić dwa procesy zestalania się cieczy przy obniżaniu ich temperatury.

Szybki wzrost lepkości cieczy

- przemiana fazowa w pewnym zakresie temperatury,
- uzyskanie własności ciała stałego (zachowanie objętości i kształtu),
- izotropia własności,
- ciała amorficzne (nieuporządkowana struktura).

Krystalizacja

- dokładnie określona temperatura krystalizacji,
- rola centrów krystalizacji (zarodników),
- wzrost kryształu kosztem fazy ciekłej,
- uporządkowanie cząstek w mikroprzestrzeniach,
- ciało polikrystaliczne – duża liczba mikro-monokryształów,
- anizotropia własności w ziarnach krystalicznych.



Poglądowy wykres przemian fazowych dla substancji krystalicznych i amorficznych w stanie stałym

Ciała stałe krystaliczne

Struktura krystaliczna

- regularny układ przestrzenny cząstek (atomów, jonów, cząsteczek)

Przestrzenna sieć krystalograficzna

- określa uporządkowane ułożenie cząstek

Komórka elementarna:

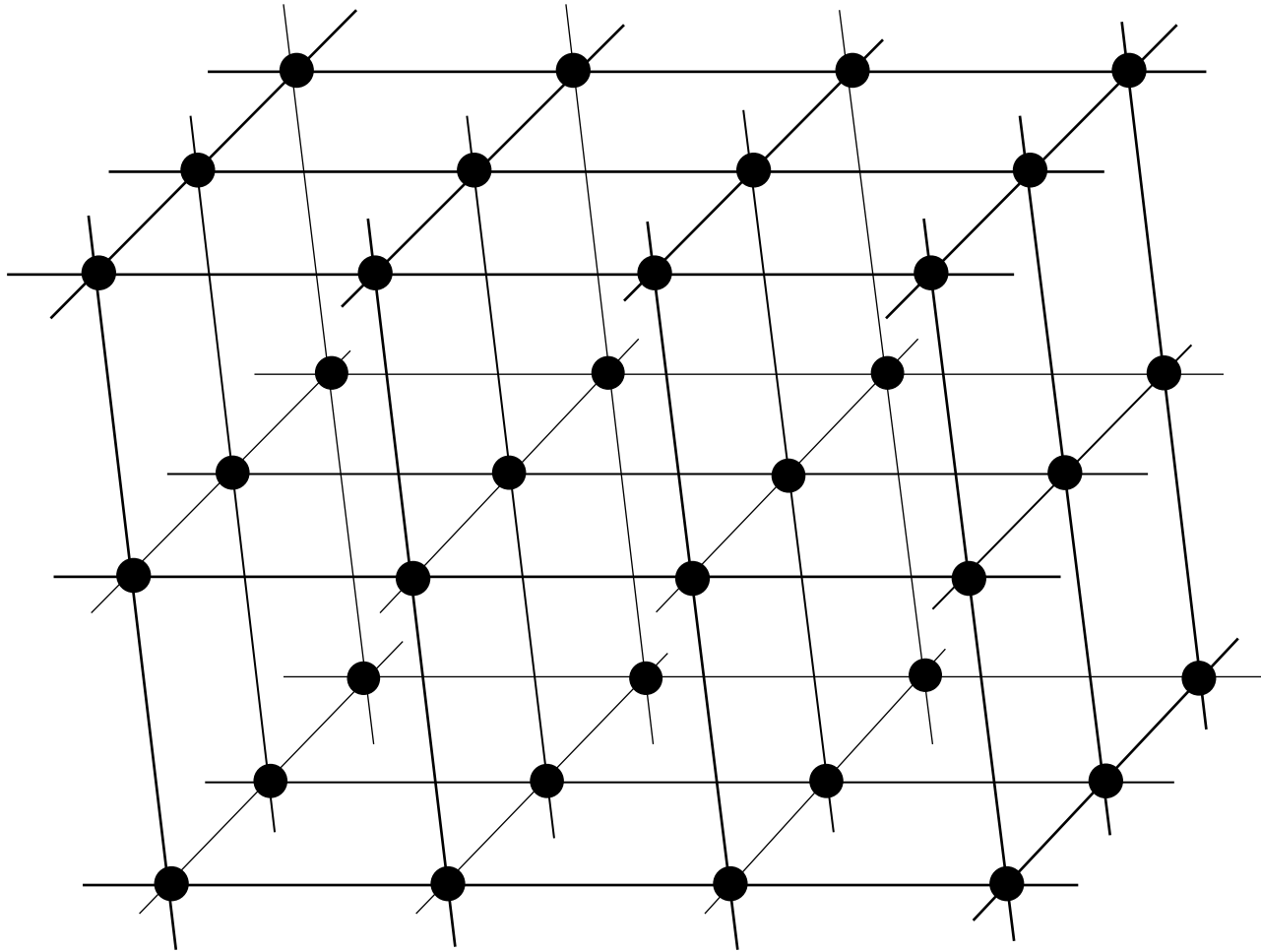
- najmniejszy powtarzający się element sieci krystalicznej

Monokryształy

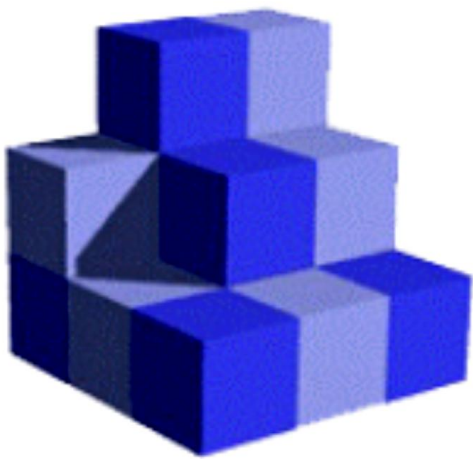
- idealne uporządkowanie dużej objętości (o wymiarach przestrzennych 1 mm – 1 m)

Polikryształy

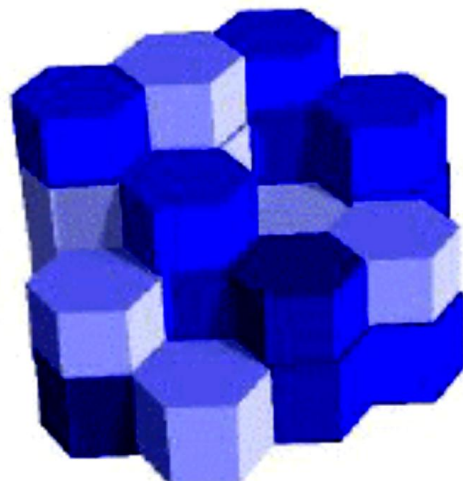
- ziarna krystaliczne $> 1 \mu\text{m}$ ($\sim 10^4$ atomów w jednej linii) i $< 1 \text{ mm}$



Fragment idealnej sieci krystalograficznej

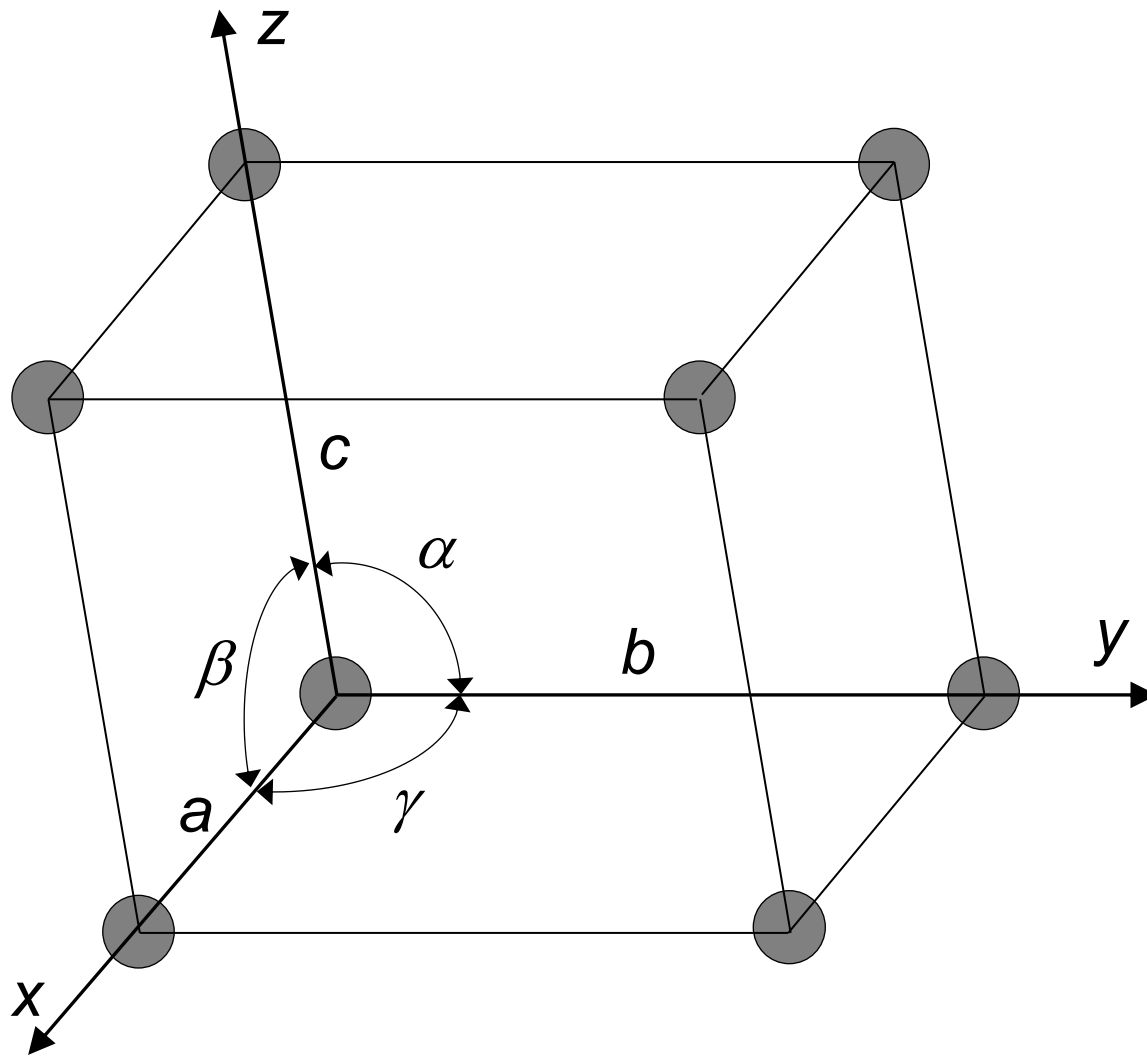


a)



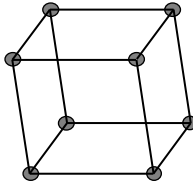
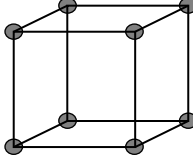
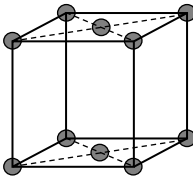
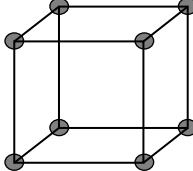
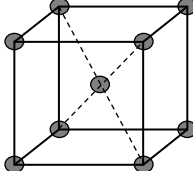
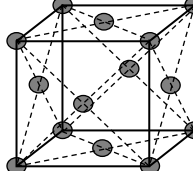
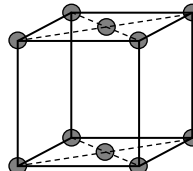
b)

Przykłady struktur krystalicznych zbudowanych z komórek elementarnych:
a) w postaci sześcianów,
b) w postaci graniastosłupów prawidłowych o podstawie sześciokąta foremnego.

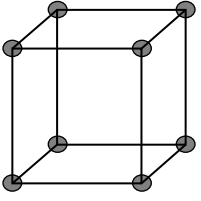
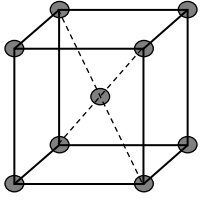
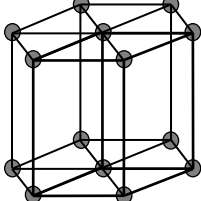
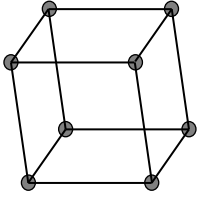
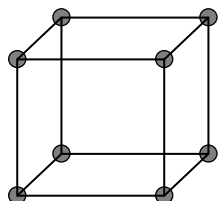
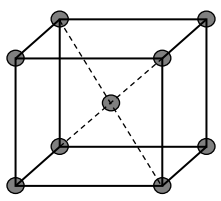
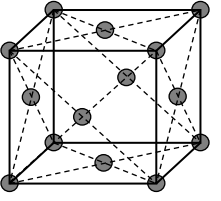


Parametry określające wielkość i kształt elementarnej komórki struktury krystalicznej

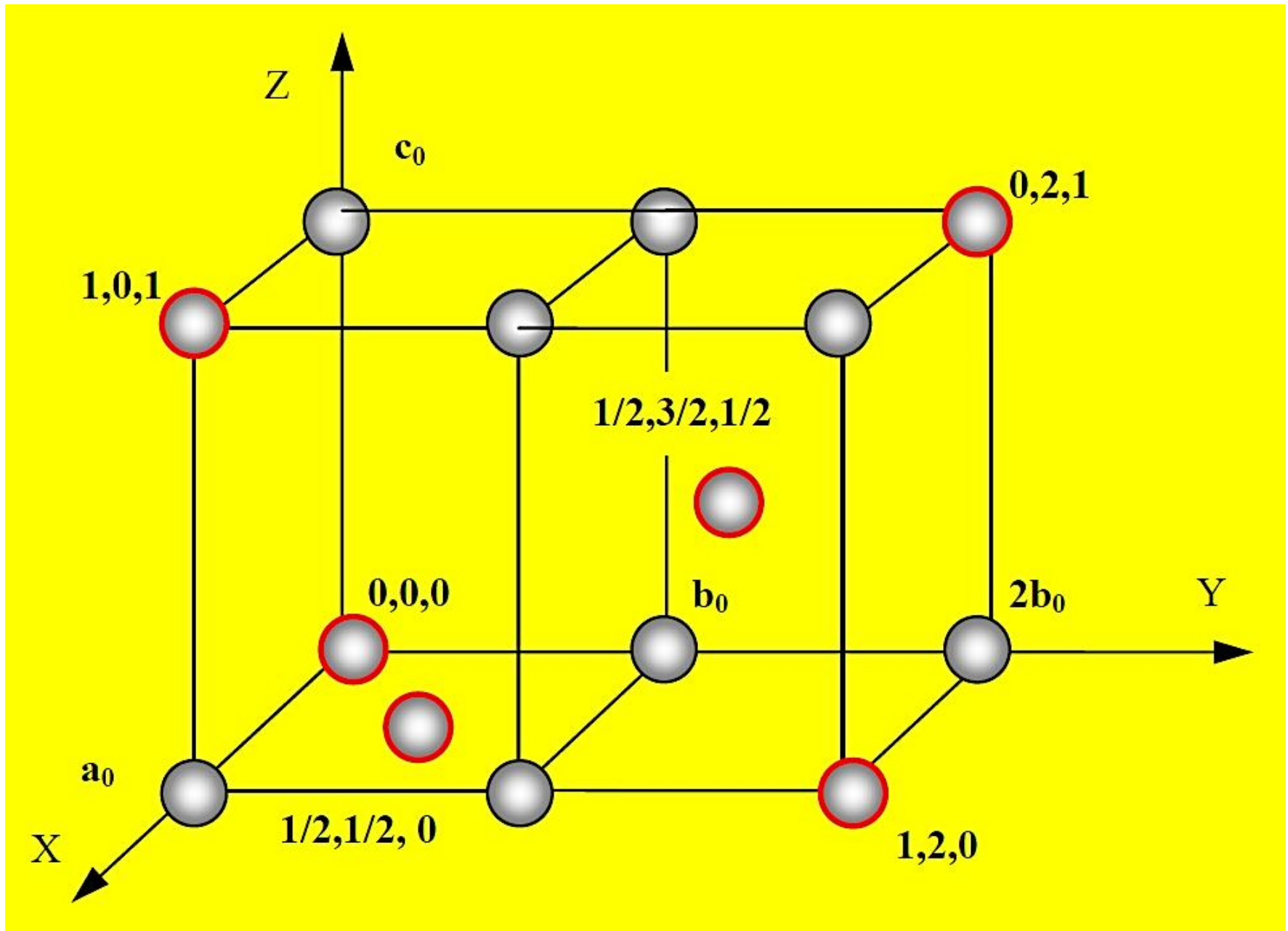
Układy krystalograficzne i sieci Bravais'go

Układ krystalograficzny	Rodzaj sieci Bravais'go	Komórka elementarna
Trójskośny $a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma$	P - prymitywna	P 
Jednoskośny $a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma$	P - prymitywna, C - centrowana na podstawach	P  C 
Rombowy $a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	P - prymitywna, I - przestrzennie centrowana, F - ściennie centrowana, C - centrowana na podstawach	P  I  F  C 

Układy krystalograficzne i sieci Bravais'go - ciąg dalszy

Tetragonalny $a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	P - prymitywna, I - przestrzennie centrowana	P  I 
Heksagonalny $a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ,$ $\gamma = 120^\circ$	P - prymitywna	P 
Romboedryczny $a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	P - prymitywna	P 
Regularny $a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	P - prymitywna, I - przestrzennie centrowana, F - ściennie centrowana	P  I  F 

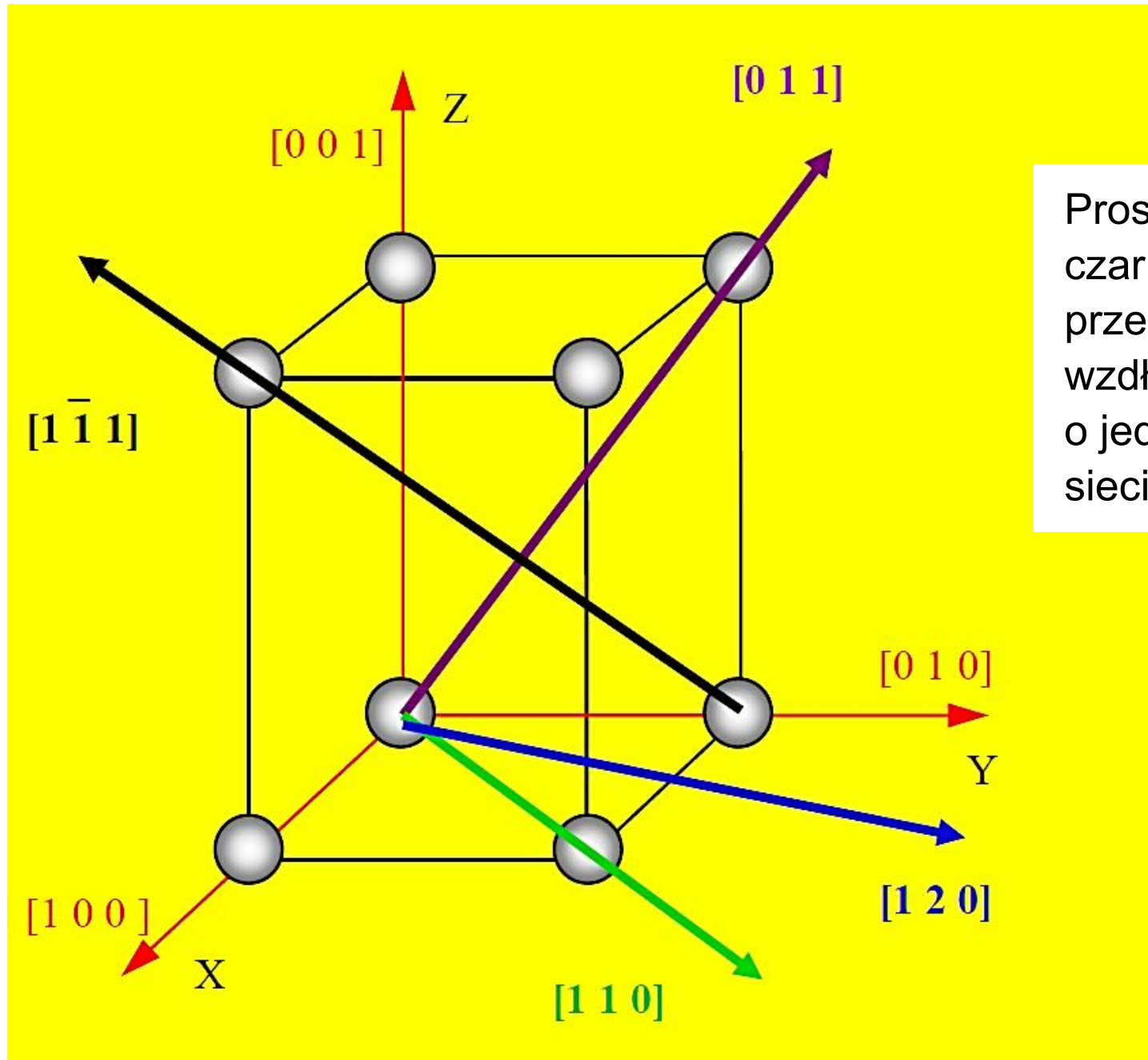
Współrzędne węzłów sieci krystalograficznej



Współrzędne wybranych węzłów sieci przestrzennej

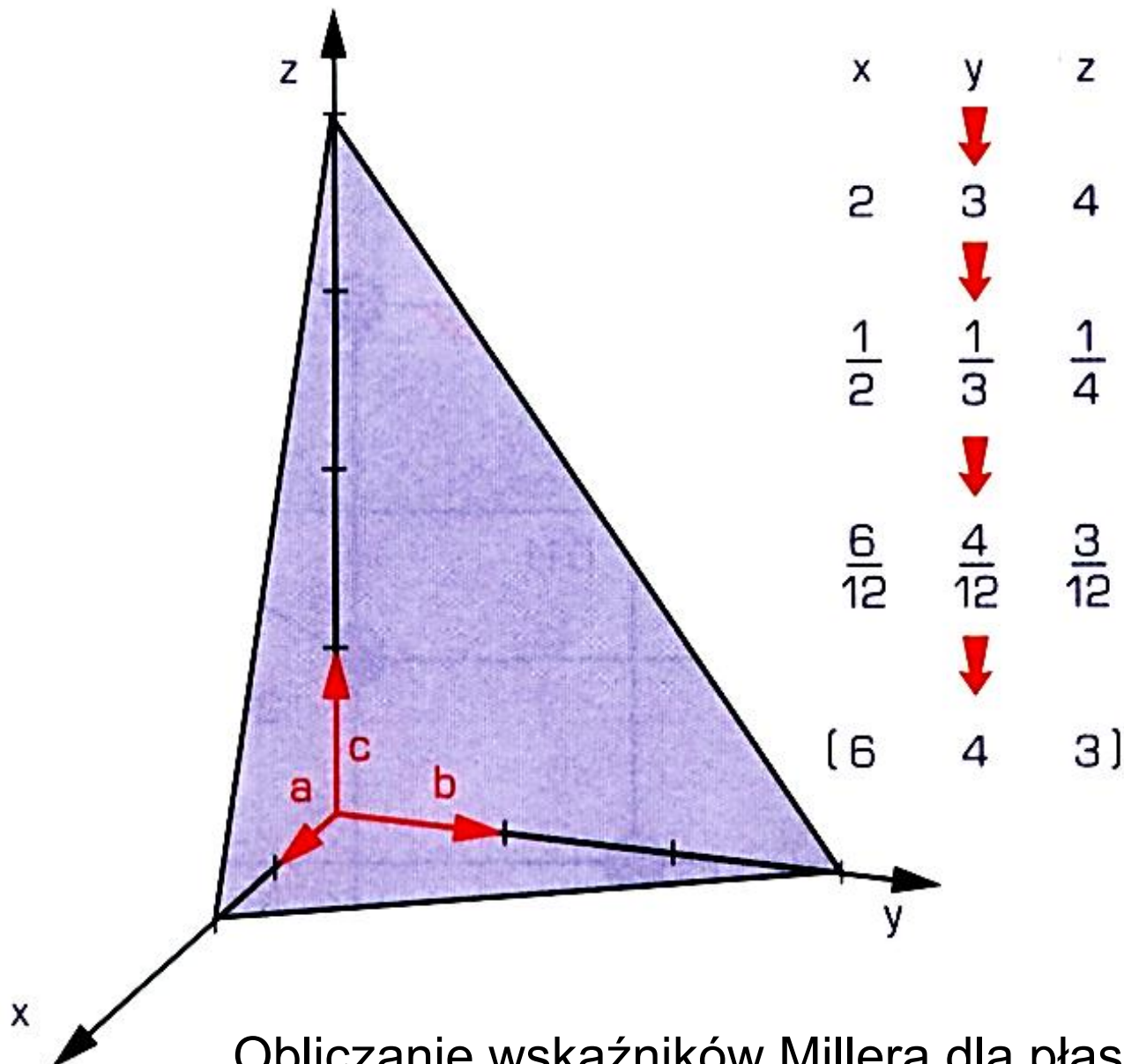
Wskaźniki Millera

Wskaźniki Millera dla prostych



Prostą koloru czarnego należy przesunąć w lewo wzdłuż osi Y o jedną stałą sieciową.

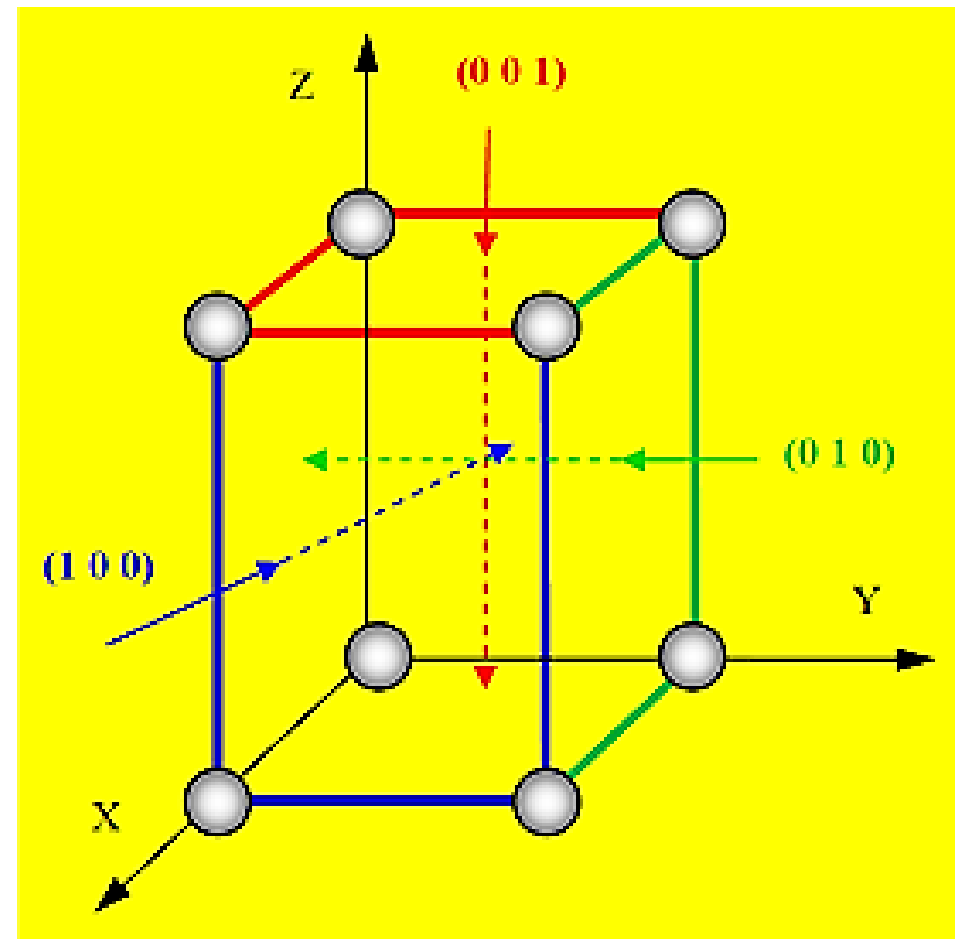
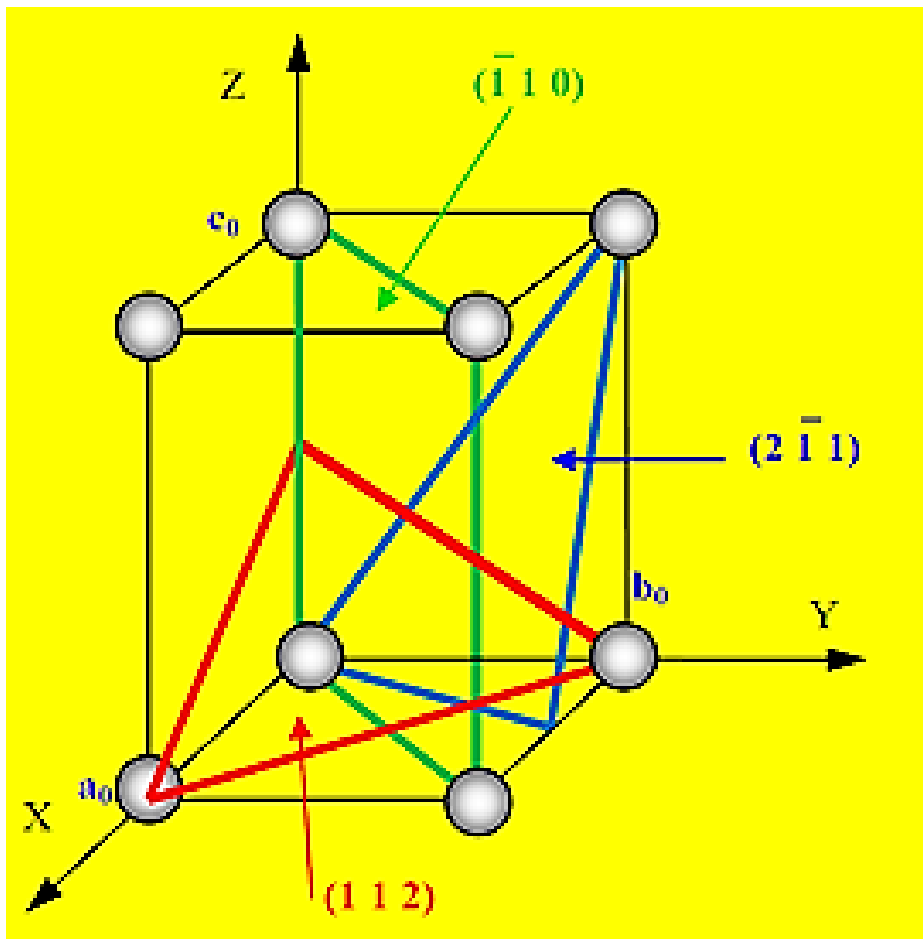
Wskaźniki Millera dla prostych definiuje się dla linii przechodzących przez początek układu współrzędnych.

Wskaźniki Millera dla płaszczyzn

Obliczanie wskaźników Millera dla płaszczyzn

Należy znaleźć odwrotności odległości przecięcia poszczególnych osi, licząc od początku układu współrzędnych przestrzennych i sprowadzić je do wspólnego mianownika. Liczniki otrzymanych ułamków będą szukanymi wskaźnikami Millera dla rozpatrywanej płaszczyzny.

Przykłady wskaźników Millera dla płaszczyzn



Płaszczyznę koloru niebieskiego należy przesunąć w lewo wzdłuż osi Y o jedną stałą sieciową.

Płaszczyznę koloru zielonego należy przesunąć w głąb wzdłuż osi X o jedną stałą sieciową.

Wskaźniki Millera definiuje się dla płaszczyzn nieprzechodzących przez początek układu współrzędnych.