

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 B106

Materiałoznawstwo elektryczne

Wykład:

Wprowadzenie. Budowa fizykochemiczna materiałów. Wiązania chemiczne. Struktury metali i stopów.

Materiały przewodzące, przewodnictwo elektryczne metali, zjawisko oporu elektrycznego. Materiały przewodowe, oporowe i stykowe. Kriorezystywność i nadprzewodnictwo, zastosowanie w elektrotechnice.

Materiały magnetyczne i ich własności. Materiały magnetycznie miękkie i magnetycznie twarde - metaliczne i niemetaliczne - zastosowanie.

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

Dielektryki i ich własności. Materiały izolacyjne gazowe, ciekłe i stałe - naturalne i syntetyczne.

Postęp technologiczny w zakresie materiałów elektrotechnicznych.

Sprawdzenie wiadomości z wykładu:

Kolokwium w połowie semestru. Egzamin.

LITERATURA

Literatura wykorzystywana podczas zajęć wykładowych

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

Literatura wykorzystywana podczas zajęć ćwiczeniowych/laboratoryjnych/innych

1. Knott M. Plewako J., Inżynieria materiałowa - laboratorium, OWPRz, Rzeszów, 2010
2. Celiński Z., Materiałoznawstwo elektrotechniczne, OWPW Warszawa, 2011
3. Plewako J. Wyderka S., Inżynieria materiałowa dla elektryków i elektroników, OWPRz, 2013
4. Wyderka S., Materiałoznawstwo elektryczne - materiały pomocnicze, OWPRz, 2011

Literatura do samodzielnego studiowania

1. Celiński Z., Materiałoznawstwo elektrotechniczne, OWPW Warszawa, 2018
2. Kostrubiec F., Podstawy fizyczne materiałoznawstwa dla elektryków, Wydawn. PŁ, 1999
3. Wyderka S., Materiałoznawstwo elektryczne, materiały pomocnicze, OWPRz, 2011

Literatura uzupełniająca

1. Grabarczyk J., Wstęp do fizyki ciała stałego, OWPW Warszawa, 2000
2. Blicharski M., Inżynieria materiałowa, Wydaw. Nauk. PWN, Warszawa, 2017
3. Nitkiewicz Z., Iwaszko J., Kucharska B., Podstawy krystalografii geometrycznej, Wydawn. PCz, Częstochowa, 2008

Różnorodność materiałów elektrotechnicznych

cztery 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).

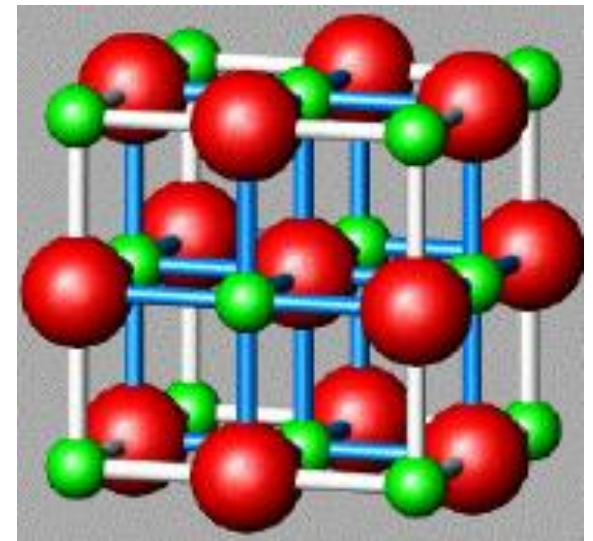
Wiązania międzyatomowe i międzycząsteczkowe

spójność:

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

Wiązania międzyatomowe

- energia wiązania: kilkaset kJ/mol
- dążność do uzyskania kompletu elektronów w ostatniej powłoce

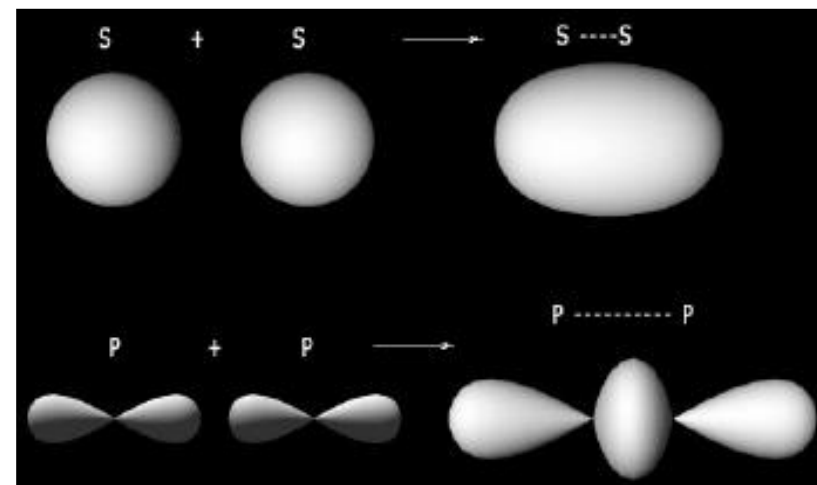


wiązania jonowe:

- atomy różnych pierwiastków
- wymiana elektronów walencyjnych

wiązania kowalencyjne:

- atomy tego samego pierwiastka
- uwspólnienie elektronów



wiązania pośrednie jonowo-kowalencyjne:

elektroujemność wg Paulinga

dążność atomu w cząsteczce do przyciągania elektronów

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

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

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

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

Różnica $E < 0,4$ - wiązanie kowalencyjne

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

Różnica $E > 1,7$ - wiązanie jonowe

Potencjał jonizacji PJ w kJ/mol

	Pierwszy	Drugi	Trzeci	Czwarty	Piąty	Szósty	Siódmy
Na	496	4560					
Mg	738	1450	7730				
Al	577	1816	2744	11600			
Si	786	1577	3228	4354	16100		
P	1060	1890	2905	4950	6270	21200	
S	999	2260	3375	4565	6950	8490	11000
Cl	1256	2295	3850	5160	6560	9360	11000
Ar	1520	2665	3945	5770	7230	8780	12000

Powinowactwo elektronowe PE w kJ/mol

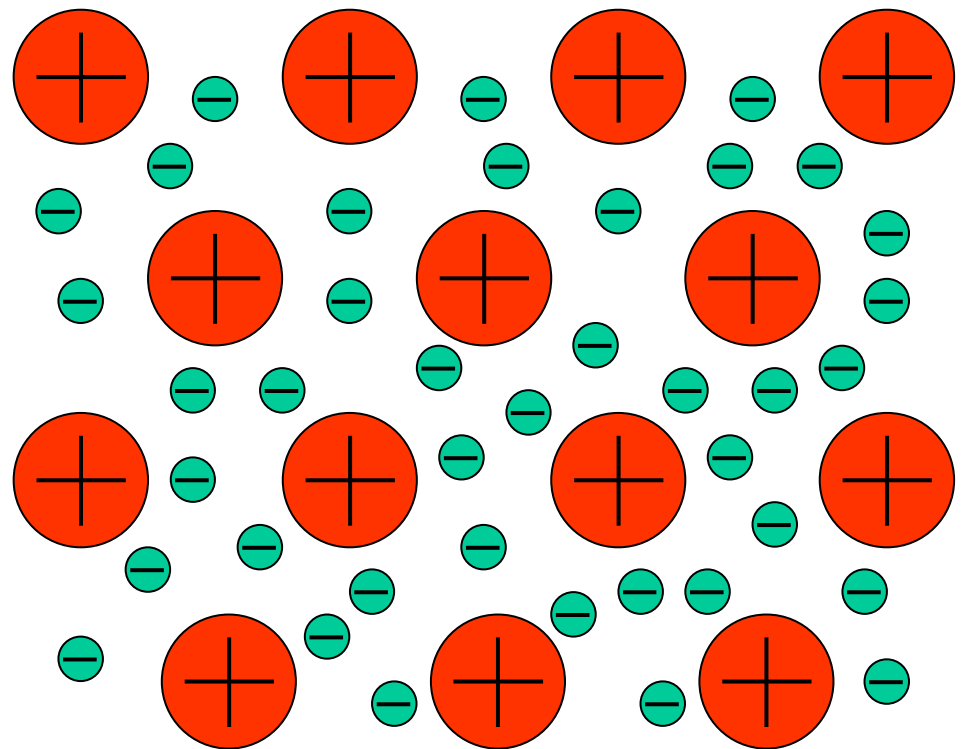
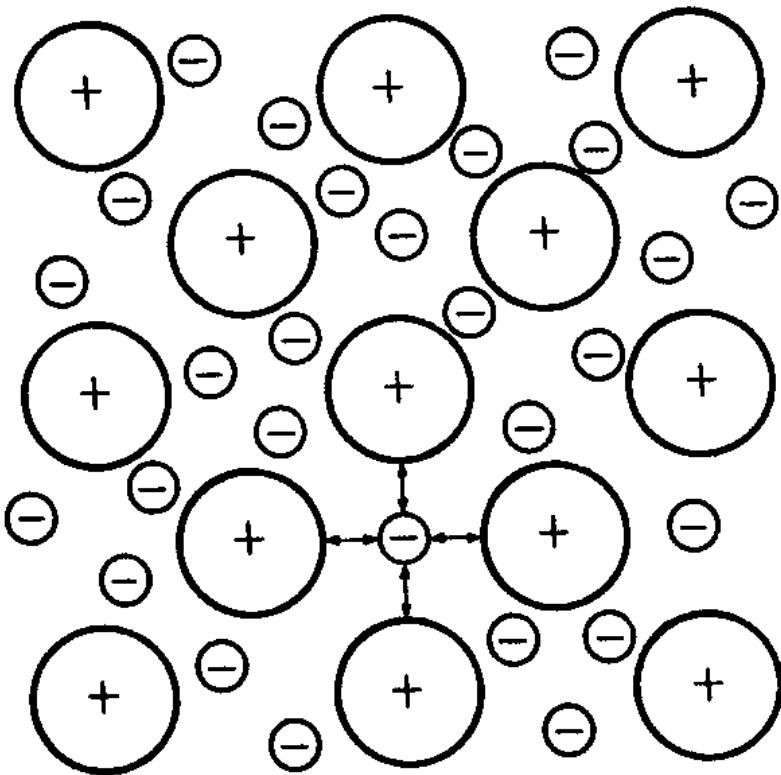
Na	53
Mg	< 0
Al	43
Si	134
P	72
S	200
Cl	349
Ar	< 0

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		

wiązania metaliczne:

- metale i połączenia międzymetaliczne
- liczba elektronów walencyjnych < 4



Układ okresowy pierwiastków

masa atomowa																		VIII A 18														
IA 1											IIIA 13	IVA 14	VA 15	VIA 16	VIIA 17																	
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	4,00 2 He hel																
6,94 3 Li lit	9,01 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 11 Na sód	24,30 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	69,72 31 Ga gal	72,61 32 Ge german	74,92 33 As arsen	78,96 34 Se selen	79,90 35 Br brom	83,80 36 Kr krypton															
39,10 19 K potas	40,08 20 Ca wapń	44,96 21 Sc skand	47,87 22 Ti tytan	50,95 23 V wanad	51,99 24 Cr chrom	54,94 25 Mn mangan	55,84 26 Fe żelazo	58,93 27 Co kobalt	58,69 28 Ni nikiel	63,55 29 Cu miedź	65,39 30 Zn cynk	114,82 49 In ind	118,71 50 Sn cyna	121,76 51 Sb antymon	127,60 52 Te tellur	126,90 53 I jod	131,29 54 Xe ksenon															
85,47 37 Rb rubid	77,62 38 Sr stront	88,90 39 Y itr	91,22 40 Zr cyrkon	92,90 41 Nb niob	95,94 42 Mo molibden	(97,90) 43 Tc technet	101,07 44 Ru ruten	102,90 45 Rh rod	106,42 46 Pd pallad	107,87 47 Ag srebro	112,41 48 Cd kadm	204,38 81 Tl tal	207,20 82 Pb ołów	208,98 83 Bi bismut	(208,98) 84 Po polon	(209,99) 85 At astat	(222,02) 86 Rn radon															
132,90 55 Cs cez	137,33 56 Ba bar	138,91 57 La lantan	178,49 72 Hf hafn	180,95 73 Ta tantal	183,84 74 W wolfram	186,21 75 Re ren	190,23 76 Os osm	192,22 77 Ir iryd	195,08 78 Pt platyna	196,97 79 Au złoto	200,59 80 Hg rtęć																					
(223,02) 87 Fr frans	(226,02) 88 Ra rad	(227,03) 89 Ac aktyn	(261,11) 104 Rf rutherford	(263,11) 105 Db dubn	(265,12) 106 Sg seaborg	(264,10) 107 Bh bohr	(269,10) 108 Hs has	(268,10) 109 Mt meitner	(271,10) 110 Uun ununillium	(272,10) 111 Uuu unununium	(277,10) 112 Uub ununbium																					
			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 międzycząsteczkowe

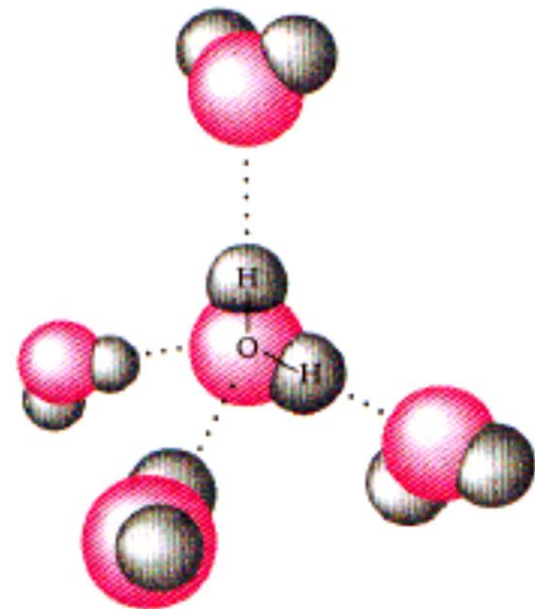
- energia wiązania: od ułamków do kilkudziesięciu kJ/mol
- występują między cząsteczkami, w których atomy są już związane wiązaniami międzyatomowymi

wiązania wodorowe:

- atom wodoru – prawie nie osłonięte dodatnie jądro
- oscylując zakłóca rozkład ładunku sąsiednich atomów elektroujemnych

wiązania dipol-dipol:

- dipole naturalne
- dipole indukowane
- wiązania dyspersyjne



Budowa ciał stałych

dwa procesy zestalania się ciecży

krystalizacja

temperatura krystalizacji

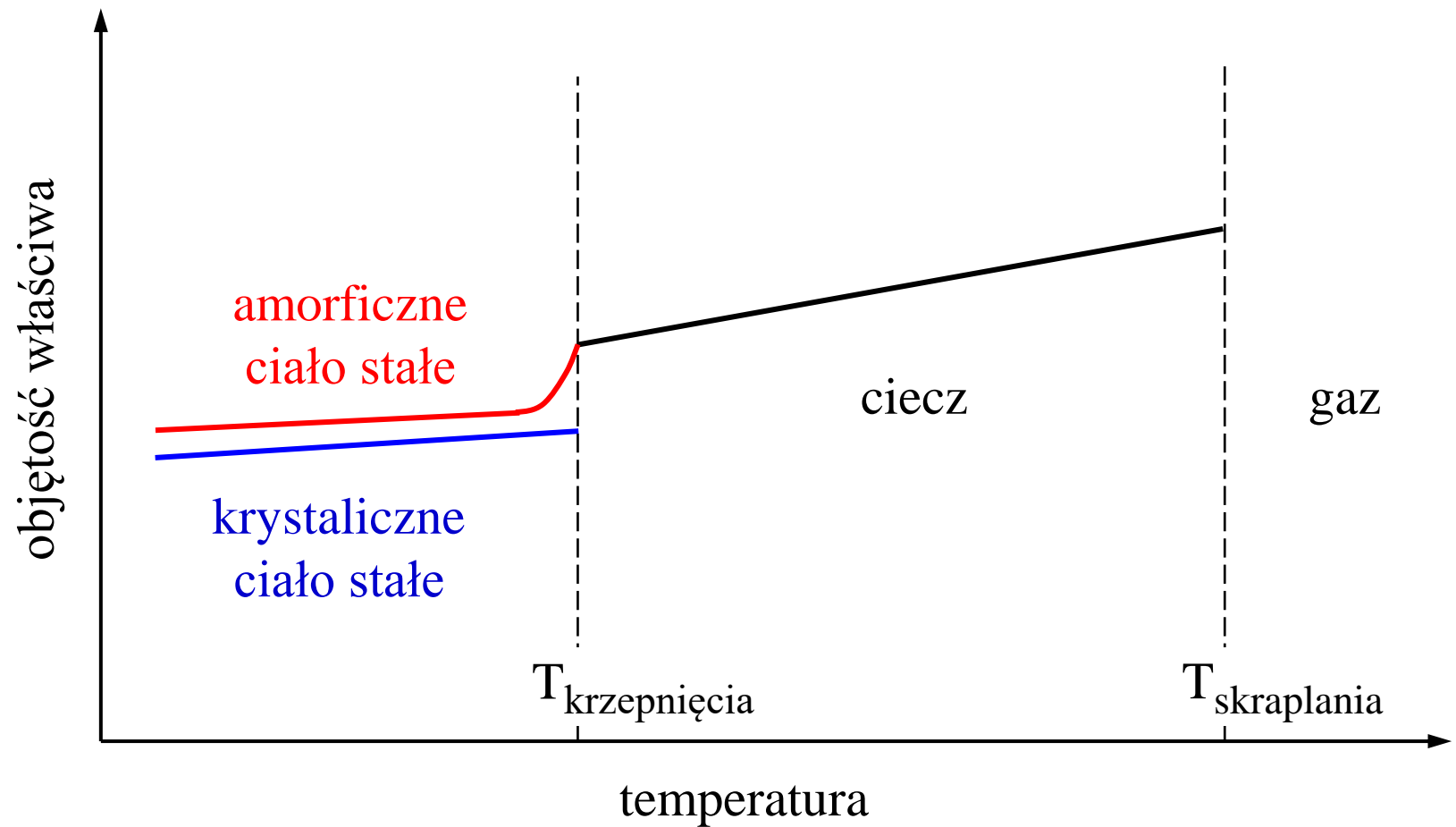
centra krystalizacji (zarodniki)

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

szybki wzrost lepkości cieczy

ciała typu wosk, asfalt itp.

w pewnym zakresie temperatury
uzyskanie własności ciała stałego
ciała izotropowe

ciała szkłopodobne

wykazują tendencję do krystalizacji przy ochłodzeniu
proces krystalizacji wolniejszy od wzrostu lepkości
utrudnienie uporządkowania cząstek
struktura bardziej zbliżona do amorficznej
dalsza bardzo powolna krystalizacja

Ciała stałe krystaliczne

struktura krystaliczna:

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

przestrzenna sieć krystalograficzna:

- określa uporządkowane ułożenie cząstek

komórka elementarna:

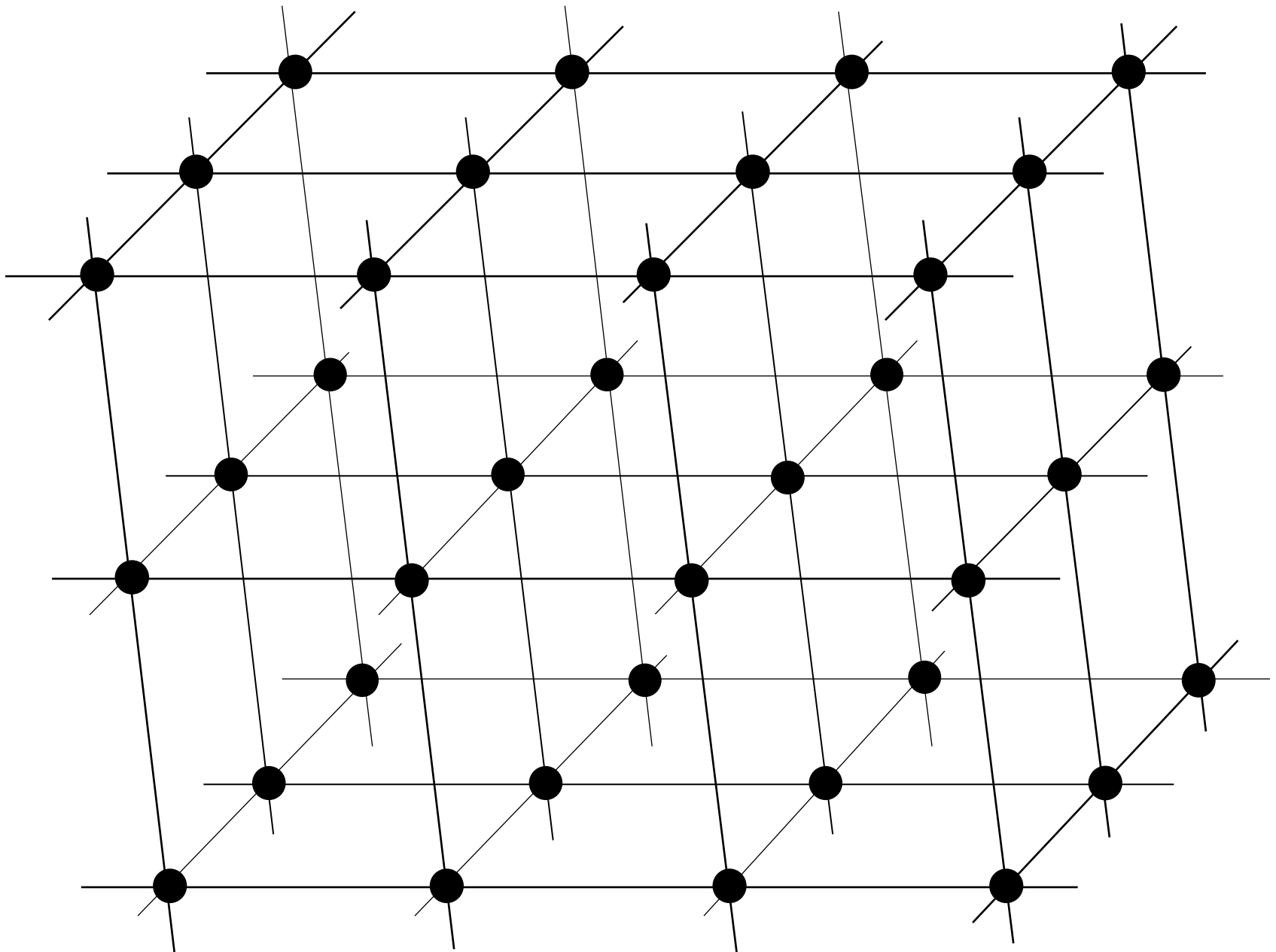
- najmniejszy powtarzający się element sieci krystalicznej

monokryształy

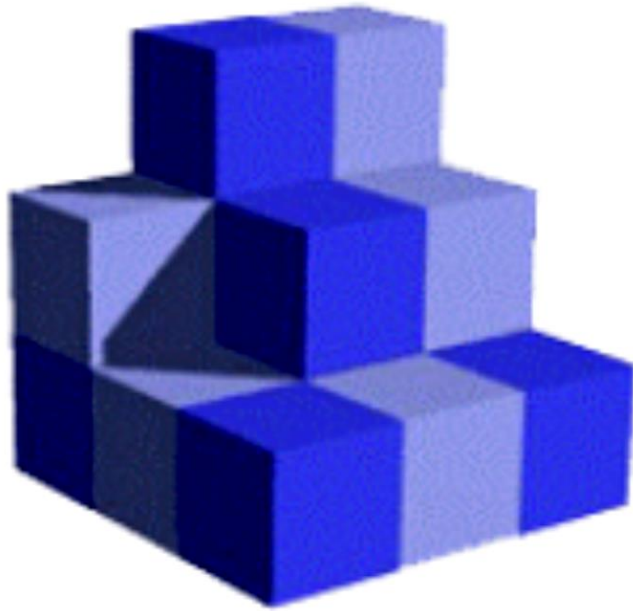
- idealne uporządkowanie dużej objętości (1 mm – 1 m)

polikryształy

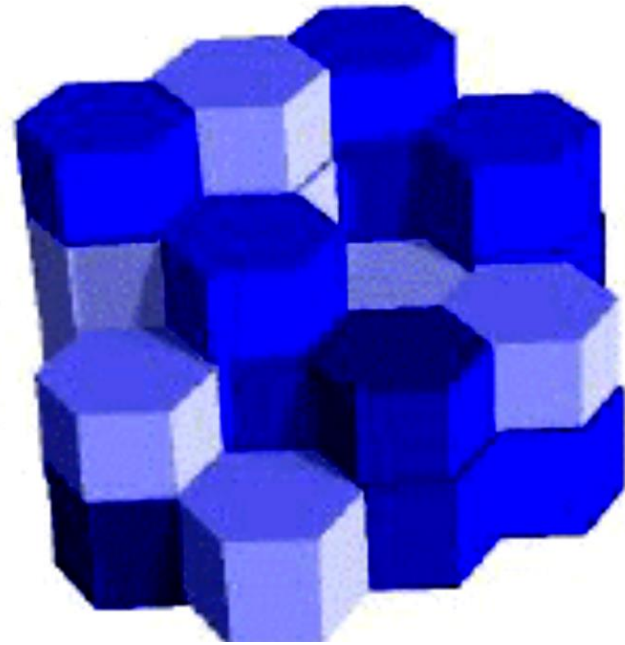
- ziarna krystaliczne $> 1 \mu\text{m}$ ($\sim 10^4$ atomów w jednej linii)



Fragment idealnej sieci krystalograficznej



a)

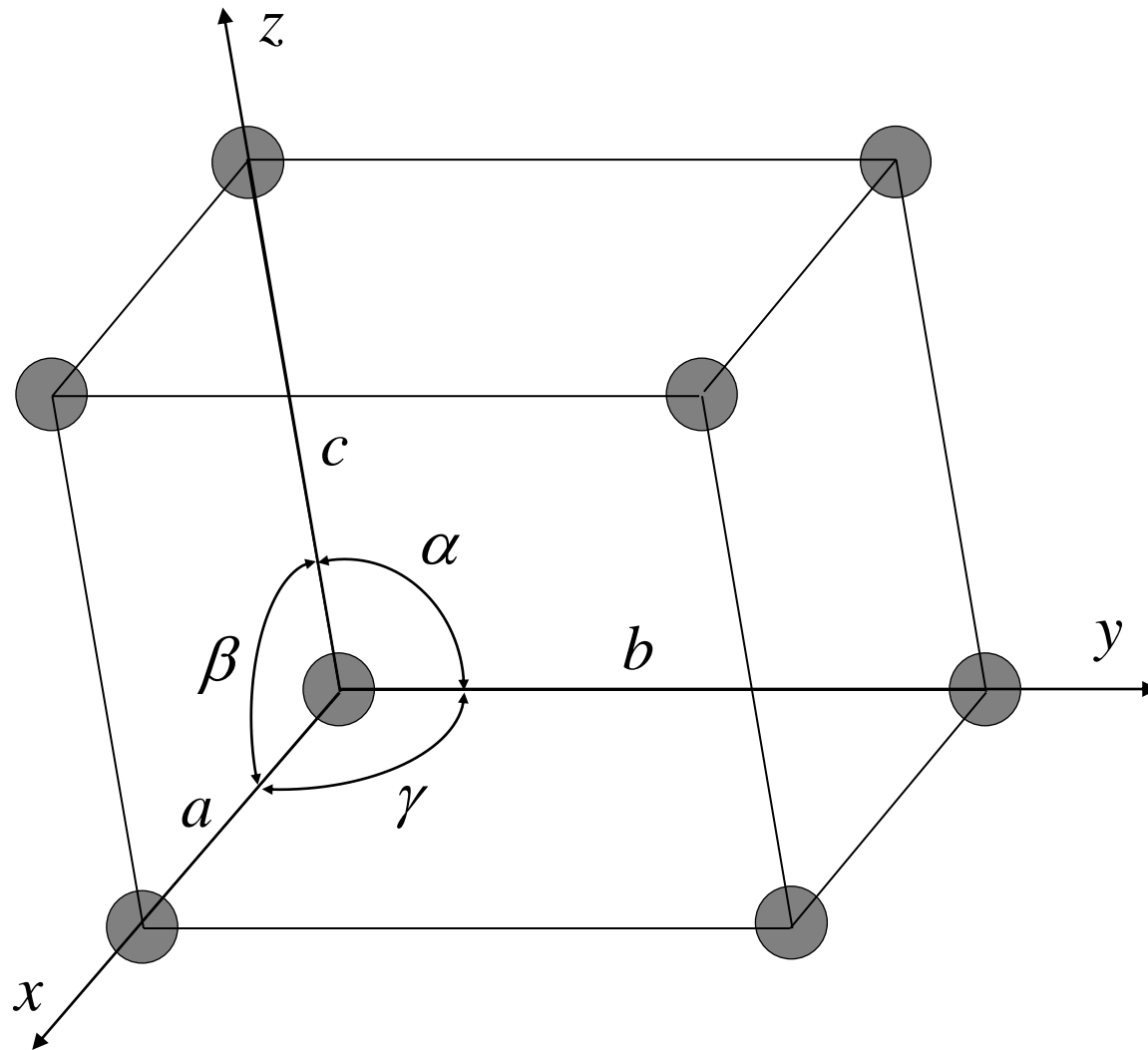


b)

Przykład struktur krystalicznych zbudowanych z komórek elementarnych:

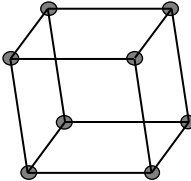
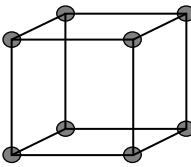
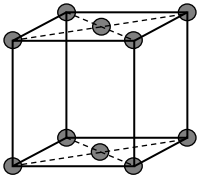
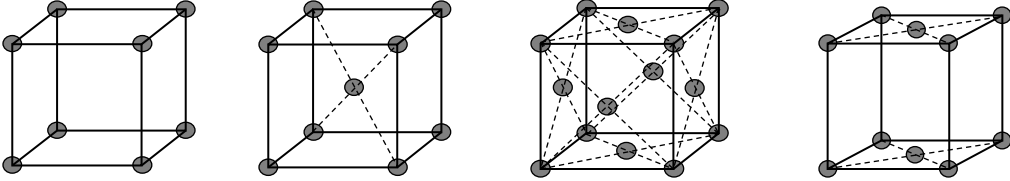
a) w postaci sześcianów,

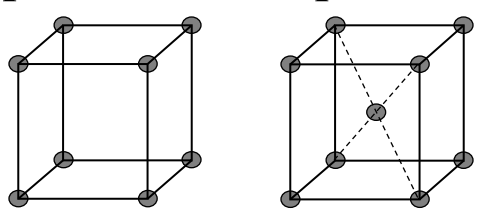
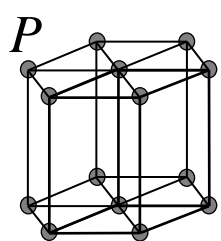
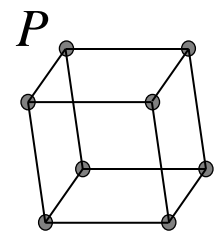
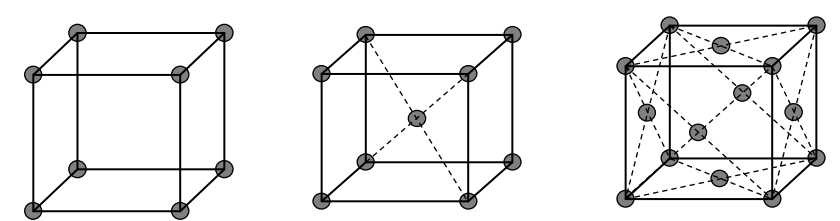
b) w postaci graniastosłupów prawidłowych o podstawie sześciokąta foremnego.

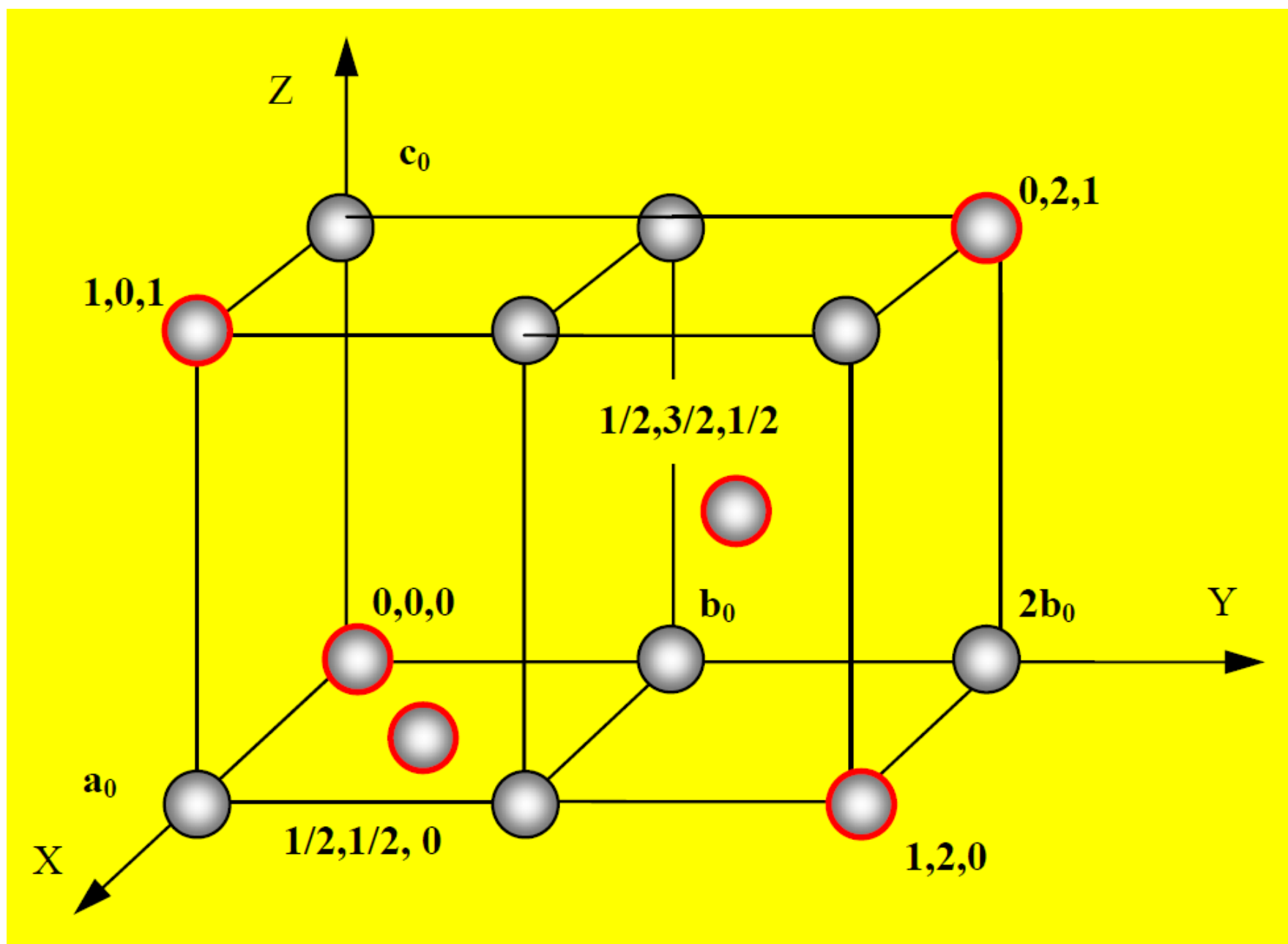


Parametry określające wielkość i kształt
elementarnej komórki struktury krystalicznej

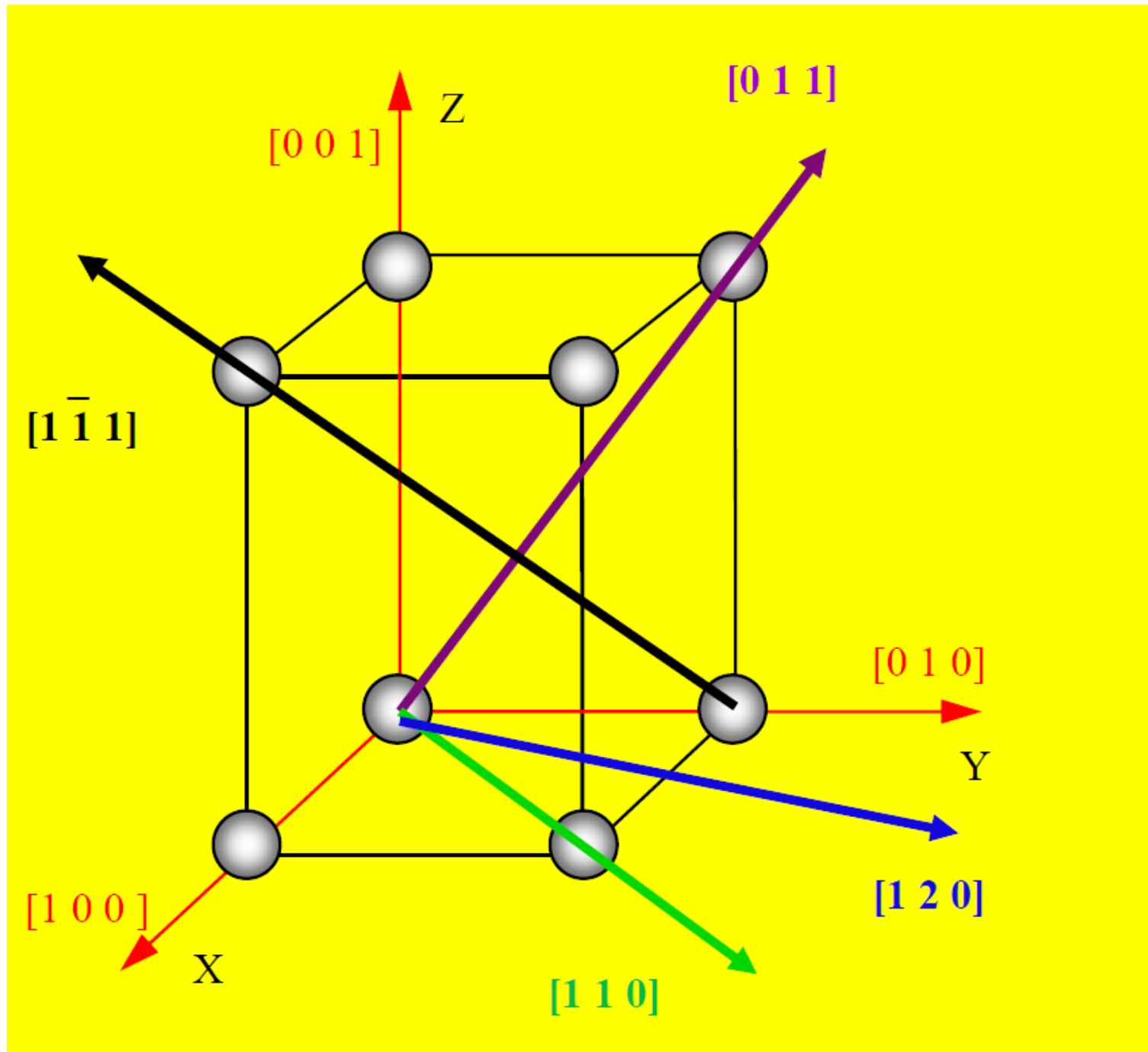
Układy krystalograficzne i sieci Bravais'go

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

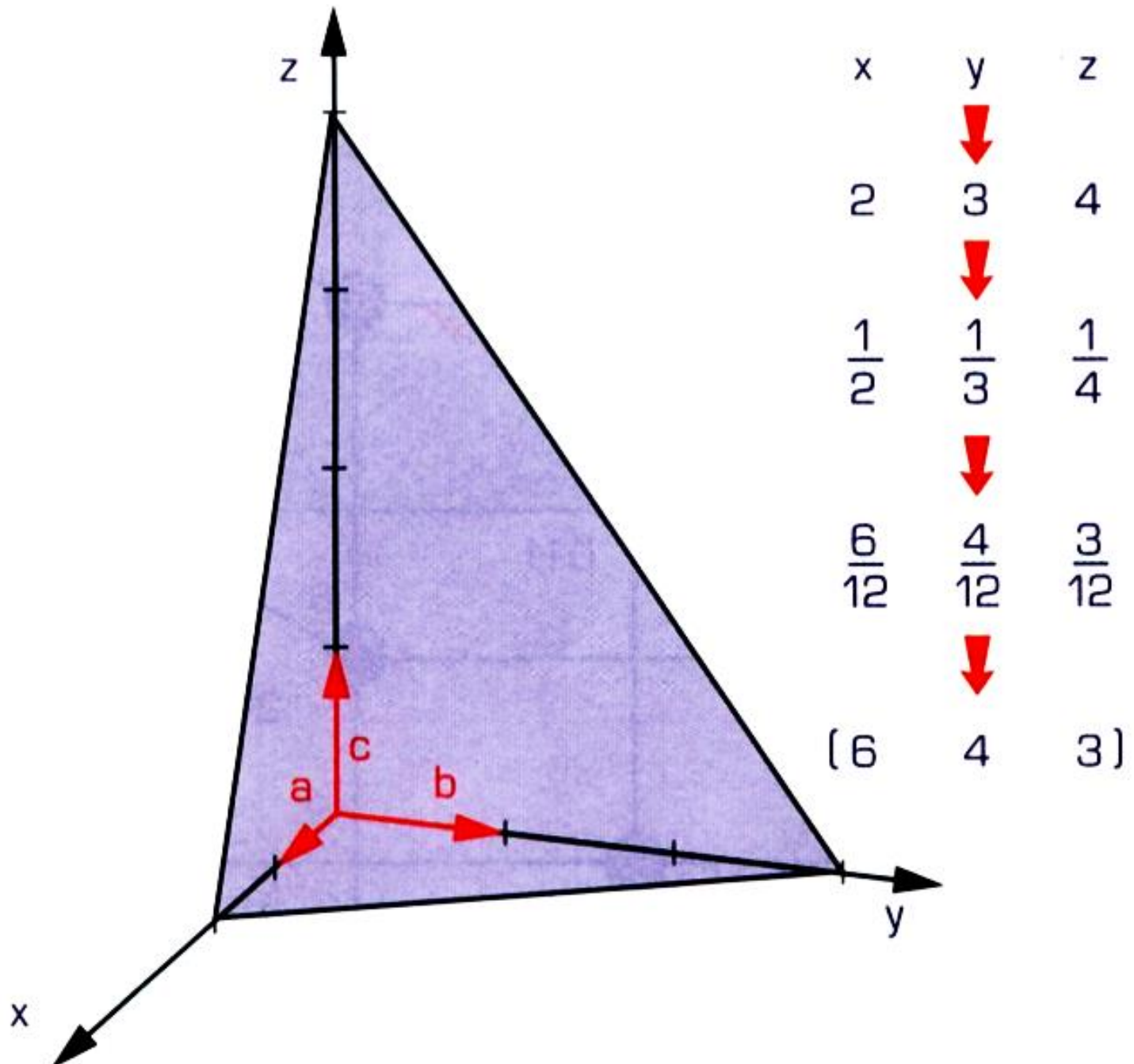
<p>Tetragonalny</p> $a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	<p>P – prymitywna, I – przestrzennie centrowana</p>	<p>P I</p> 
<p>Heksagonalny</p> $a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ,$ $\gamma = 120^\circ$	<p>P – prymitywna</p>	<p>P</p> 
<p>Romboedryczny</p> $a = b = c$ $\alpha = \beta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



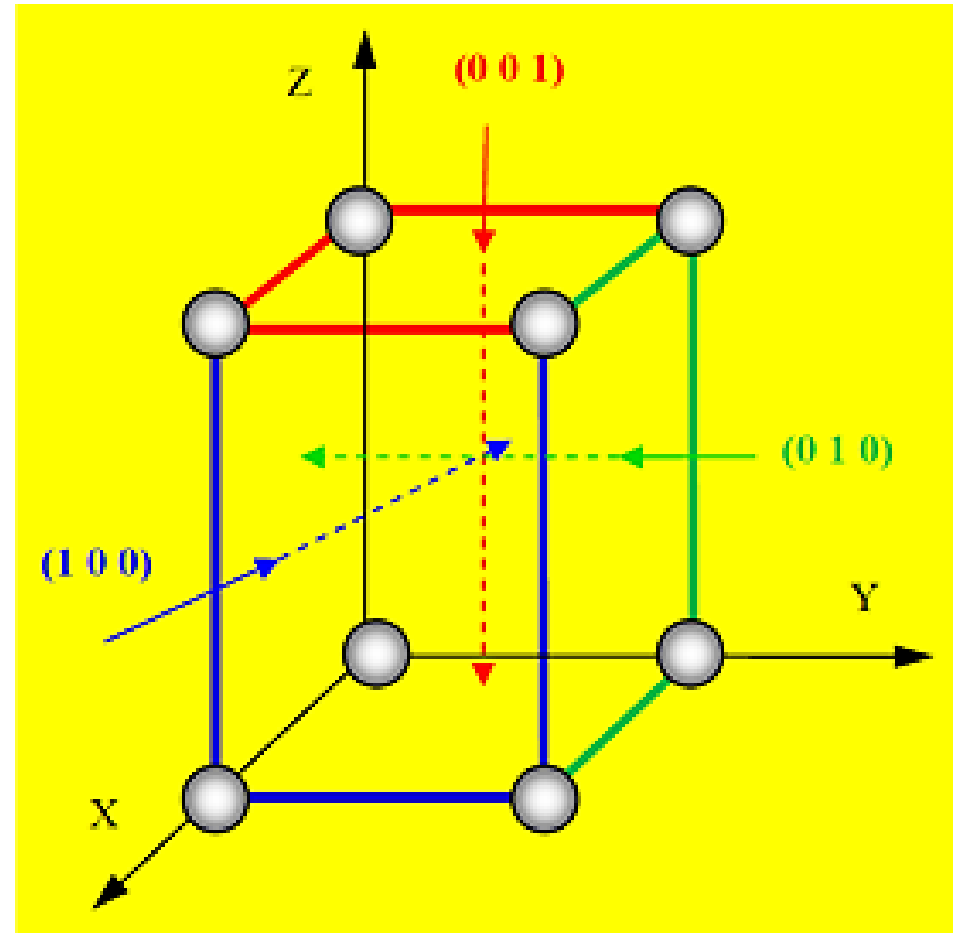
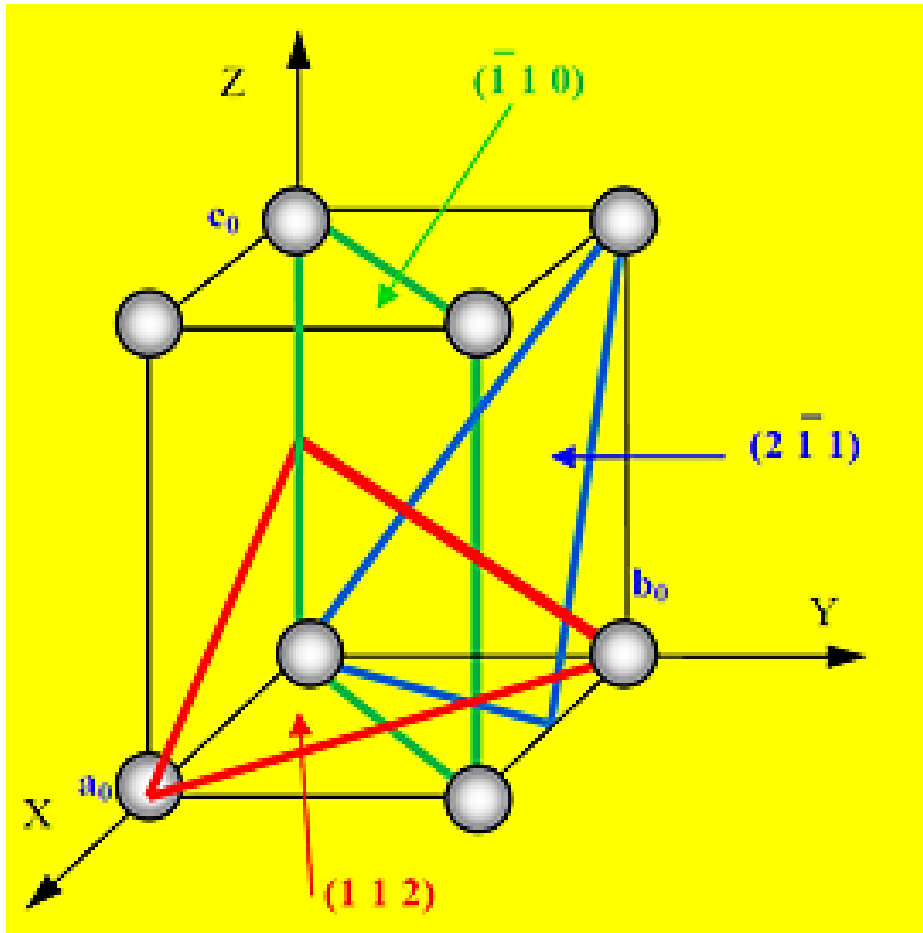
Współrzędne wybranych węzłów w sieci przestrzennej



Wskaźniki Millera dla prostych



Obliczanie wskaźników Millera dla płaszczyzn



Wskaźniki Millera dla płaszczyzn