

dr hab. inż. Stanisław Wyderka, prof. PRz
tel.: 0178651773, e-mail: swyderka@prz.edu.pl
Katedra Energoelektroniki i Elektroenergetyki
ul. W. Pola 2, budynek B, pokój B.106

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.

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:

- skład chemiczny (określone pierwiastki i związki chemiczne wchodzące w skład materiału),
- rodzaje i siły wiązań między poszczególnymi cząstkami (atomami, jonami, cząsteczkami),
- układ przestrzenny cząstek (określone struktury krystaliczne lub ich brak),
- 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

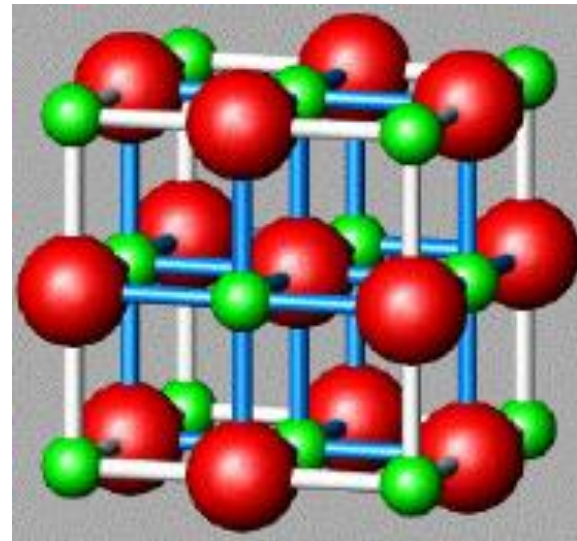
(jonowe, kowalencyjne, metaliczne oraz pośrednie)

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

Energia wiązania jest rzędu kilkaset kilodżuli na mol.

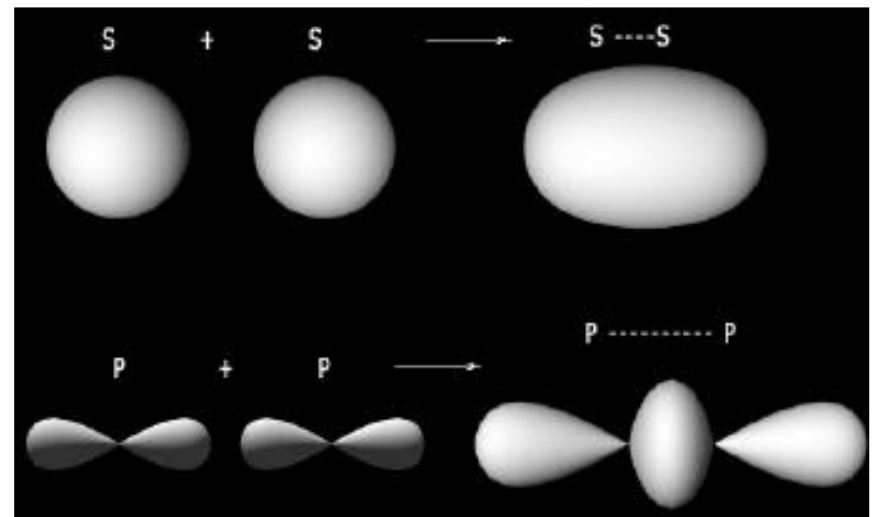
Wiązania jonowe

Polegają na wymianie elektronów walencyjnych między atomami różnych pierwiastków.



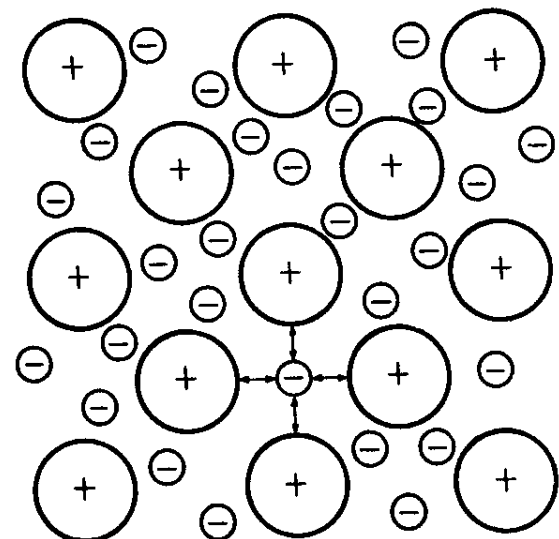
Wiązania kowalencyjne

Polegają na uwspólnianiu elektronów atomów tego samego pierwiastka.



Wiązania metaliczne

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



Układ okresowy pierwiastków

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

$$E = (PJ + PE)/130$$

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 przyłączenia 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

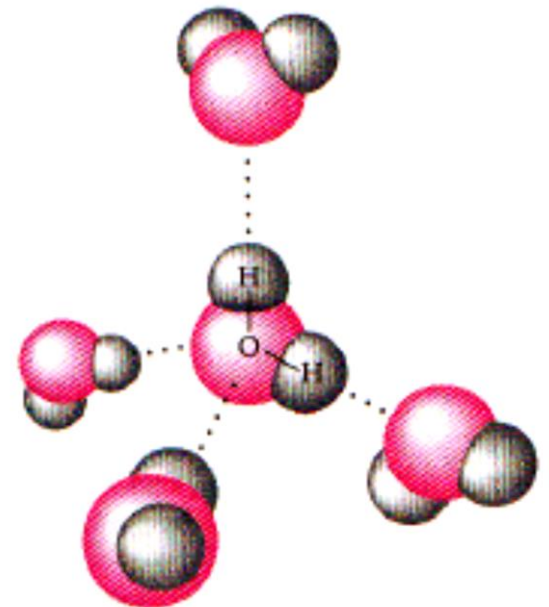
Polega na wymianie energii (przyciąganiu) między różnoimiennymi biegunami dipoli naturalnych lub indukowanych.

Wiązania wodorowe

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

Wiązania dyspersyjne

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



Budowa ciał stałych

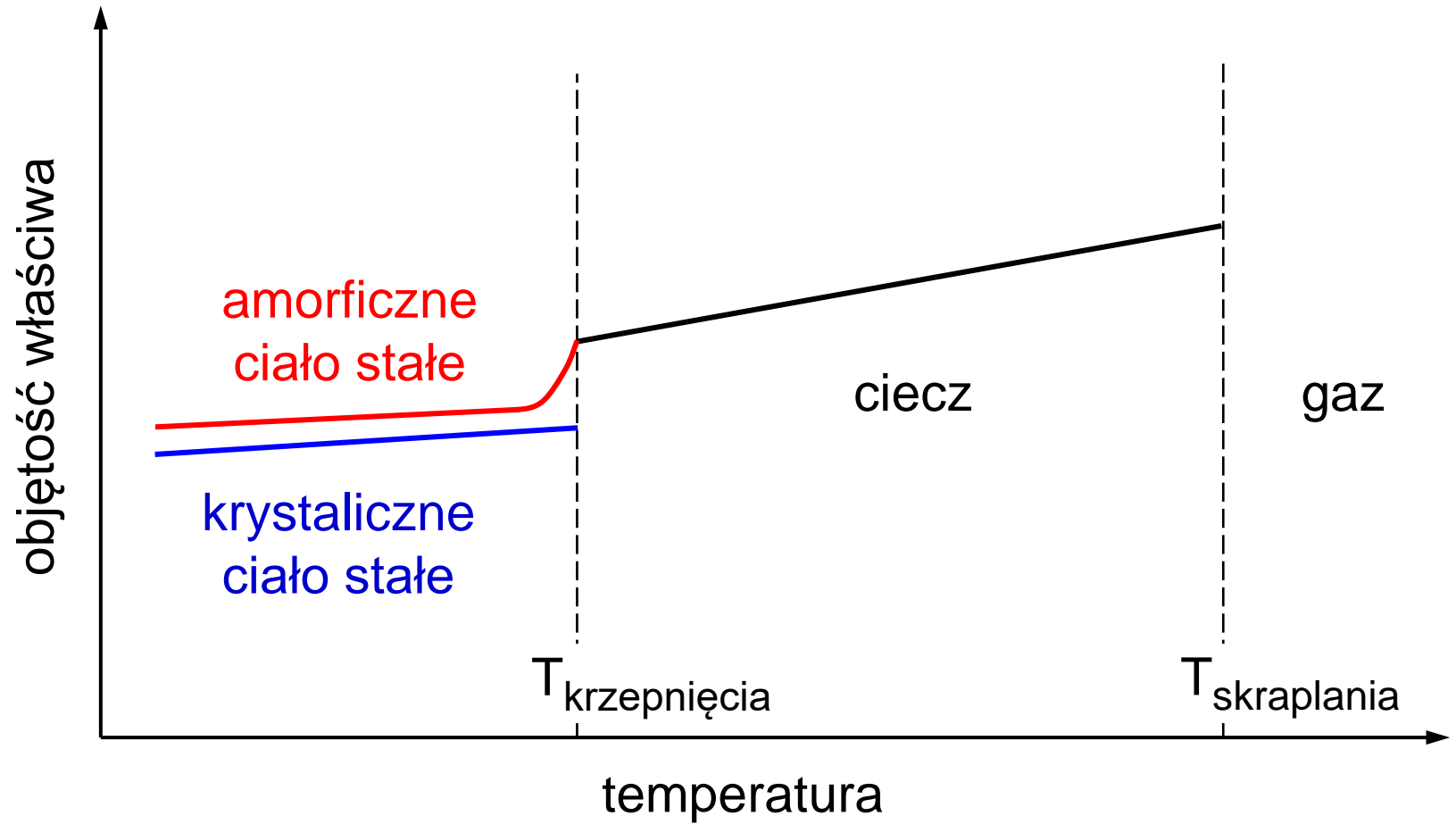
Można wyróżnić dwa procesy zestalania się cieczy przy obniżaniu ich temperatury.

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.

Szybki wzrost lepkości cieczy

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



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:

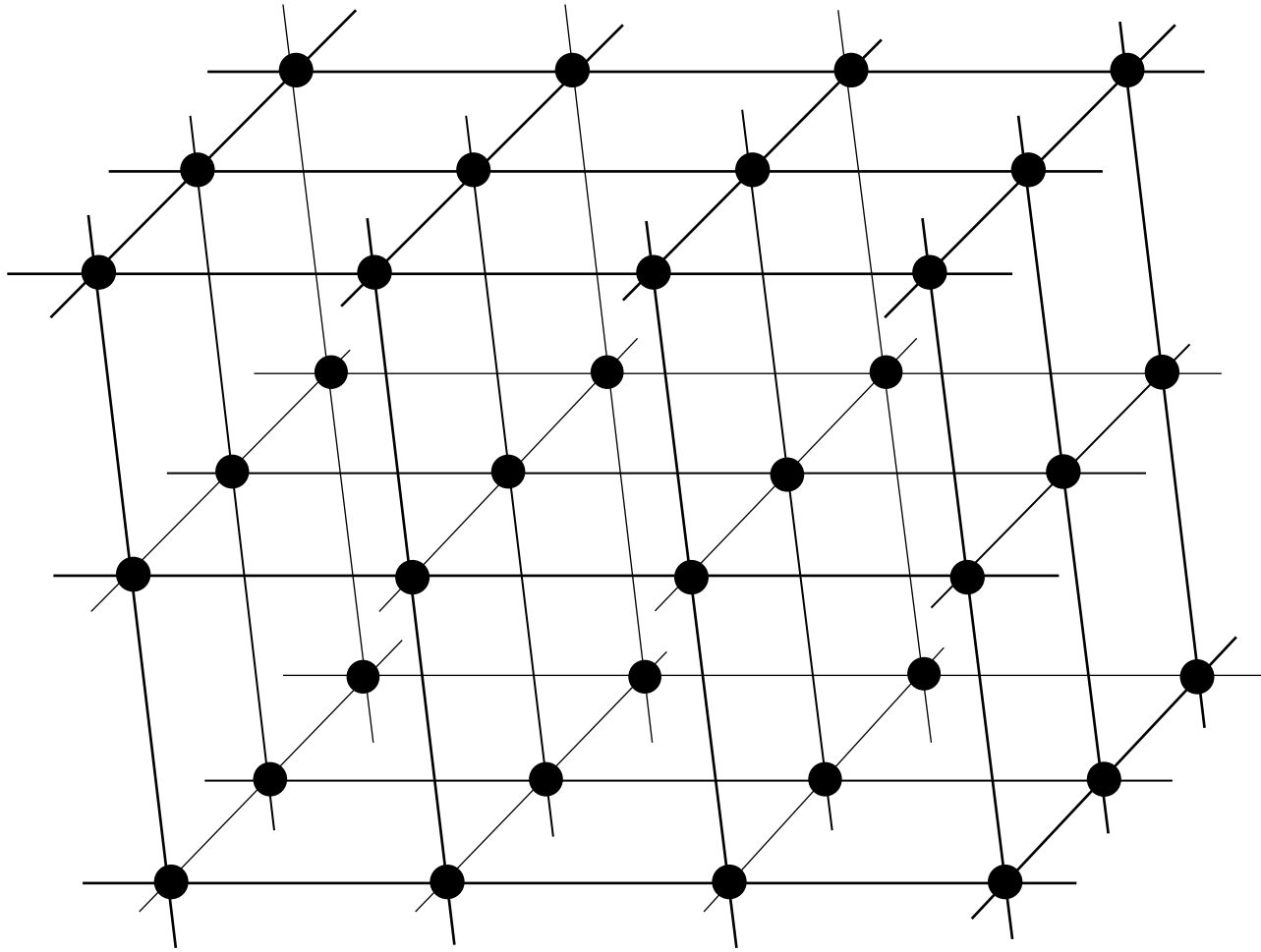
- najmniejszy powtarzający się element sieci krystalicznej

Monokryształy

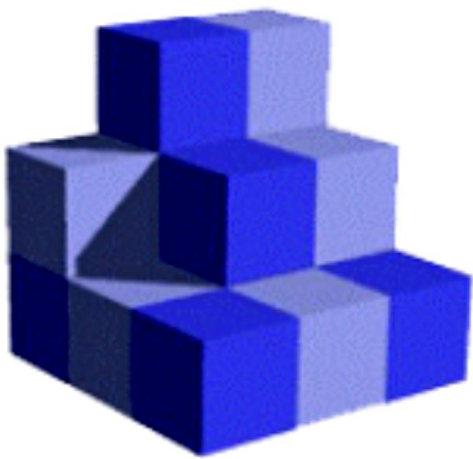
- idealne uporządkowanie dużej objętości (o wymiarach przestrzennych 1 mm – 1 m)

Polikryształy

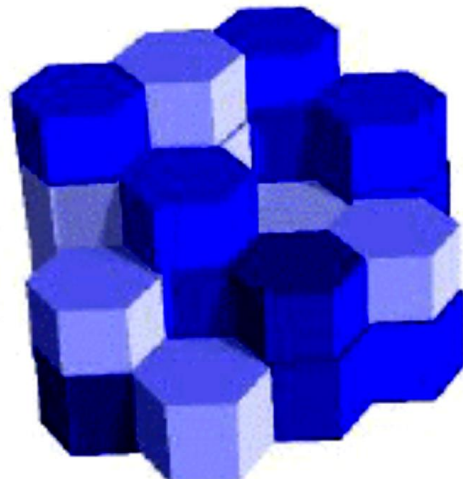
- ziarna krystaliczne $> 1 \mu\text{m}$ ($\sim 10^4$ atomów w jednej linii) i $< 1 \text{ mm}$



Fragment idealnej sieci
krystalograficznej

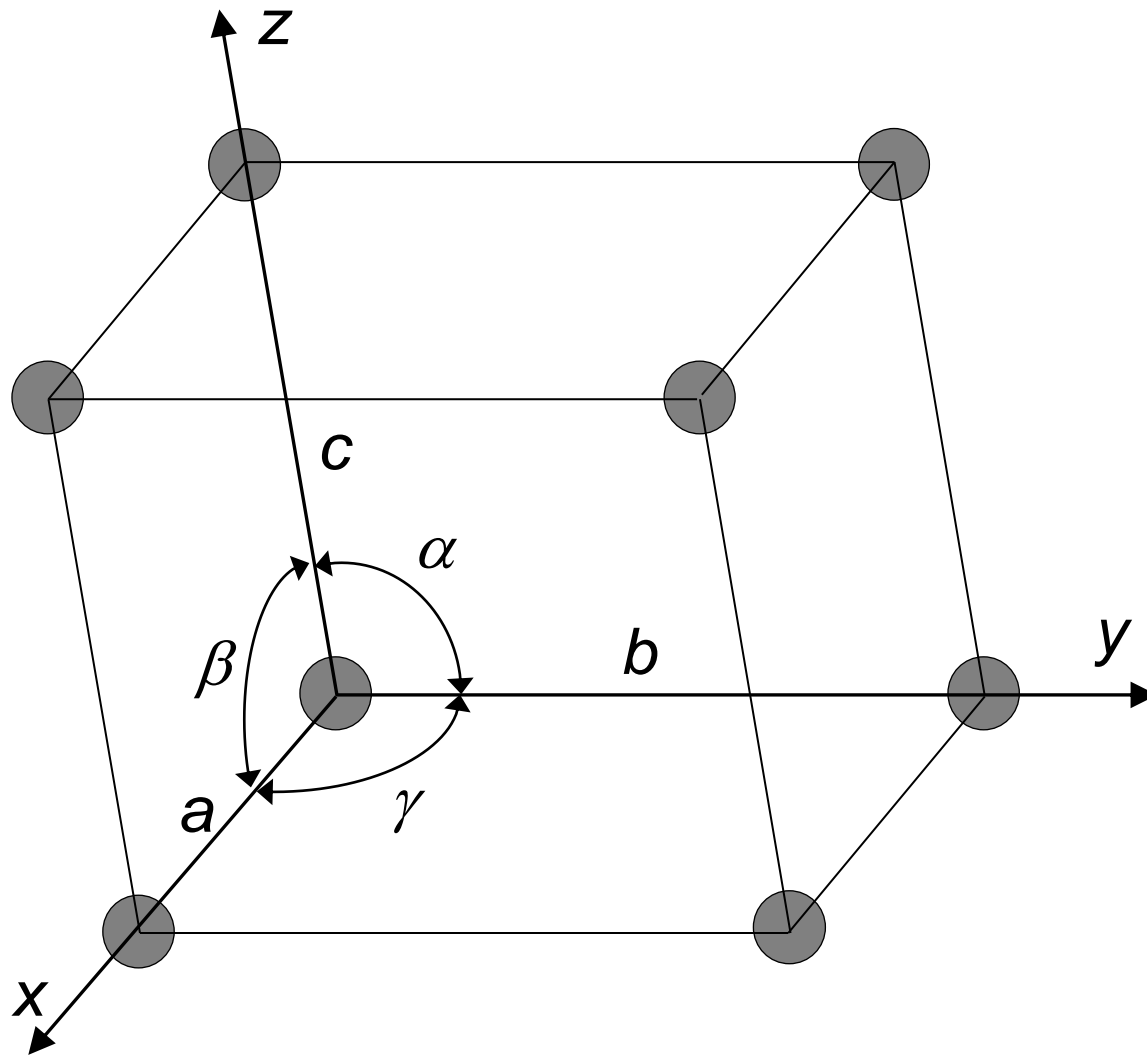


a)



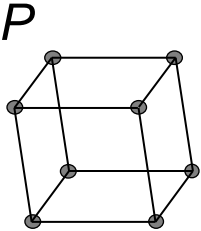
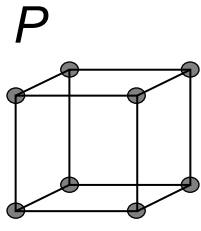
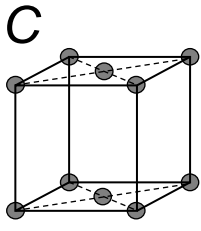
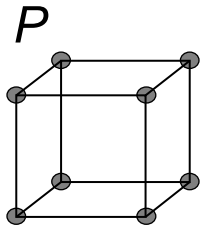
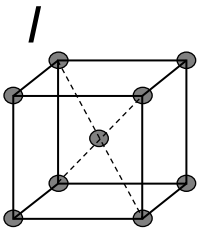
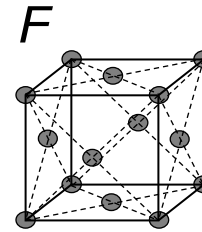
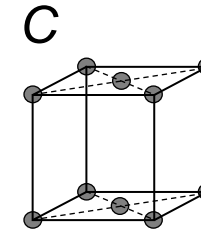
b)

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

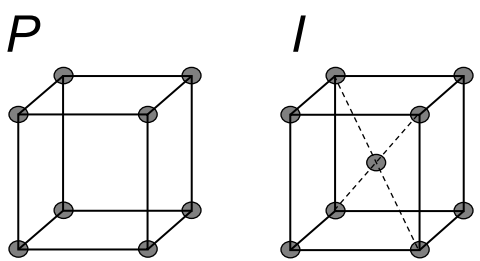
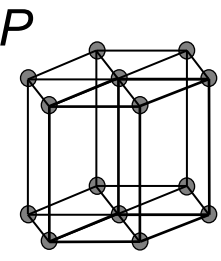
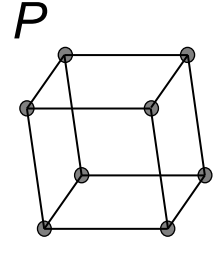
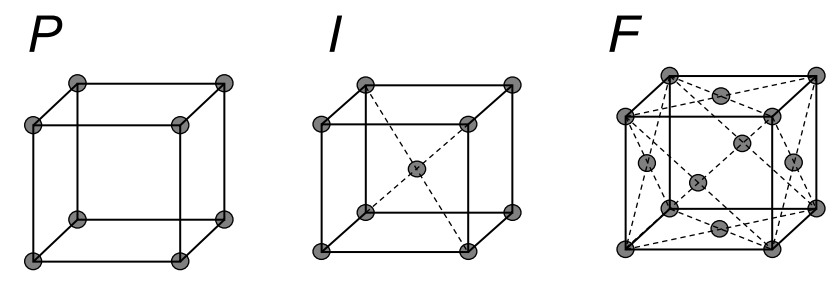


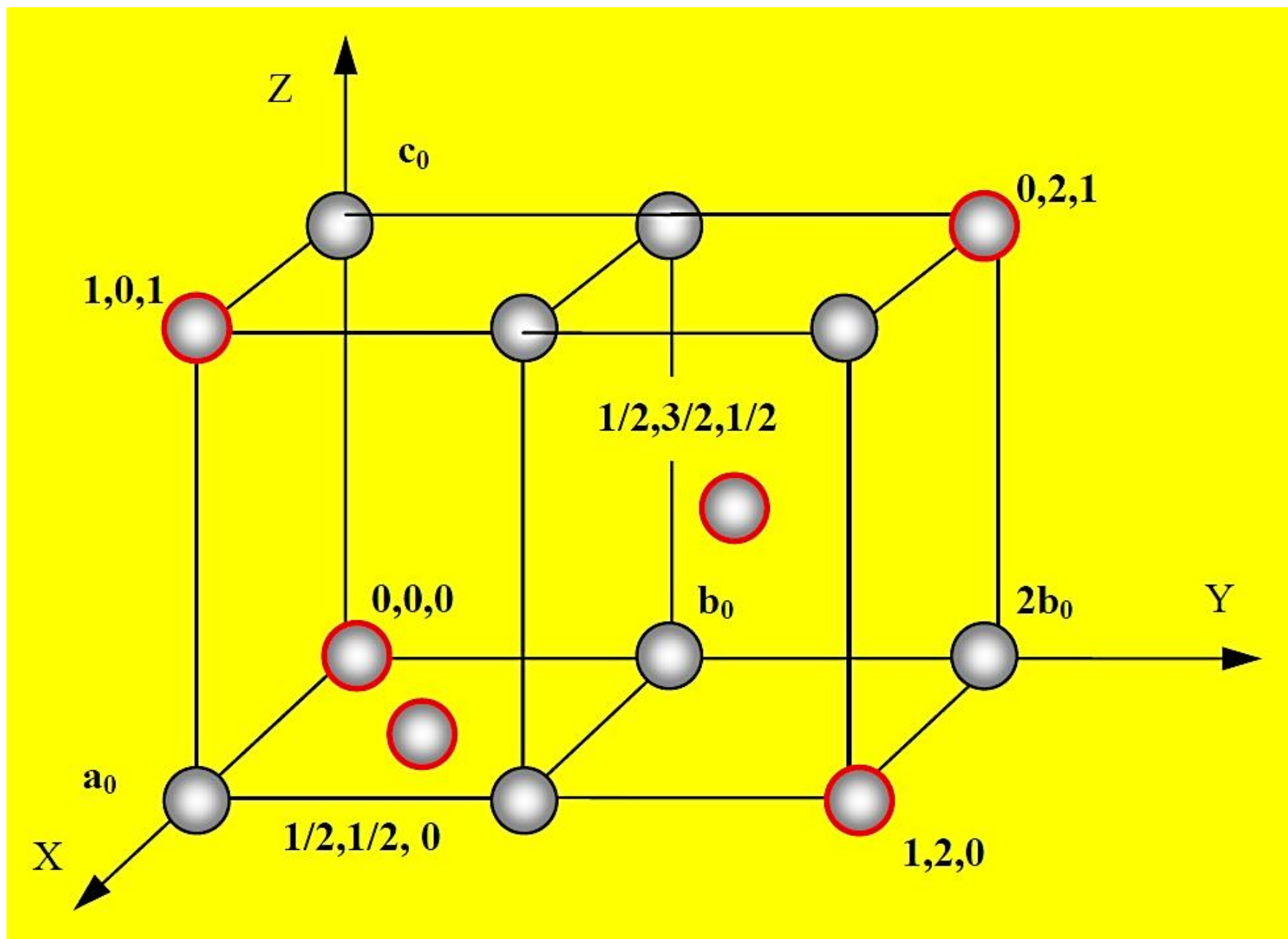
Parametry określające wielkość i kształt elementarnej komórki struktury krystalicznej

Układy krystalograficzne i sieci Bravais'go

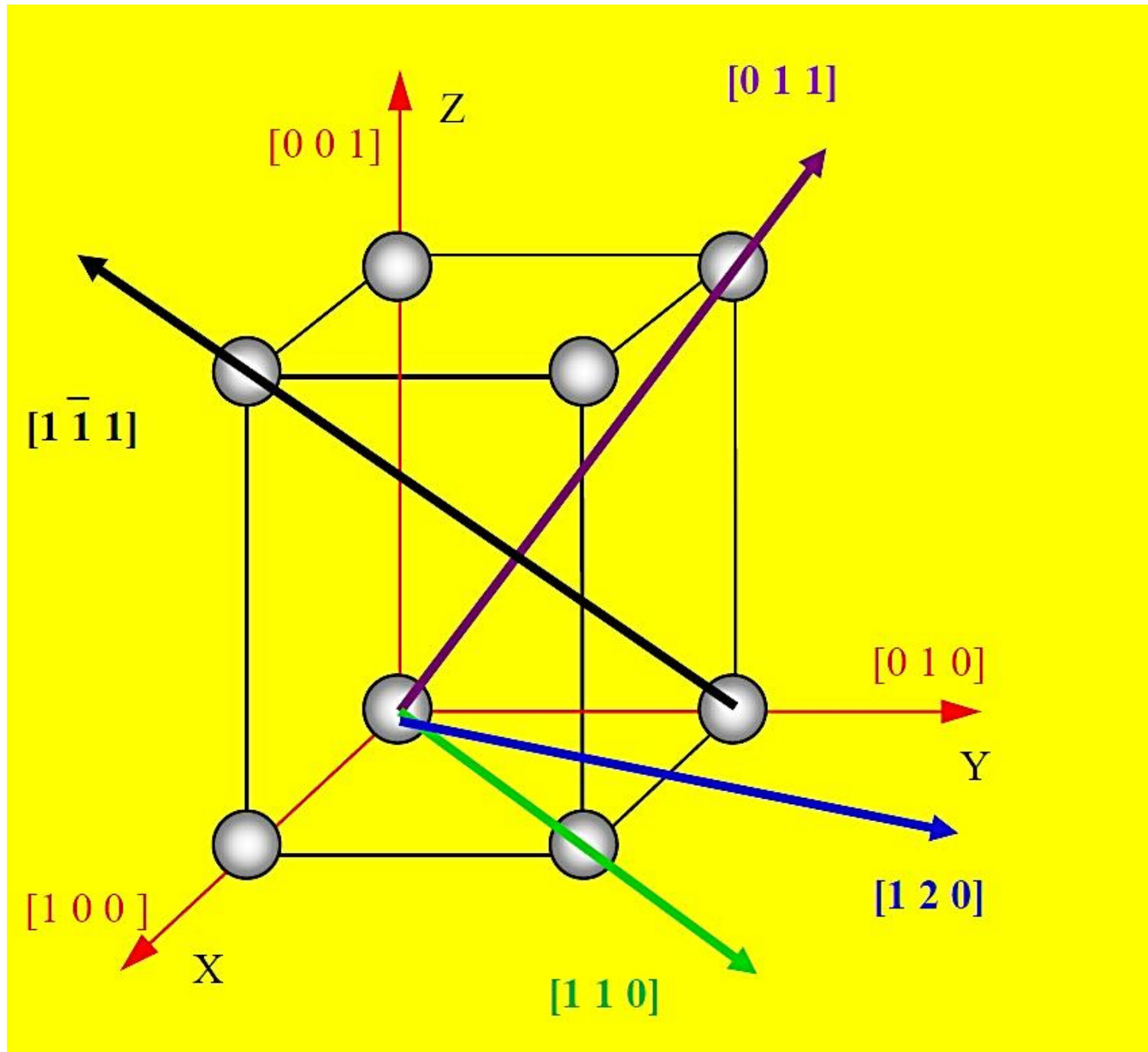
Układ krystalograficzny	Rodzaj sieci Bravais'go	Komórka elementarna			
Trójskośny $a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma$	<i>P</i> - prymitywna				
Jednoskośny $a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma$	<i>P</i> - prymitywna, <i>C</i> - centrowana na podstawach	 			
Rombowy $a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

Układy krystalograficzne i sieci Bravais'go - ciąg dalszy

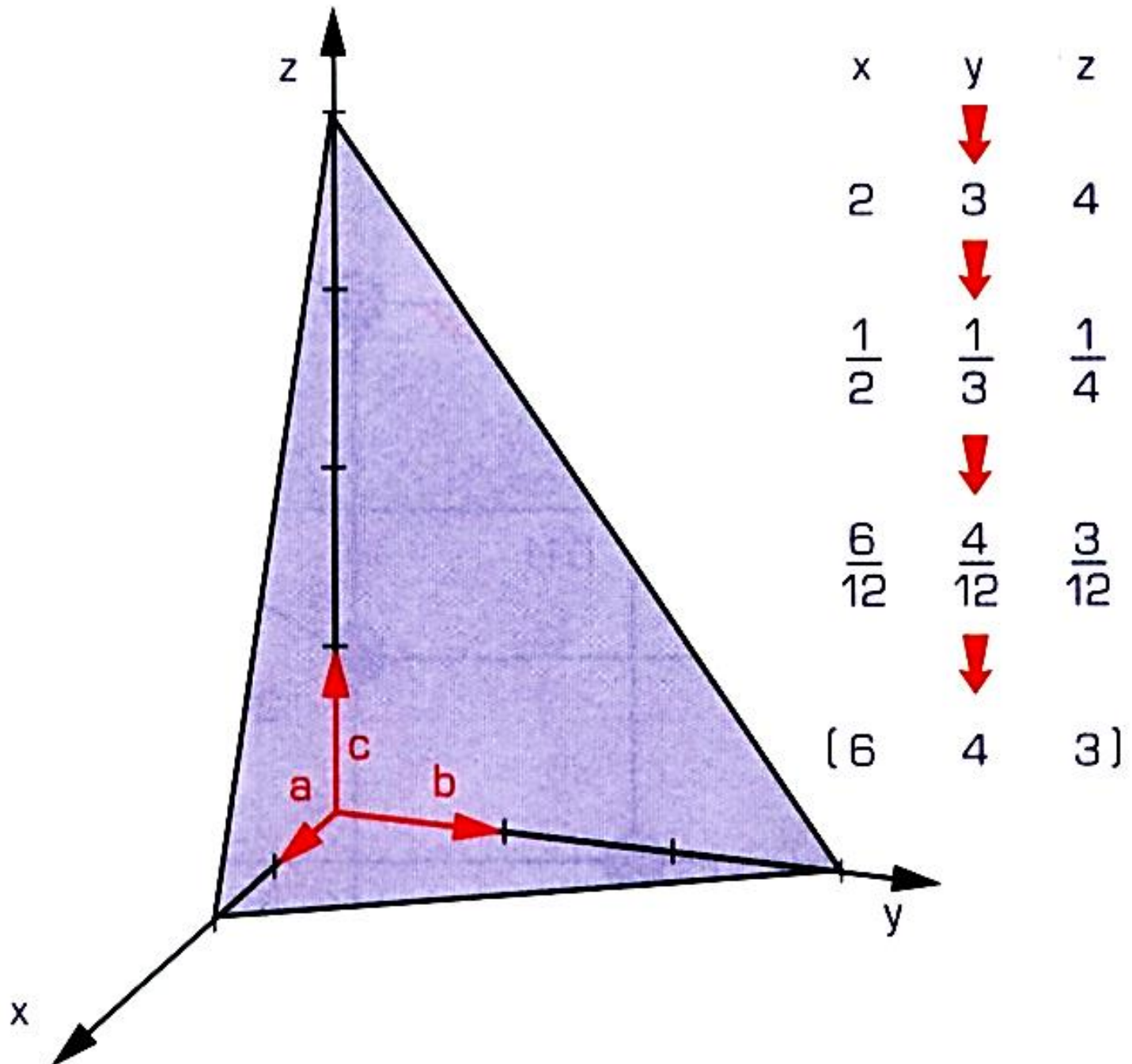
<p>Tetragonalny</p> $a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	<p><i>P</i> - prymitywna, <i>I</i> - przestrzennie centrowana</p>	<p><i>P</i> <i>I</i></p> 
<p>Heksagonalny</p> $a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ,$ $\gamma = 120^\circ$	<p><i>P</i> - prymitywna</p>	<p><i>P</i></p> 
<p>Romboedryczny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



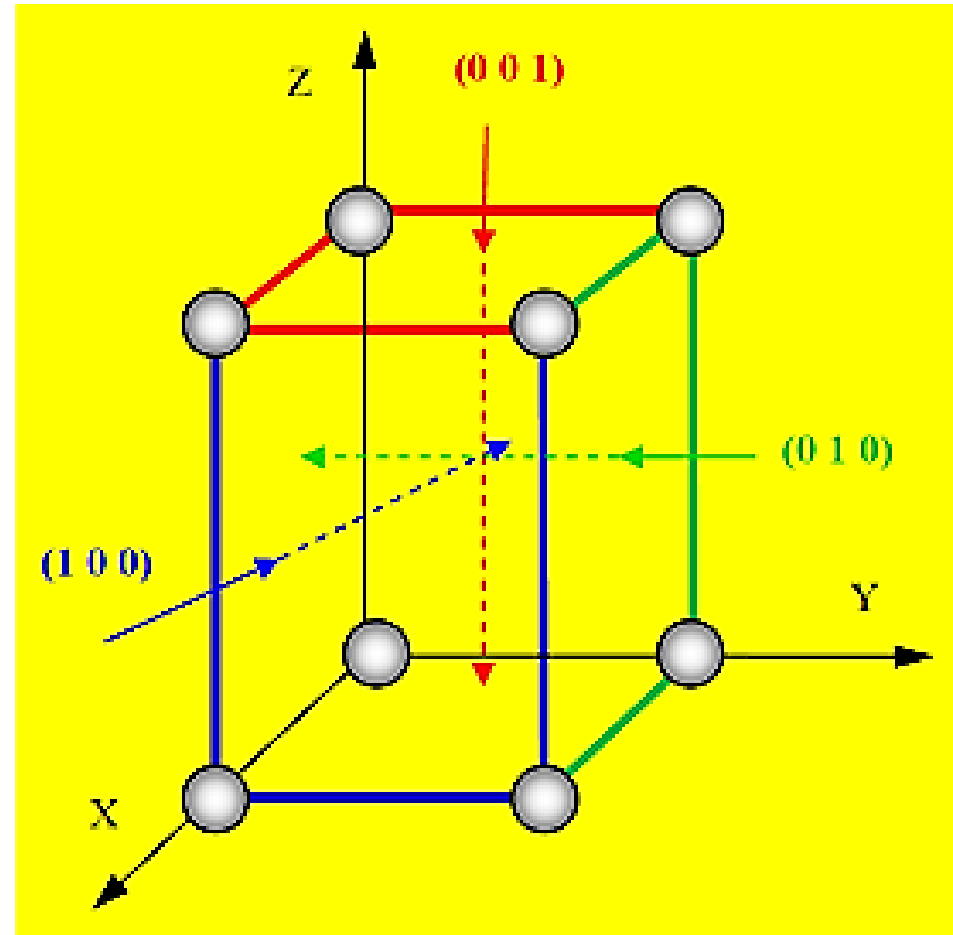
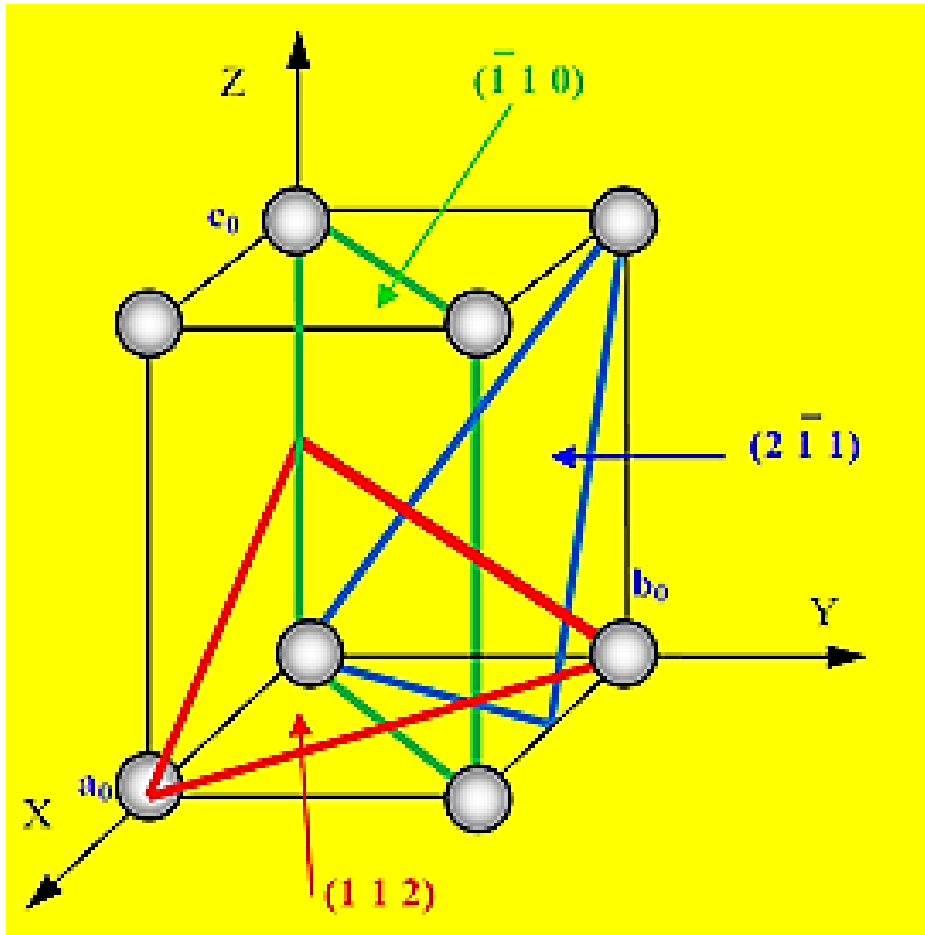
Współrzędne wybranych węzłów w sieci przestrzennej



Wskaźniki Millera dla prostych



Obliczanie wskaźników Millera dla płaszczyzn



Wskaźniki Millera dla płaszczyzn