



Mineralogija

Sveučilišni prijediplomski studij Znanosti o okolišu – 1. godina (253566)

Doc. dr. sc. Petra Schneider

akad. god.: 2024./25.



Sadržaj

Kristalna struktura

- Kemijske veze
- Koordinacijski broj i koordinacijski poliedri
- Paulingova pravila
- Struktura dijamanta, cesijevog klorida, halita, fluorita, spinela
- Izomorfija
- Polimorfija
- Polimorfni prijelazi
- Politiipija
- Pseudomorfija
- Mineraloidi

Kemijske veze

Kemijske veze u kristalima:

- Ionska veza (neusmjerena)
 - Kovalentna veza (usmjerena)
 - Metalna veza (neusmjerena)
 - Van der Waalsova veza
 - Vodikova veza
- uključuju valentne elektrone
- međumolekulske veze

! U istom mineralu atomi mogu biti vezani raznim vezama.

! Česte su veze prijelaznog karaktera.

Njihova **vrsta i intenzitet** su u velikoj mjeri odgovorni za **fizička i kemijska** svojstva minerala.

Općenito:

- jača veza → veća tvrdoća kristala
- viša temperatura tališta
- manji koeficijent termalne ekspanzije

Kemijske veze

Kemijske veze u kristalima:

- Ionska veza (neusmjerena) → elektrostatsko privlačenje pozitivno i negativno nabijenih iona u strukturi
 - Kovalentna veza (usmjerena)
 - Metalna veza (neusmjerena)
 - Van der Waalsova veza
 - Vodikova veza
- Jakost veze ovisi o:
- udaljenosti centara iona
 - umnošku njihovih naboja

Fizička svojstva ionskih kristala:

- umjerena gustoća
- relativno visoka tvrdoća
- krti su
- prilično visoko talište
- slabi vodiči elektriciteta i topline
- topivi u otapalima tipa vode



halit, NaCl

Kemijske veze

Kemijske veze u kristalima:

- Ionska veza (neusmjerena)
- Kovalentna veza (usmjerena) → dijeljenje valentnih elektrona između dva ili više atoma (preklapanje elektronskih orbitala) slične (velike) elektronegativnosti
- Metalna veza (neusmjerena)
- Van der Waalsova veza
- Vodikova veza
- Jakost veze ovisi o preklapanju orbitala

Fizička svojstva kristala s kovalentnom vezom:

- visoka stabilnost
 - slaba topljivost (gotovo netopivi)
 - visoka tvrdoća
 - visoka temperatura tališta
 - ne daju elektrone u otopljenom stanju
 - ne vode električnu energiju
- rijetki



dijamant, C

Kemijske veze

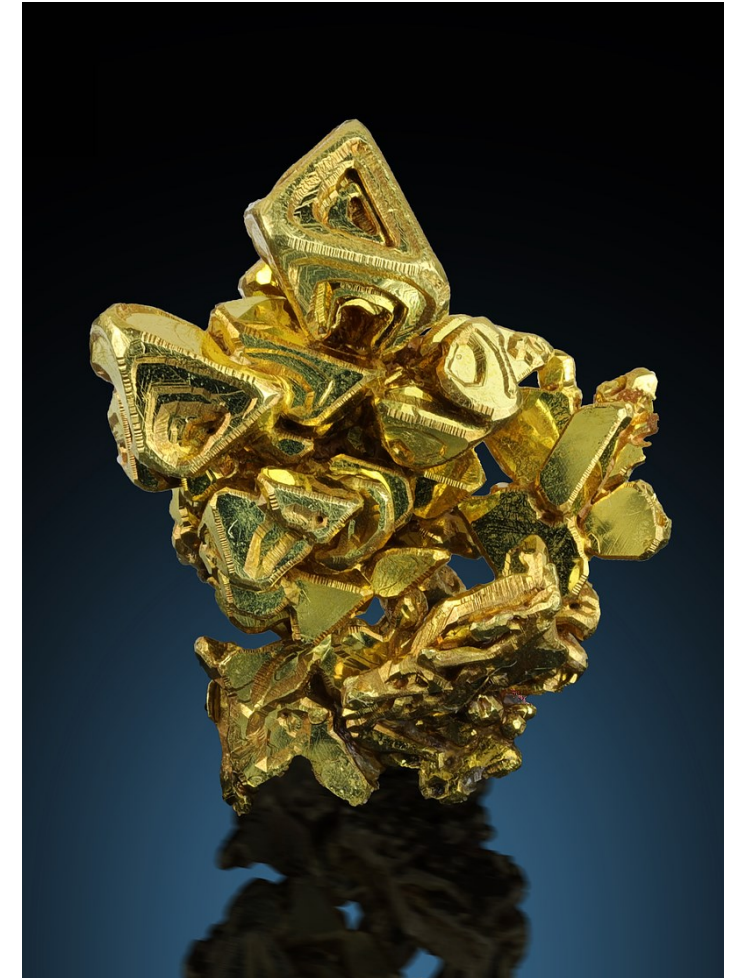
Kemijske veze u kristalima:

- Ionska veza (neusmjerena)
- Kovalentna veza (usmjerena)
- Metalna veza (neusmjerena) → privlačna sila između jezgara atoma i elektronskog oblaka delokaliziranih valentnih elektrona
- Van der Waalsova veza
- Vodikova veza
- Jakost veze: umjerena

Fizička svojstva minerala s metalnom vezom (karakteristična za metale):

- niska tvrdoća
- velika gustoća
- daju se kovati, valjati, izvlačiti u žice
- dobri vodiči električne energije
- visok stupanj refleksije svjetlosti
- neprozirnost

→ gusto slaganje atoma

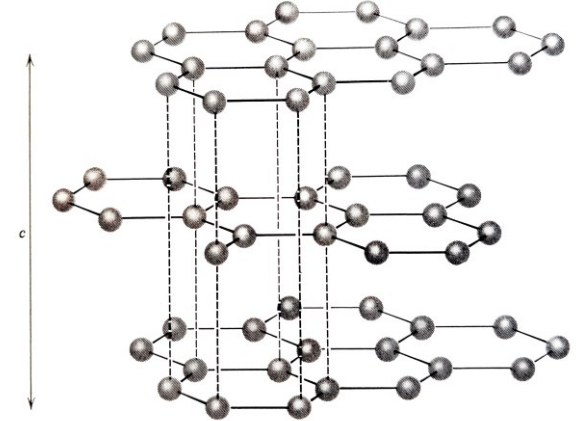
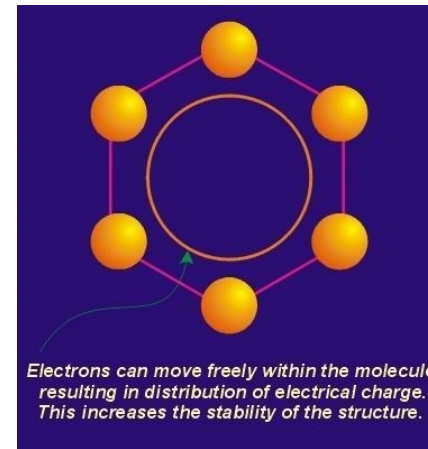


samородno zlato, Au

Kemijske veze

Kemijske veze u kristalima:

- Ionska veza (neusmjerena)
- Kovalentna veza (usmjerena)
- Metalna veza (neusmjerena)
- Van der Waalsova veza → trenutna asimetrična raspodjela naboja u molekuli
 - Jakost veze: slaba

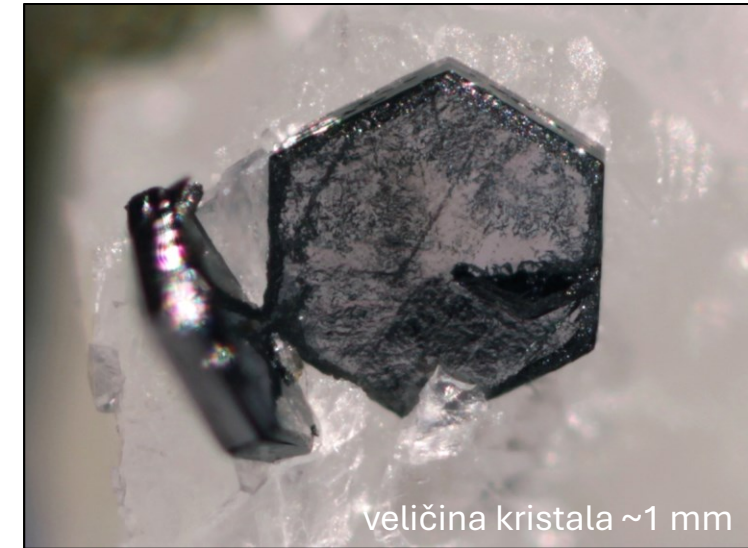


Fizička svojstva minerala s međumolekulskom vezama:

- mekani
- dobra kalavost*



tinjac (muskovit, $\text{KAl}_2\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$)



grafit, C

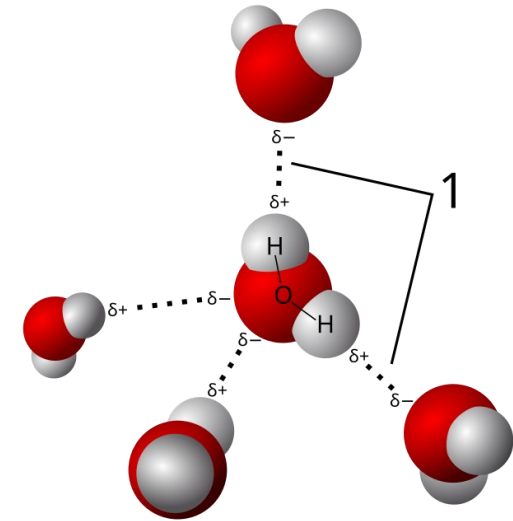
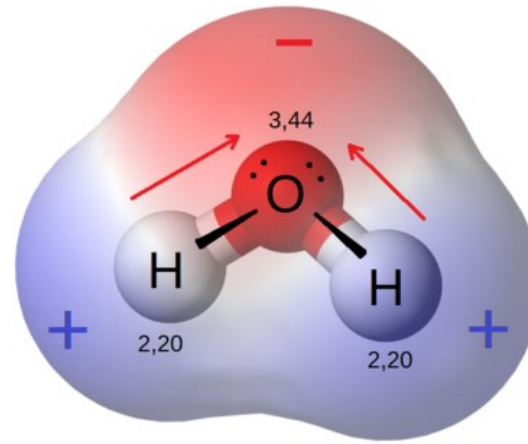
veličina kristala ~1 mm

* **kalavost** = svojstvo minerala da uslijed djelovanja sile puca na pravilan način, tj. duž mrežnih ravnina

Kemijske veze

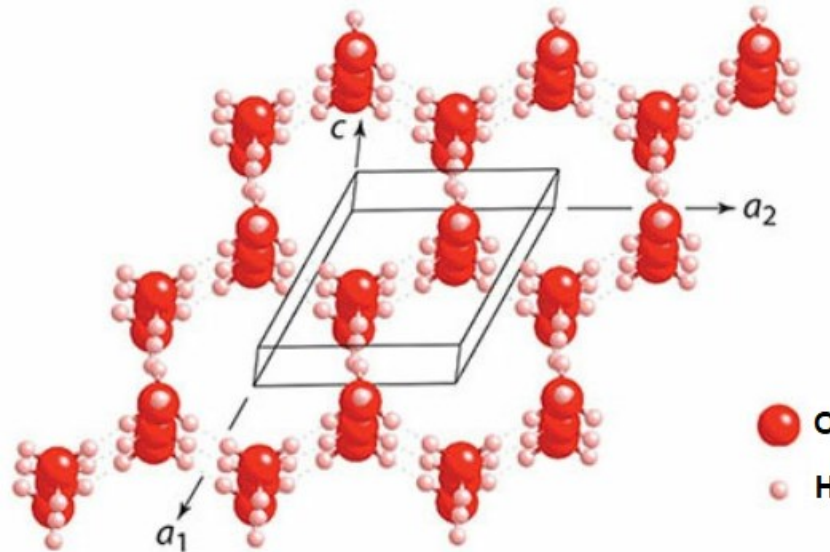
Kemijske veze u kristalima:

- Ionska veza (neusmjerena)
- Kovalentna veza (usmjerena)
- Metalna veza (neusmjerena)
- Van der Waalsova veza
- Vodikova veza → razlika u elektronegativnosti H i O
 - Jakost veze: slaba



Fizička svojstva minerala s međumolekulskom vezama:

- mekani
- dobra kalavost*



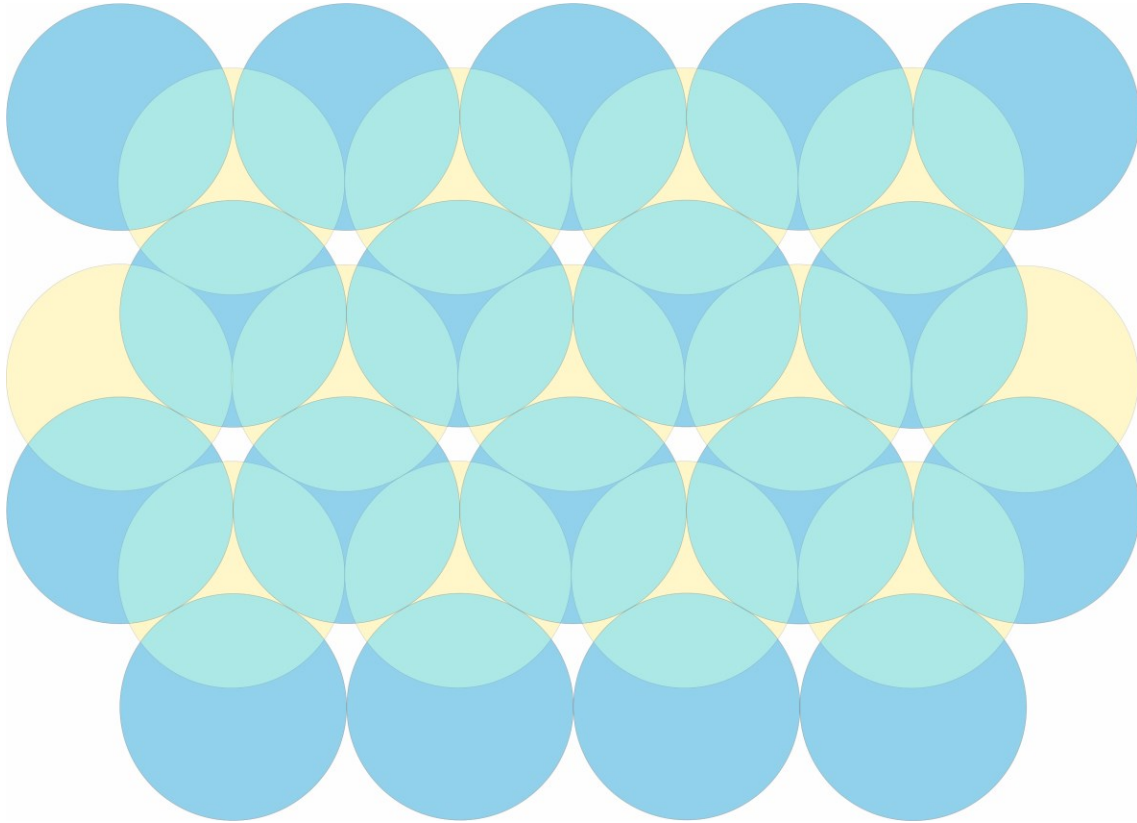
* **kalavost** = svojstvo minerala da uslijed djelovanja sile puca na pravilan način, tj. duž mrežnih ravnina

Principi idealnog slaganja (Goldschmidt & Laves):

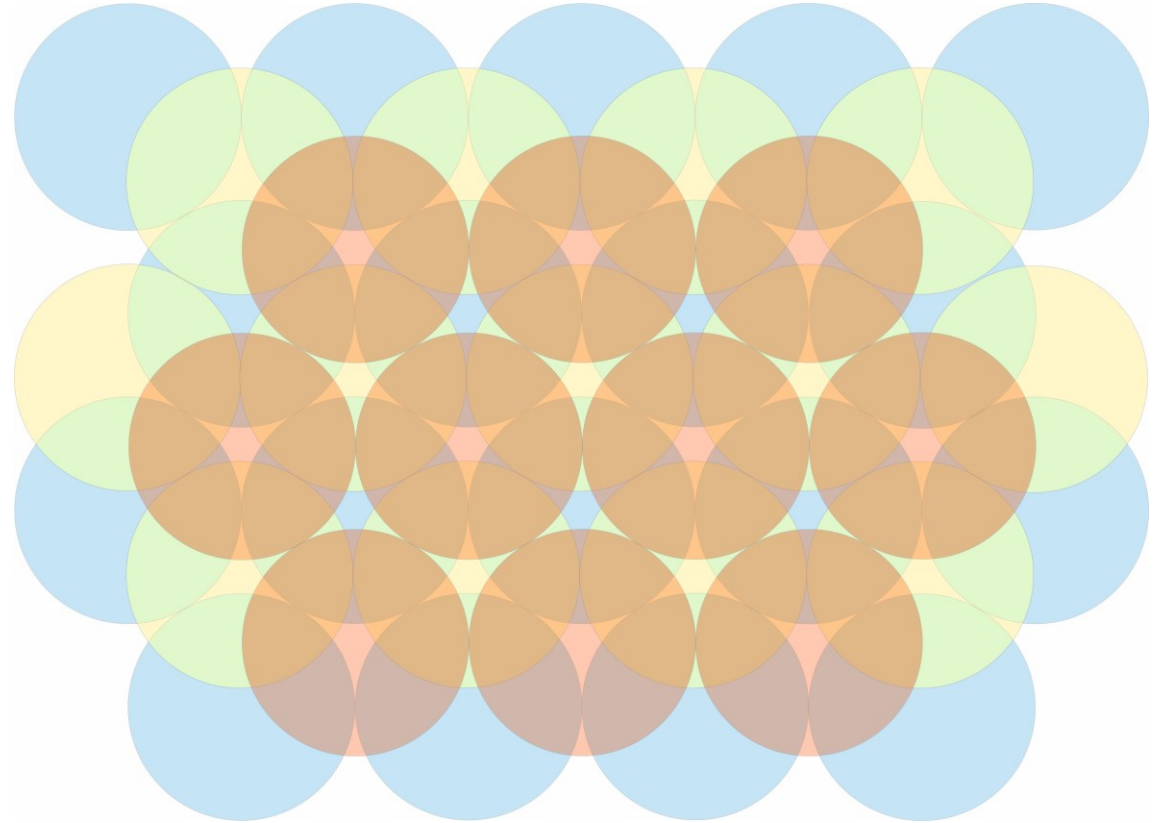
1. **Princip najgušćeg slaganja** (pakiranja) – atomi u strukturi se pokušavaju posložiti na način da ispunjavaju prostor najučinkovitije
2. **Princip simetrije** – atomi pokušavaju postići u strukturi najveću moguću simetriju
3. **Princip interakcije** – atomi pokušavaju postići najvišu koordinaciju, tj. da imaju najveći mogući broj najbližih susjeda

Kristalna struktura

Guste slagaline – kod struktura s neusmjerenim vezama

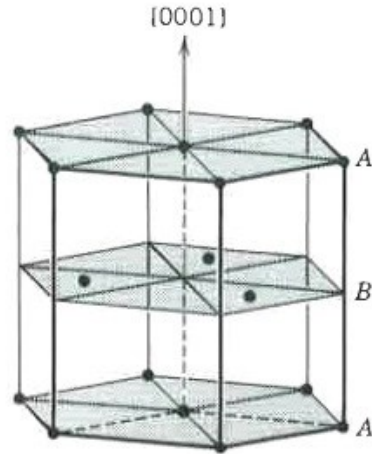
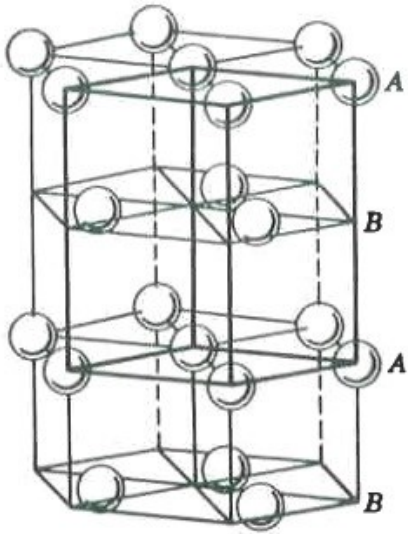


slaganje tipa A-B-A-B



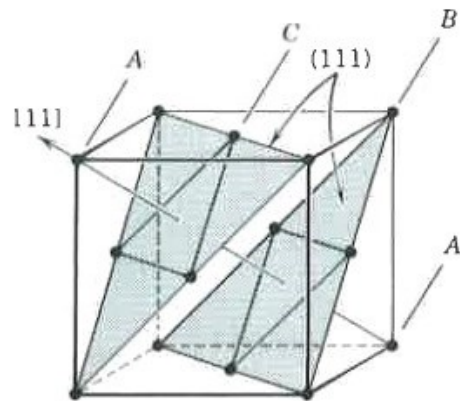
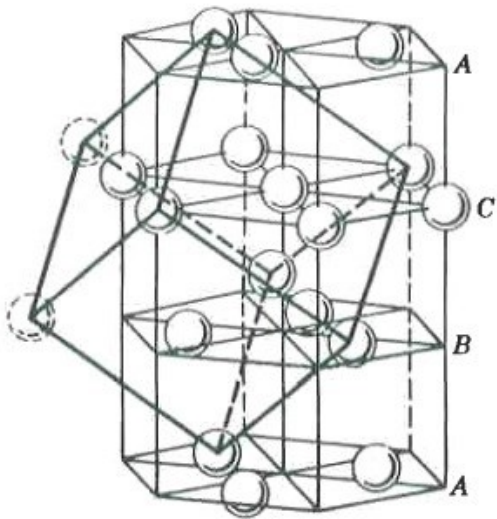
slaganje tipa A-B-C-A-B-C

Kristalna struktura



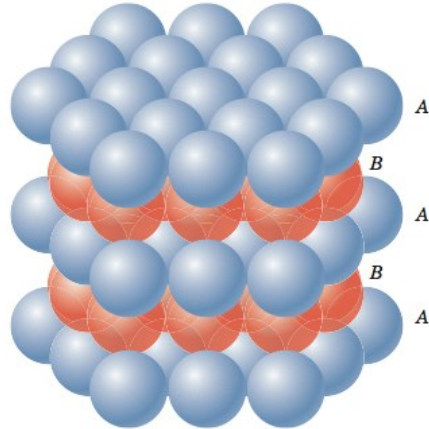
Heksagonska gusta slagalina (*hexagonal close-packed, HCP*)

- slaganje tipa ABABAB
- heksagonska simetrija
- ponavljanje duž [0001]



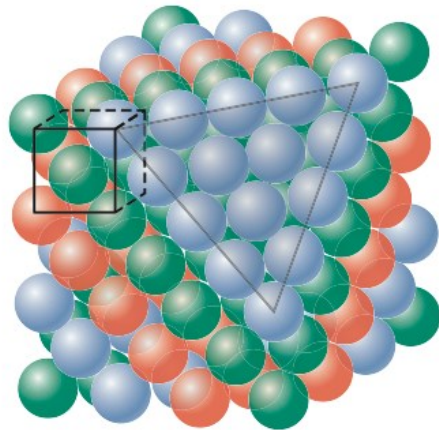
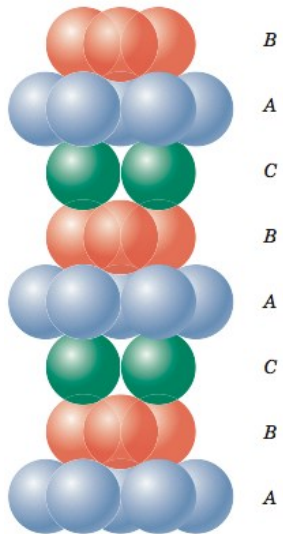
Kubična gusta slagalina (*cubic close-packed, CCP*)

- slaganje ABCABCABC
- kubična simetrija, F – tip rešetke
- ponavljanje duž [111]



Heksagonska gusta slagalina (*hexagonal close-packed, HCP*)

- slaganje tipa ABABAB
- heksagonska simetrija
- ponavljanje duž $[0001]$



Kubična gusta slagalina (*cubic close-packed, CCP*)

- slaganje ABCABCABC
- kubična simetrija, F – tip rešetke
- ponavljanje duž $[111]$

Kristalna struktura

Koordinacijski broj (K.B.) = broj najbližih susjednih atoma oko centralnog atoma (obično se promatra oko kationa)

Koordinacijski poliedar = poliedar koji dobijemo ukoliko linijama spojimo središta tih atoma

- označavanje koordinacijskog broja:



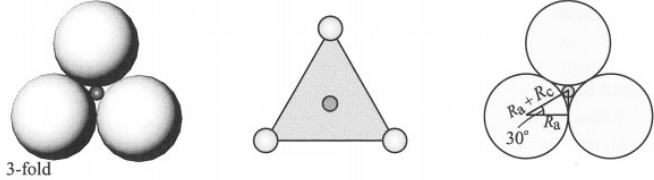
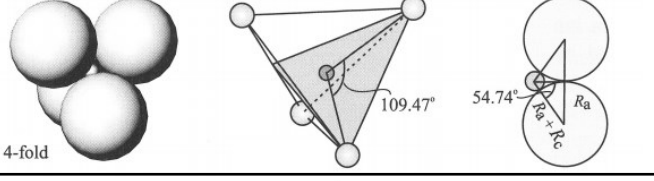
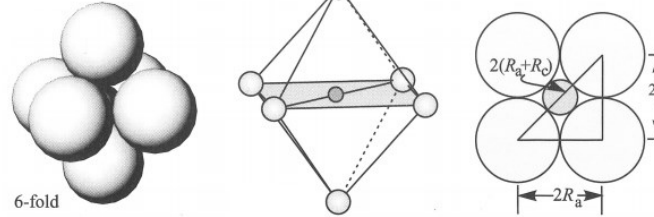
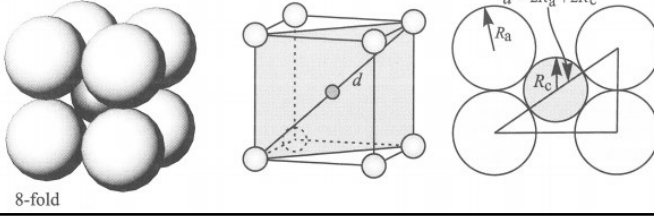
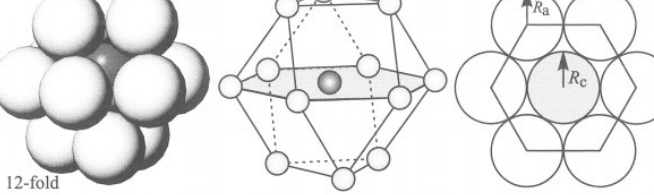
- ovisni su o relativnim veličinama kationa (A) i aniona (X), tj. $R_A : R_X$
- udaljenost kation-anion određena je zbrojem njihovih radijusa

Minimalni broj aniona oko nekog kationa nije limitiran, ali svaki se kation nastoji okružiti s čim većim brojem aniona.

veći kation → veći broj aniona oko njega

Maksimalan broj aniona limitiran je omjerom radijusa.

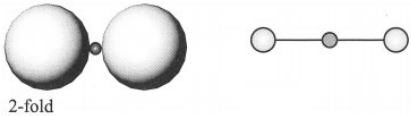
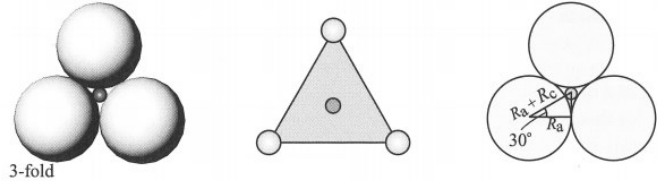
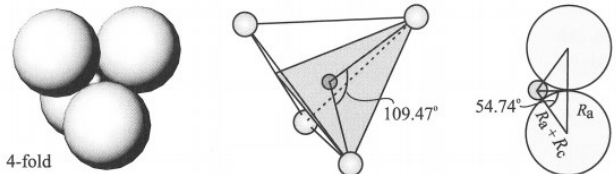
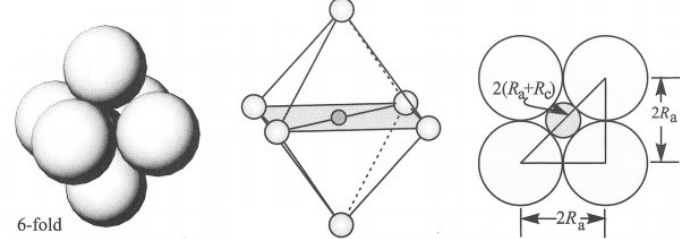
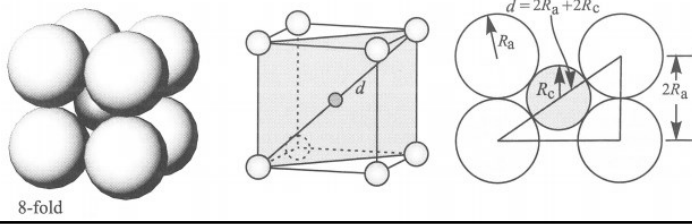
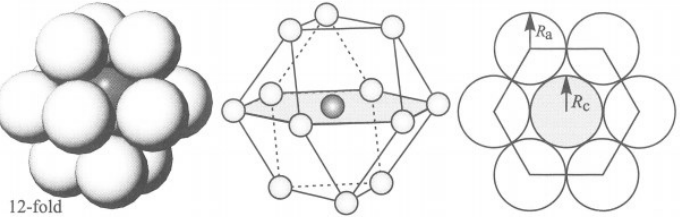
→ **1. Paulingovo pravilo (pravilo koordinacije)**

	Geometrija	Koordinacijski broj	Omjer polumjera $R_A : R_X$
 2-fold	Linearno	2	$< 0,155$
 3-fold	Trokut	3	$0,115 - 0,225$
 4-fold	Tetraedar	4	$0,225 - 0,414$
 6-fold	Oktaedar	6	$0,414 - 0,732$
 8-fold	Heksaedar	8	$0,732 - <1,0$
 12-fold	Kuboktaedar	12	$\approx 1,0$

Kristalna struktura

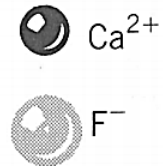
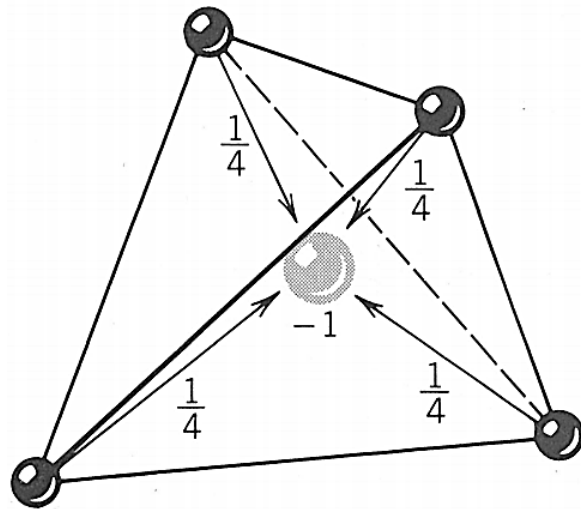
! Koordinacijski poliedri u strukturama realnih kristala* često nisu pravilni.
→ **deformirani**
(pr. deformirana tetraedarska koordinacija)

* osim u kubičnim strukturama

	Geometrija	Koordinacijski broj	Omjer polumjera $R_A : R_X$
 2-fold	Linearno	2	$< 0,155$
 3-fold	Trokut	3	$0,115 - 0,225$
 4-fold	Tetraedar	4	$0,225 - 0,414$
 6-fold	Oktaedar	6	$0,414 - 0,732$
 8-fold	Heksaedar	8	$0,732 - <1,0$
 12-fold	Kuboktaedar	12	$\approx 1,0$

Preuzeto iz Nesse (2000).

Kristalna struktura



$$\text{K.B.} = 4; \text{e.v.} = \frac{1}{4}$$
$$4 \times \left(\frac{1}{4}\right) = 1$$

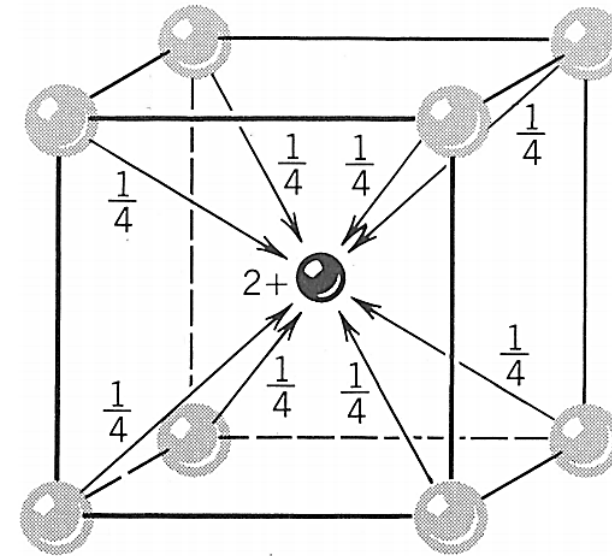
e.v. = **elektrostatska valencija** = mjera jakosti veze od koordinacijskog iona do njegovog najbližeg susjeda

! U stabilnim ionskim strukturama ukupna jakost valentnih veza koje dopiru do nekog aniona jednaka je njegovom naboju.

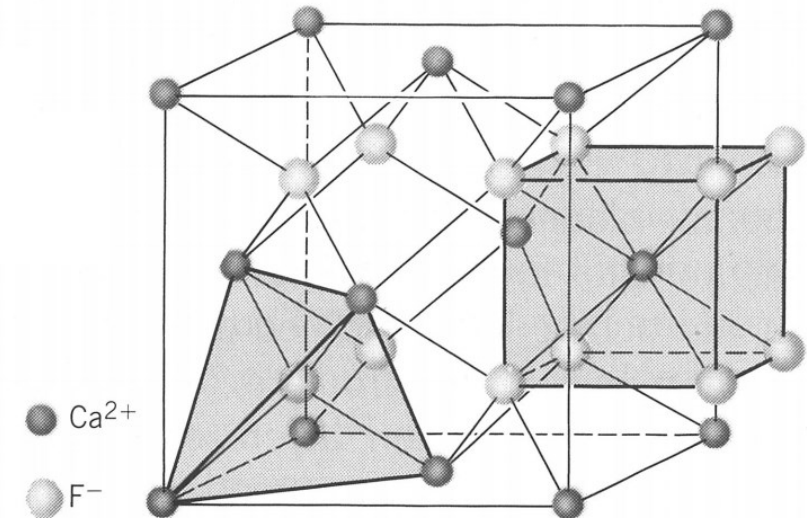
$\text{jakost veze} = \text{naboj iona} / \text{K.B.}$

→ **2. Paulingovo pravilo (princip elektrostatske valencije)**

e.v. = elektrostatska valencija



$$\text{K.B.} = 8; \text{e.v.} = \frac{1}{4}$$
$$8 \times \left(\frac{1}{4}\right) = 2$$



struktura fluorita CaF_2

Kristalna struktura

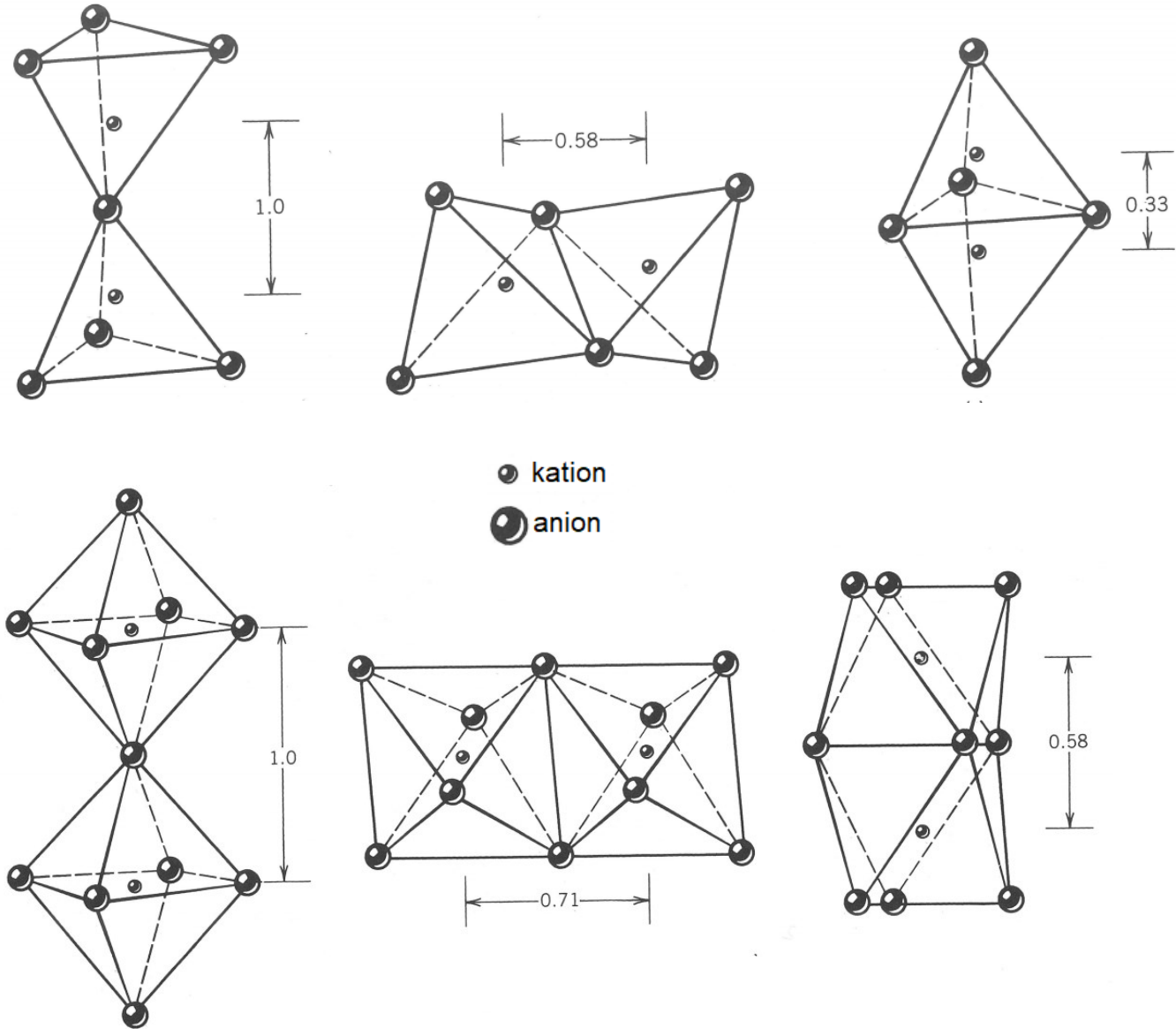
! Svaki zajednički brid ili ploha koju dijele dva susjedna poliedra dovodi do smanjenja stabilnosti strukture – zbog **odbijanja kationa**.

Dijeljenje bridova i ploha posebno rijetko ako u strukturi postoje **različiti kationi***

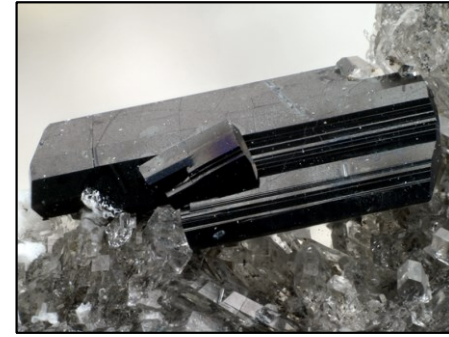
* posebice ako kationi imaju veliki naboj i mali koordinacijski broj

→ **deformacija poliedra**

→ **3. i 4. Paulingovo pravilo**
(dijeljenje zajedničkih elemenata poliedara)



Kristalna struktura

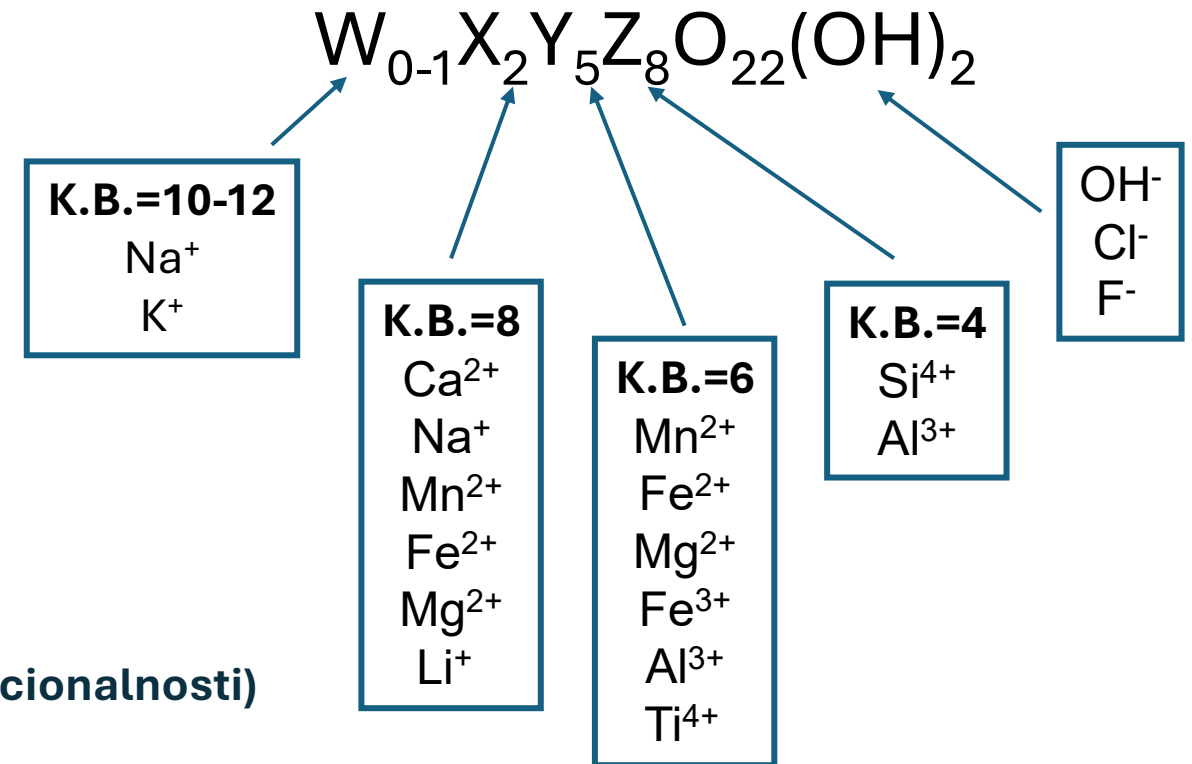


Primjer: amfiboli

! Minerali koji imaju kompleksan kemijski sastav često imaju relativno jednostavne kristalne strukture.

Broj različitih koordinacijskih poliedara u kristalu u pravilu je mali. Bez obzira na kompleksnost sastava postoji samo nekoliko kationskih i anionskih položaja → **više elemenata zauzima isti položaj u strukturi.**

→ **5. Paulingovo pravilo (princip ekonomičnosti, racionalnosti)**



Paulingova pravila – sažetak

Linus Pauling (1929.): svojstva strukture koja teže smanjenju potencijalne energije → stabilnost strukture:

1. princip koordinacije:

Oko svakog kationa nalazi se koordinacijski poliedar aniona. Udaljenost kation-anion određena je zbrojem njihovih radijusa. Omjer njihovih radijusa određuje vrstu koordinacijskog poliedra, odnosno koordinacijski broj.

2. princip elektrostatske valencije:

Ionska struktura stabilna je do one granice dokle je zbroj jakosti svih elektrostatskih veza koje dopiru do pojedinog iona jednaka njegovom naboju. Jakost veze = naboj iona / K.B.

3. dijeljenje zajedničkih elemenata poliedara – I:

Stabilnost ionske strukture kristala je smanjena ako anionski poliedri dijele bridove ili plohe.

4. dijeljenje zajedničkih elemenata poliedara – II:

Ako kristalna struktura sadrži različite katione, kationi s velikim nabojem i malim koordinacijskim brojem teže ne dijeliti dijelove koordinacijskih poliedara.

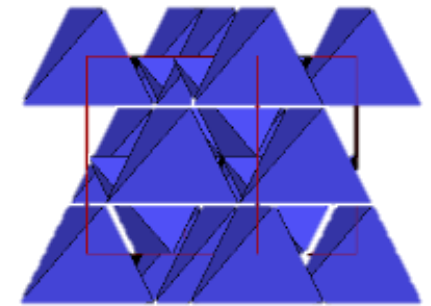
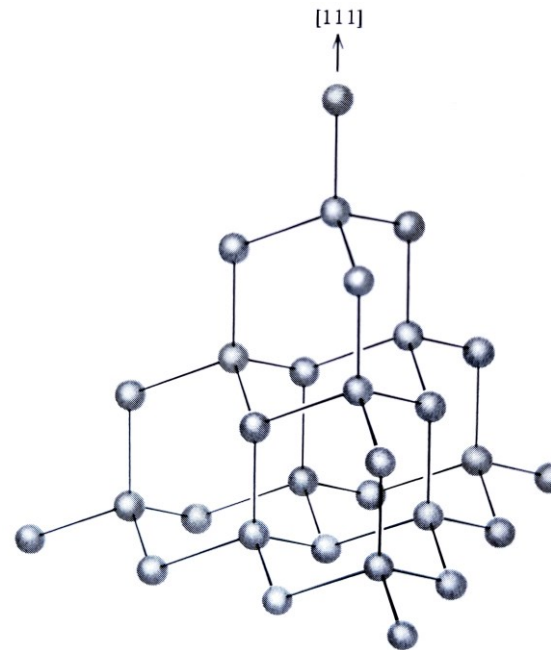
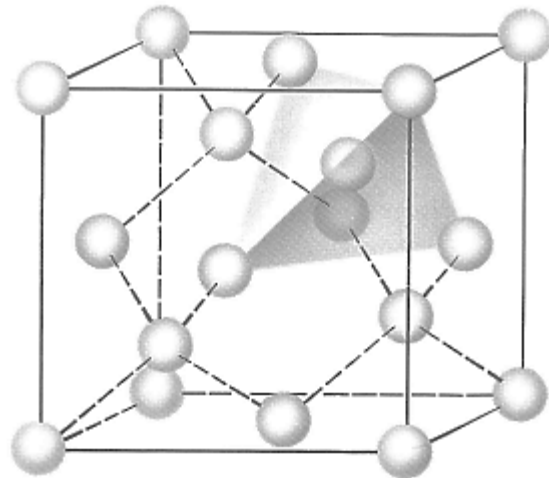
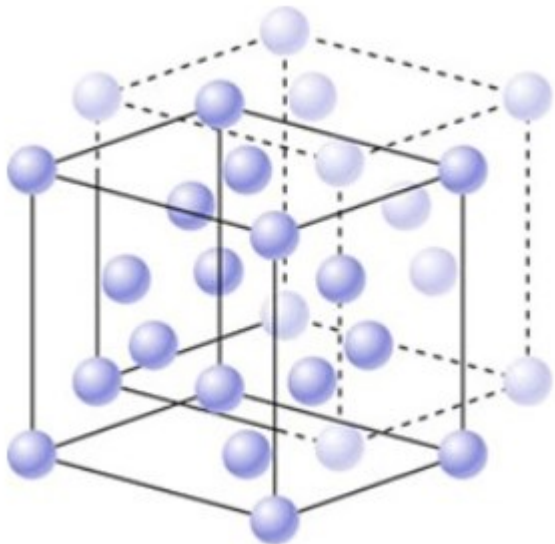
5. princip racionalnosti / ekonomičnosti:

Broj suštinski različitih koordinacijskih poliedara u kristalu teži biti mali, tj. više elemenata će zauzimati isti položaj u strukturi.

Kristalna struktura

Struktura dijamanta, C

- dvije plošno centrirane kubične rešetke pomaknute jedna u odnosu na drugu za $\frac{1}{4}$ u smjeru prostorne dijagonale
 - duljina veze: $1,54 \text{ \AA}$
- C u tetraedarskim koordinacijama

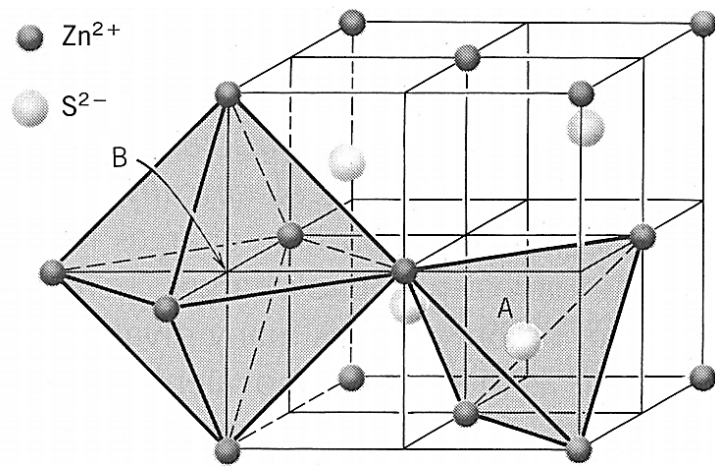


kalavost smjerom [111]

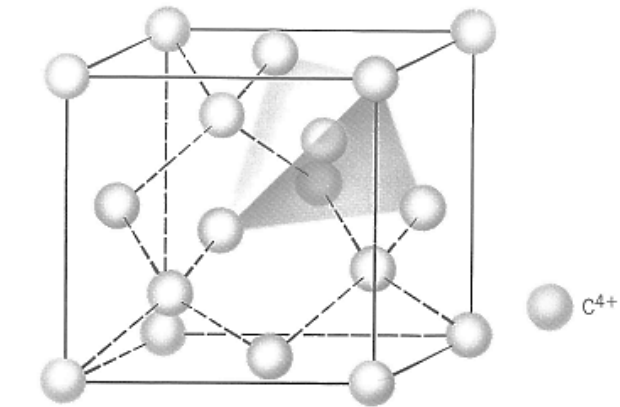
Kristalna struktura – izomorfija

Sfalerit, ZnS

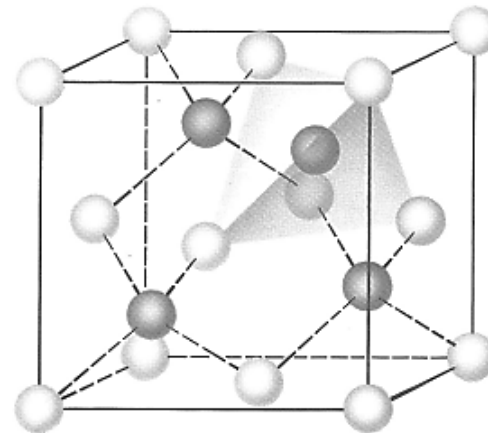
- struktura **tipa dijamanta**
 - $\frac{1}{2}$ atoma C zamijenjena sa Zn, $\frac{1}{2}$ sa S
 - $R_A : R_X = 0,32$
- S i Zn u tetraedarskim koordinacijama



B = prazne pozicije u strukturi,
oktaedarska koordinacija



kalavost smjerom [111]



kalavost smjerom [011]

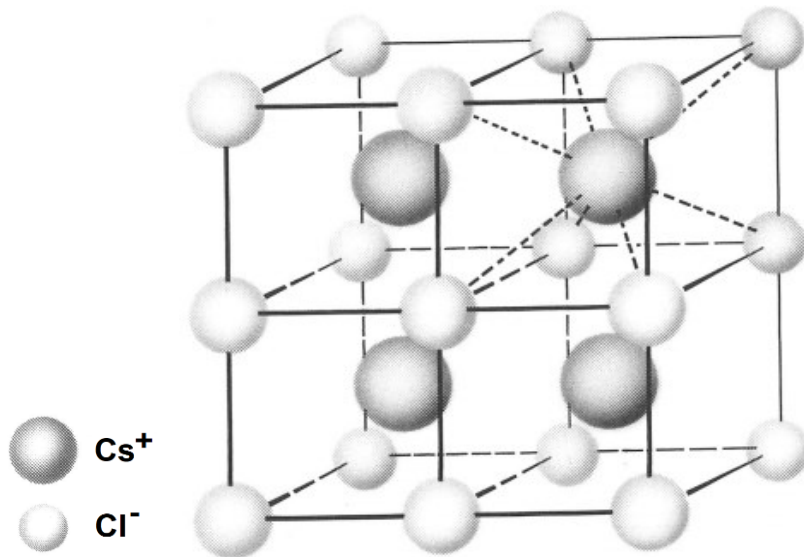


Izvor fotografija: <https://www.mindat.org>

Kristalna struktura

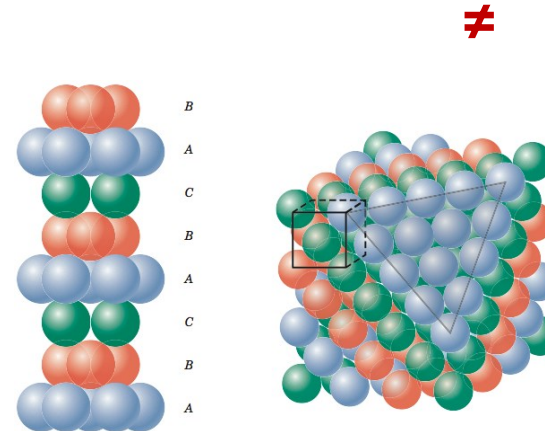
Struktura cezijevog klorida, CsCl

- volumno centrirana kubična rešetka s Cs u središtu i Cl u vrhovima
- $R_A : R_X > 0,73$ (do 1)



Volumno centrirana (jednostavna) kubična slagalina (*body-centered cubic packing, bcc; simple cubic packing, SCP*)

- kubična simetrija, I – tip rešetke
- nešto manja gustoća slaganja od (HCP i CCP)

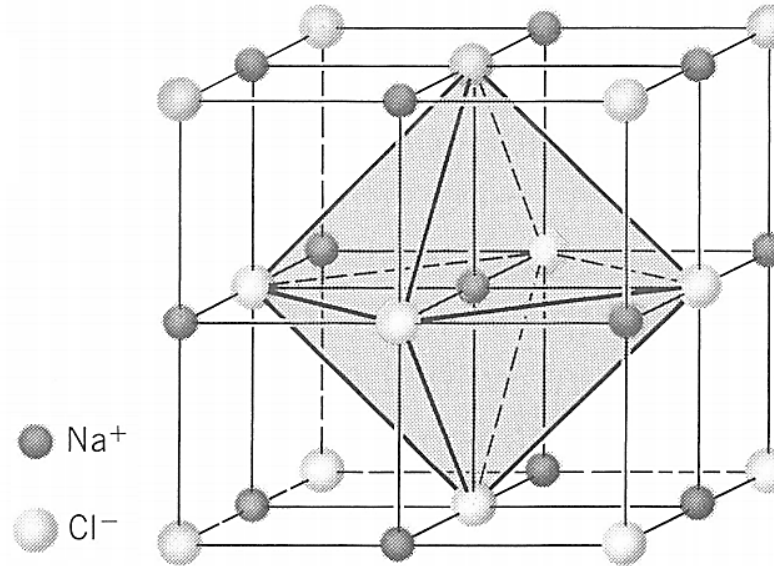


Kubična gusta slagalina (*cubic close-packed, CCP*)

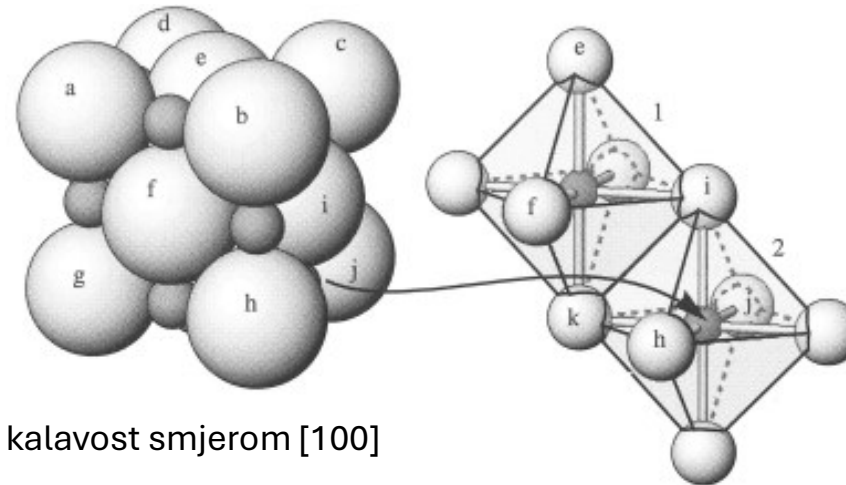
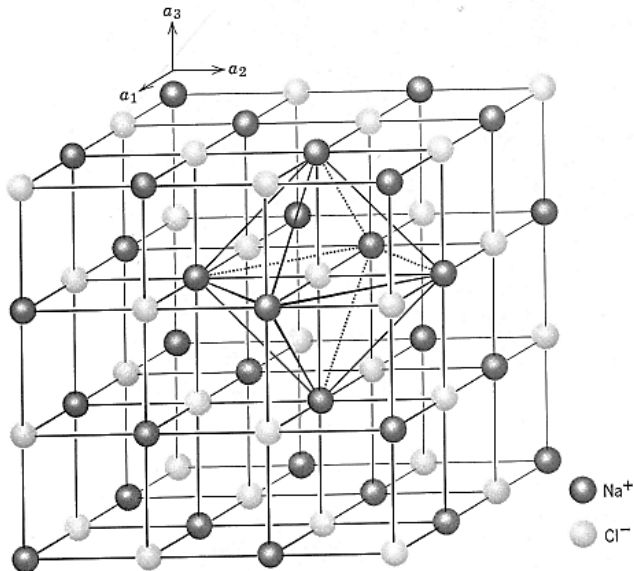
Kristalna struktura

Struktura halita, NaCl

- Na : Cl = 1 : 1
 - svaki atom Na okružen sa 6 atoma Cl
 - svaki atom Cl okružen sa 6 atoma Na
 - $R_A : R_X = 0,73-0,41$
- oktaedarske koordinacije



Preuzeto iz Klein (2002).



kalavost smjerom [100]

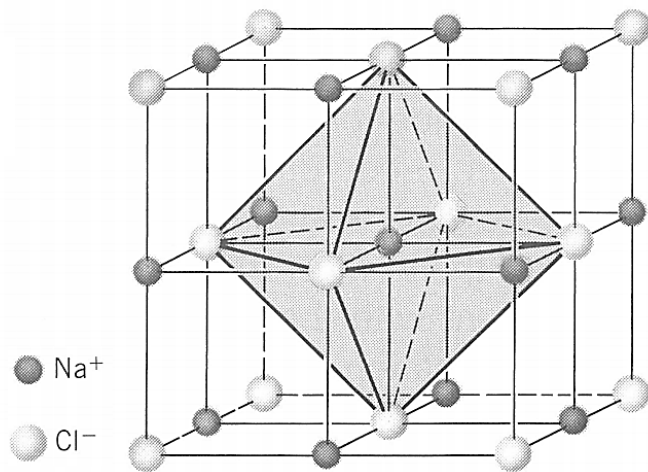
Preuzeto iz Klein (2002).



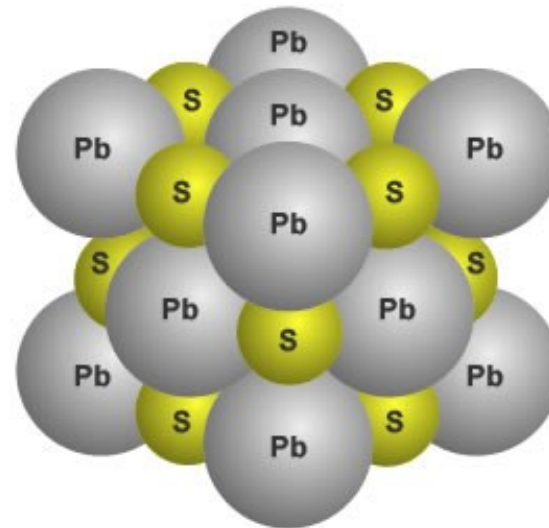
Kristalna struktura – izomorfija

Galenit, PbS

- struktura **tipa halita**
 - svaki atom Pb okružen sa 6 atoma S
 - svaki atom S okružen sa 6 atoma Pb
- oktaedarske koordinacije



kalavost smjerom [100]



kalavost smjerom [100]



Kristalna struktura – izomorfija

IZOMORFIJA, IZOTIPIJA, IZOSTRUKTURALIZAM

= pojava kod koje kristalizirane tvari **analognih kemijskih formula*** sa **sličnim omjerom radijusa kationa i aniona** imaju slične kristalne strukture, tj. isti koordinacijski poliedri zauzimaju isto mjesto u strukturi

→ ista simetrija → isti tip strukture

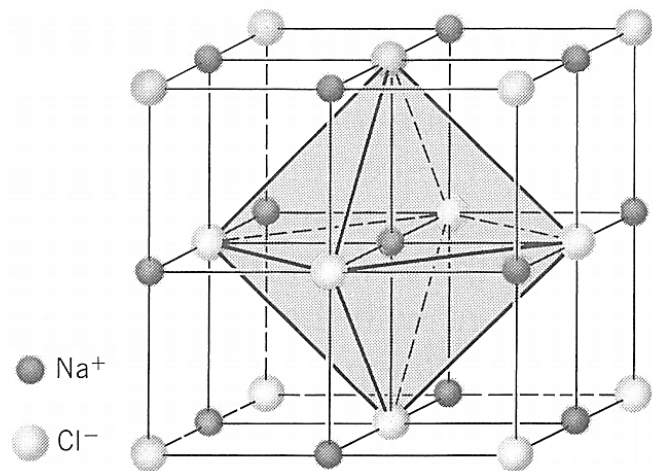
→ posljedica slične unutrašnje građe je sličan vanjski izgled

! Svojstva izomorfni minerala koja proizlaze iz **strukture** (kalavost, morfologija) su **slična**, dok su ona koja su posljedica sastava (gustoća, tvrdoća, talište) različita.

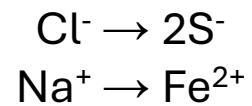
Kristalna struktura – izomorfija

Pirit, FeS_2

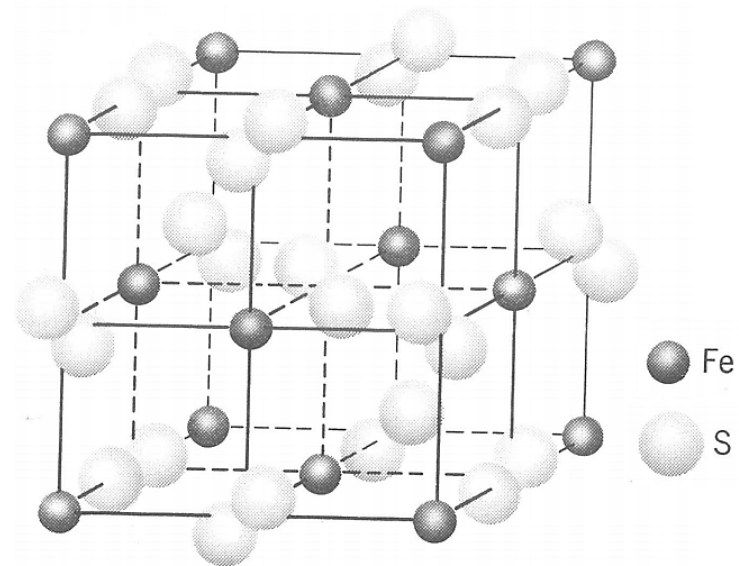
- struktura **tipa halita**
 - zamjena Cl sa grupama $(\text{S}_2)^{2-}$
- sniženje simetrije u odnosu na halit



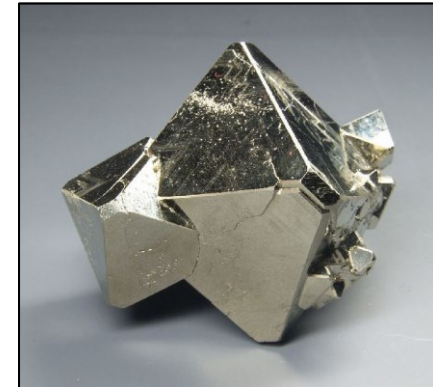
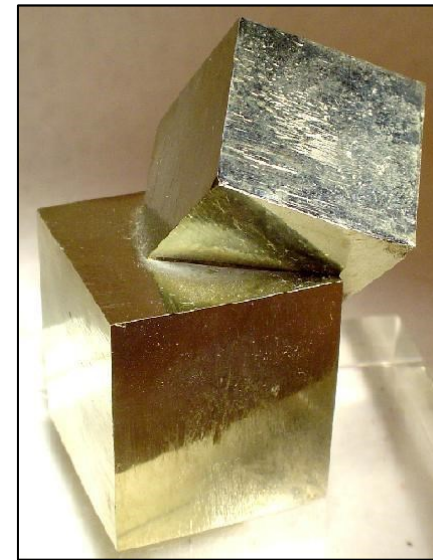
kalavost smjerom [100]



$$\frac{4}{m} \bar{3} \frac{2}{m} \rightarrow \frac{2}{m} \bar{3}$$



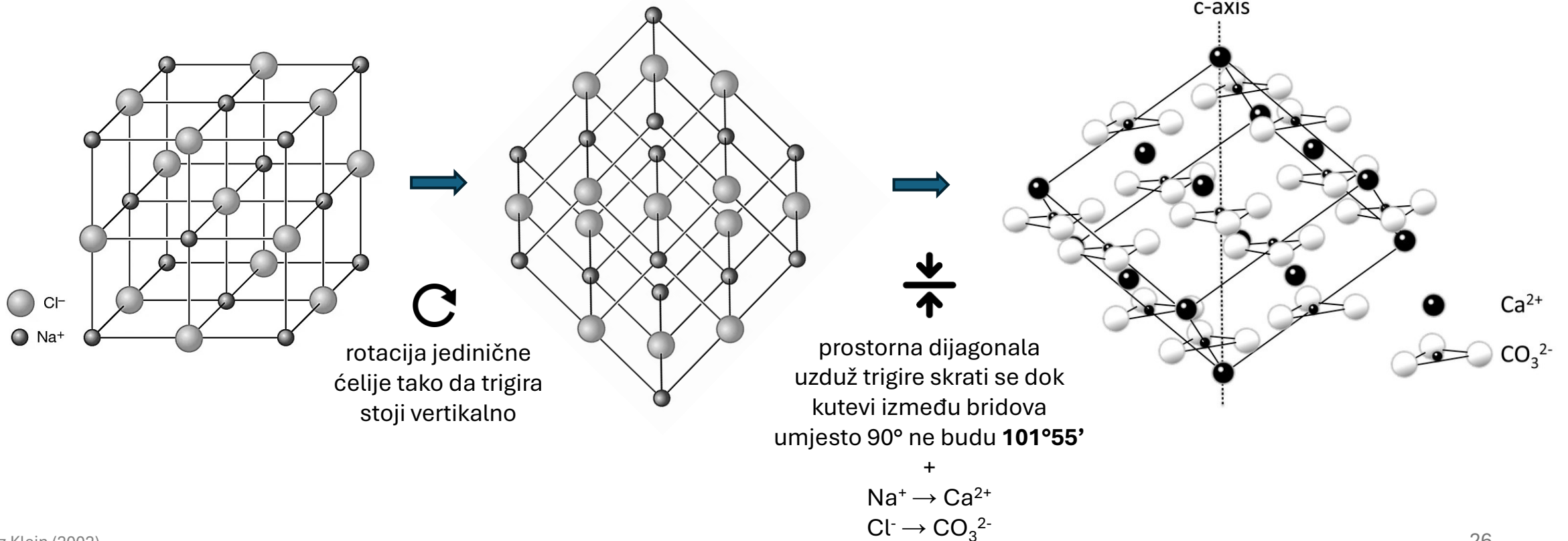
nema kalavost



Kristalna struktura – izomorfija

Kalcit, CaCO_3

- struktura **tipa halita**
- deformirana planarnim CO_3 grupama
- $4/m \bar{3} 2/m \rightarrow \bar{3} 2/m$



Kristalna struktura – izomorfija

! Minerali vrlo često imaju zajednički anion ili anionsku grupu → česte ionske zamjene među članovima grupe (kristali mješanci) → **izostrukturne grupe minerala**

Primjer:

Grupa kalcita ($\bar{3} 2/m$)

- kalcit CaCO_3
- rodokrozit MnCO_3
- magnezit MgCO_3
- smitsonit ZnCO_3
- siderit FeCO_3



kalcit



magnezit



smitsonit



smitsonit



rodokrozit



rodokrozit

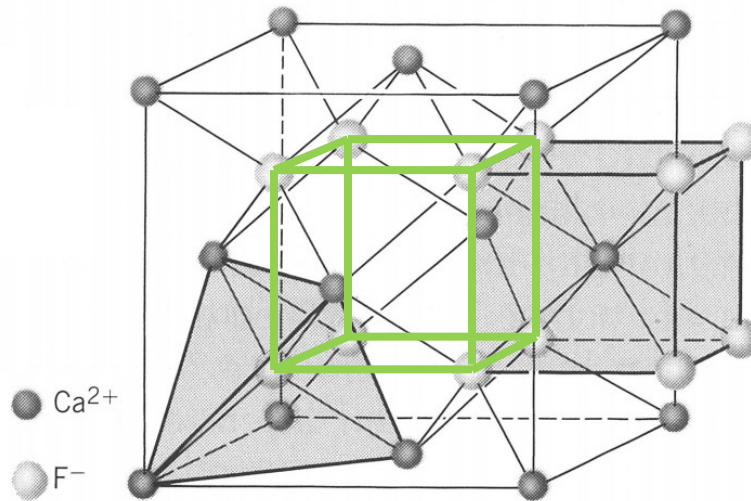


siderit

Kristalna struktura

Struktura fluorita, CaF_2

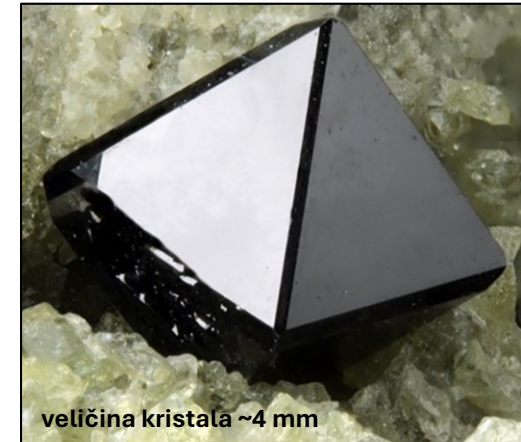
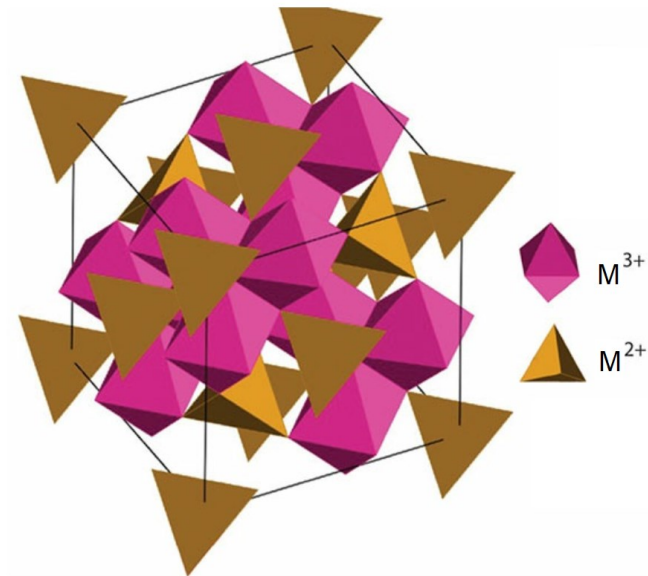
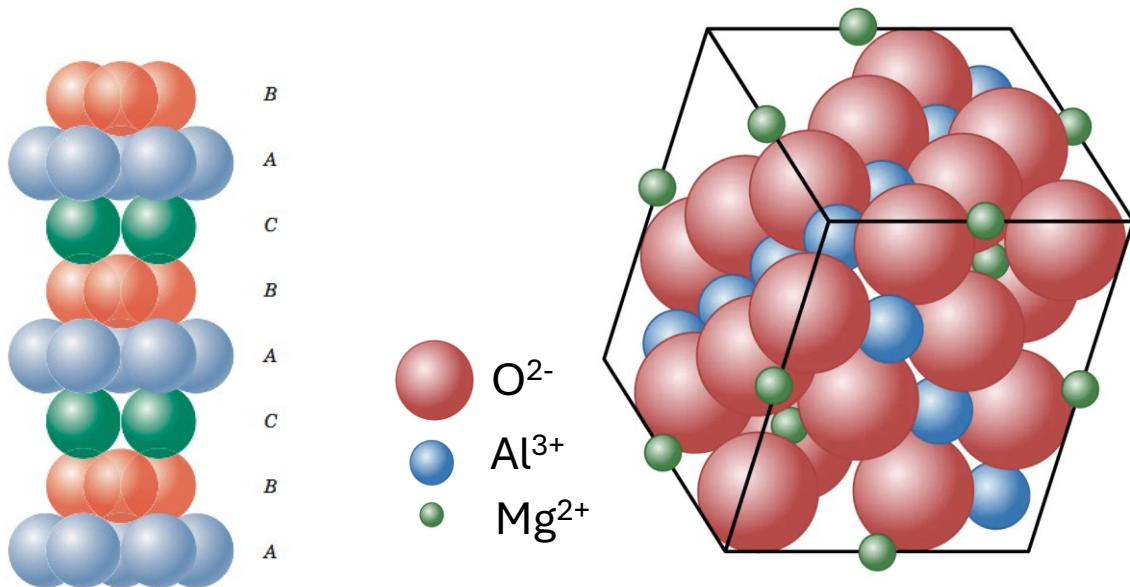
- plošno centrirana kubična rešetka (čvorovi = atomi Ca) u koju je umetnuta primitivna kubična rešetka dvostruko manje periode (čvorovi = atomi F)
- $R_A : R_X > 0,73$
 - Ca – heksaedarska koordinacija
 - F – tetraedarska koordinacija



Kristalna struktura

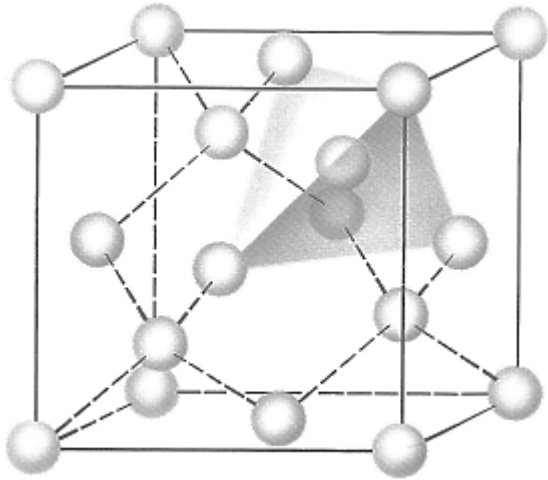
Struktura spinela, MgAl_2O_4

- osnova: kubična gusta slagalina kisikovih atoma
- tetraedarske šupljine: dvovalentni ioni (R^{2+} , npr. Mg^{2+})
 - zauzimaju $\frac{1}{4}$ tetraedarskih položaja
- oktaedarske šupljine: trovalentni ioni (R^{3+} , npr. Al^{3+})
 - zauzimaju $\frac{1}{2}$ oktaedarskih položaja

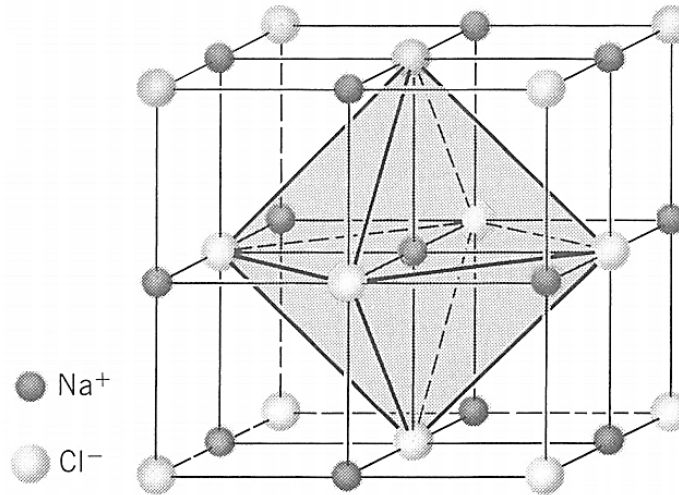


Kristalna struktura

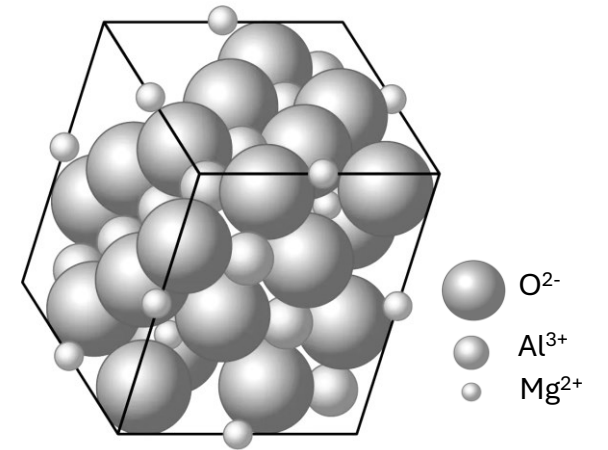
Sažetak nekih tipskih kristalnih struktura



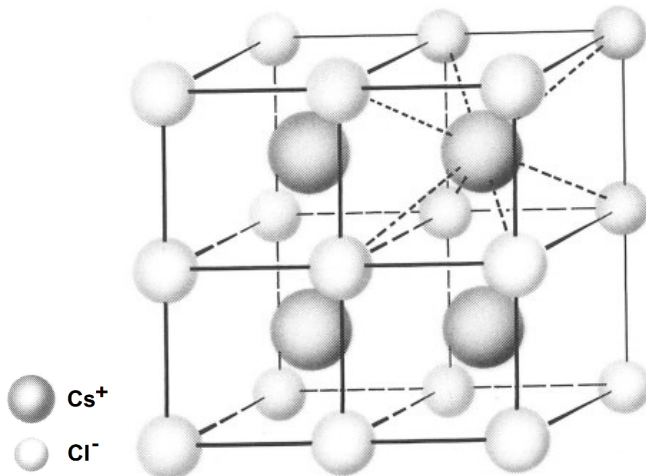
struktura dijamanta



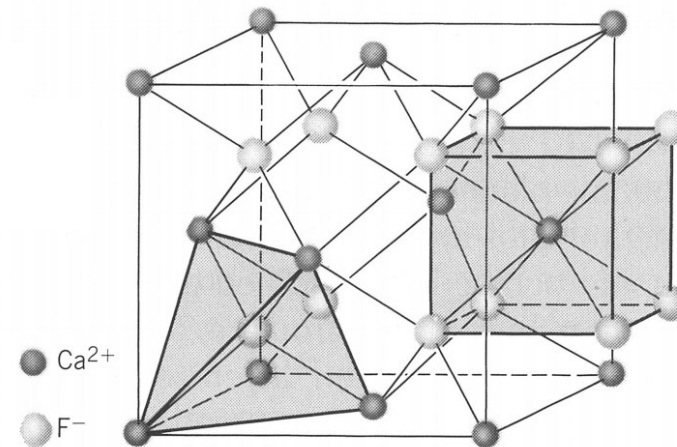
struktura halita



struktura spinela



struktura cezijeveg klorida



struktura fluorita

Polimorfija

Polimorfija = pojava da neki element ili spoj, ovisno o **p-T** (ali i drugim) uvjetima, kristalizira s različitim strukturama

→ **polimorfne modifikacije (polimorfi)**

Polimorfna grupa = skup različitih minerala istog kemijskog sastava

- viši tlakovi = strukture s gušćim slaganjem → veća gustoća minerala
- više temperature = strukture s manjom gustoćom, veća raznolikost u zauzimanju specifičnih strukturnih pozicija

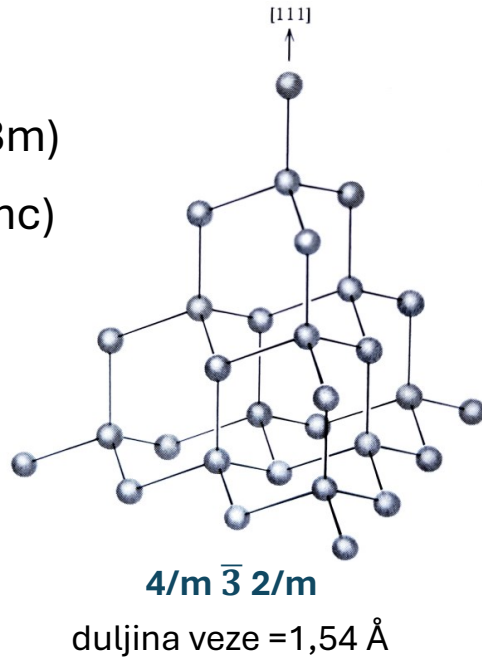
Polimorfija

Kemijski sastav	Ime minerala	Kristalna klasa	Specifična težina	Tvrdoća
SiO₂	α-kvarc	32	2,65	7
	β-kvarc	622	2,53	7
	tridimit	6/m 2/m 2/m, ... 1	2,22 – 2,27	7
	kristobalit	422	2,20 – 2,32	6 ½
	coesit	2/m	3,01	7 ½
	stishovit	4/m 2/m 2/m	4,30	7 ½
FeS₂	pirit	2/m $\bar{3}$	5,01	6
	markazit	2/m 2/m 2/m	4,88	6
C	grafit	6/m 2/m 2/m	2,22	1
	dijamant	4/m $\bar{3}$ 2/m	3,51	10
CaCO₃	kalcit	$\bar{3}$ 2/m	2,71	3
	aragonit	2/m 2/m 2/m	2,90	3 ½

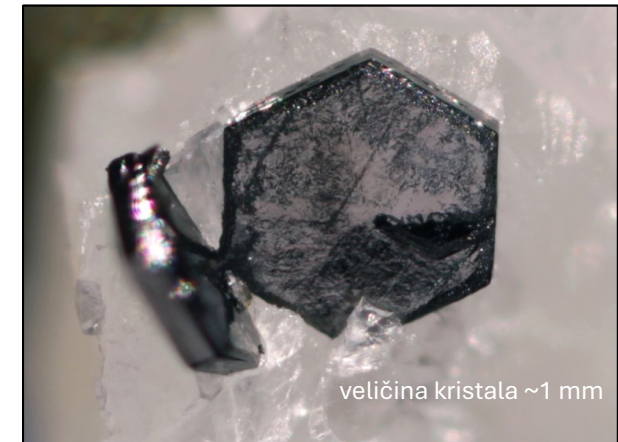
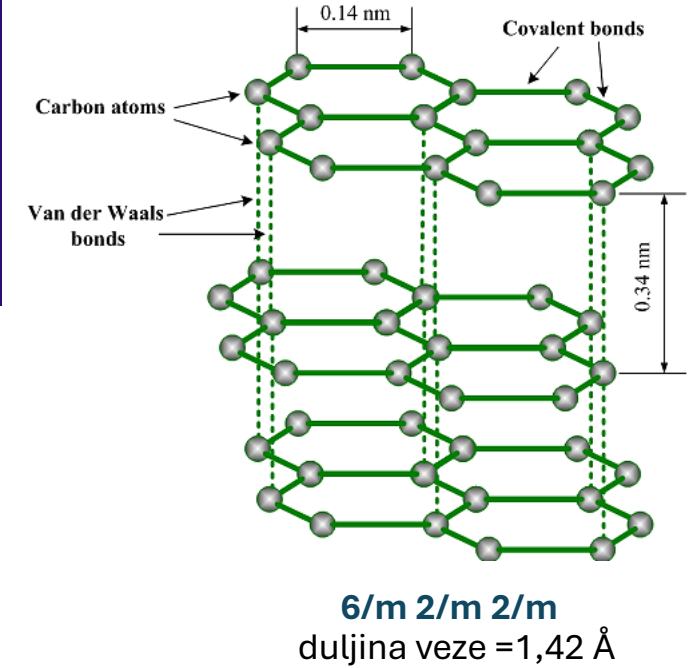
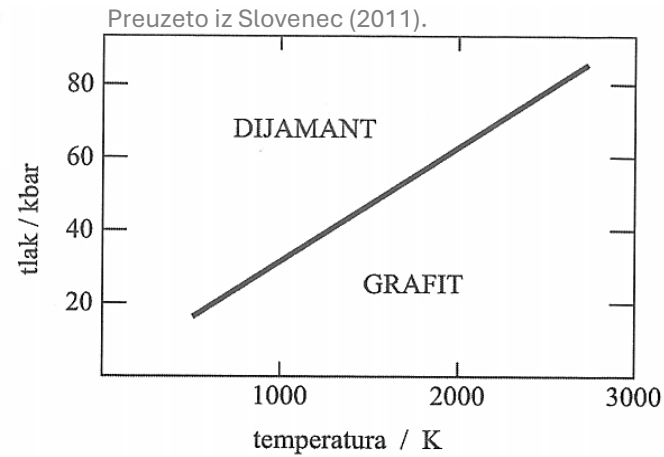
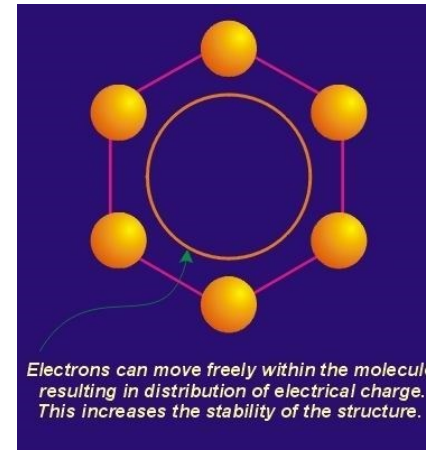
Polimorfija

C

- dijamant (F d3m)
- grafit (P 6₃/mmc)



dijamant

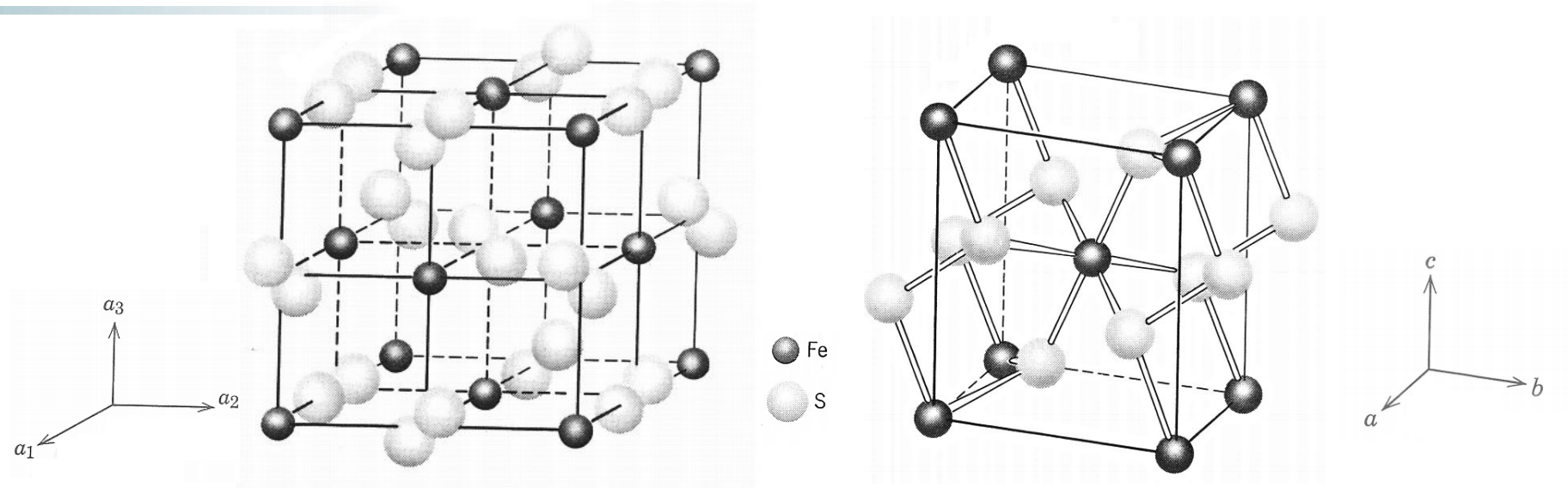


grafit

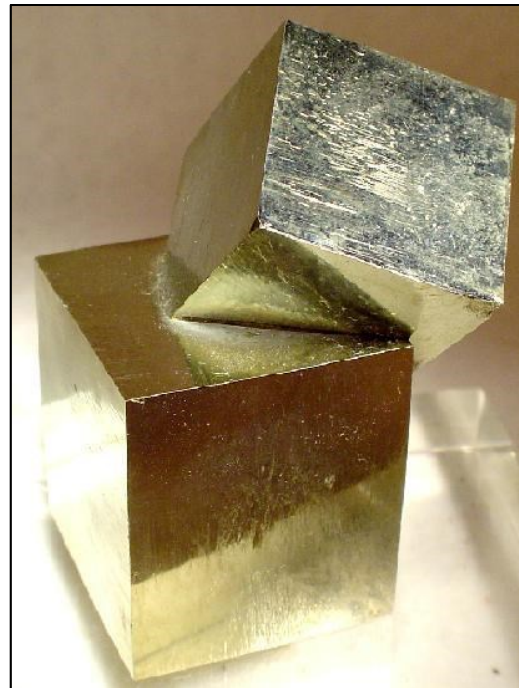
Polimorfija



- pirit (P a3)
- markazit (P nmm)



pirit
 $\frac{2}{m} \frac{2}{m} \frac{3}{m}$



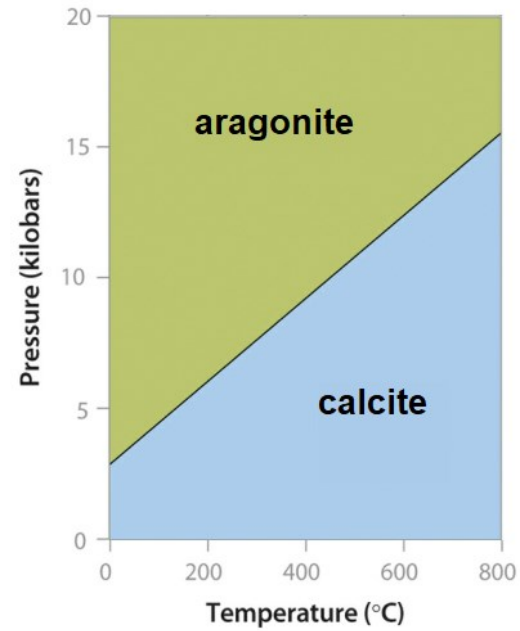
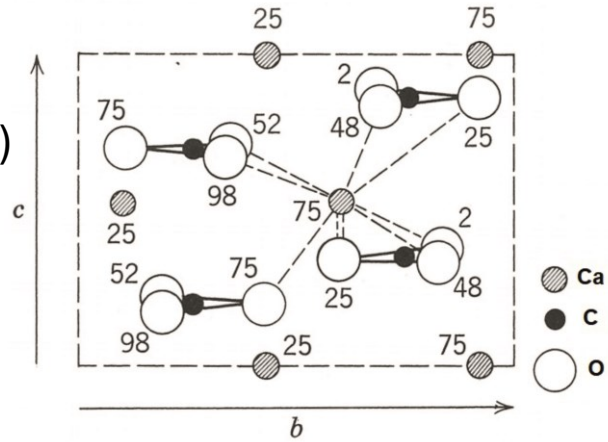
markazit
 $\frac{2}{m} \frac{2}{m} \frac{2}{m}$



Polimorfija

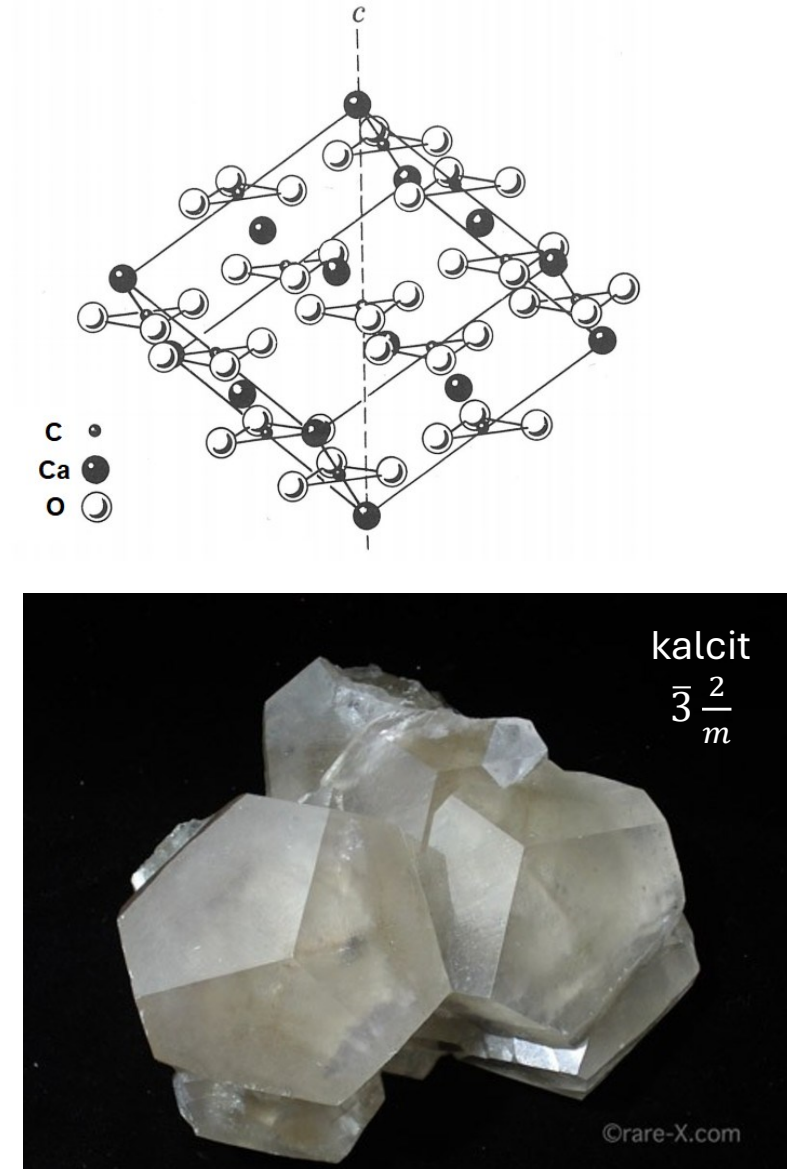


- kalcit ($R \bar{3}c$)
- aragonit ($P \text{ nam}$)



Eksperimentalna polja stabilnosti aragonita i kalcita.

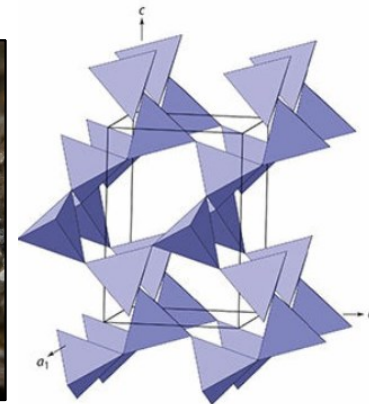
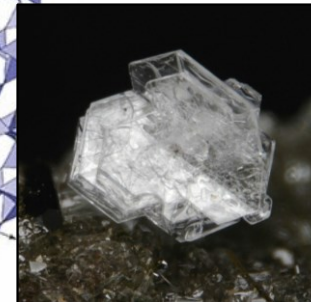
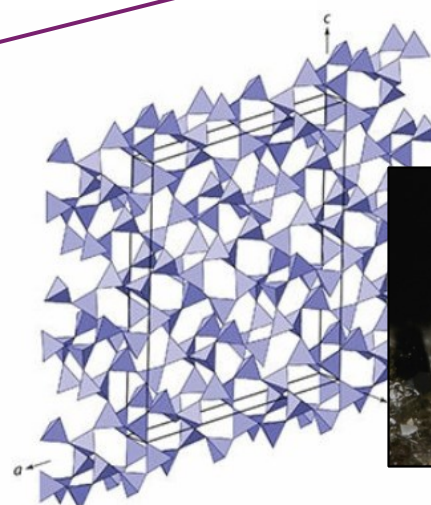
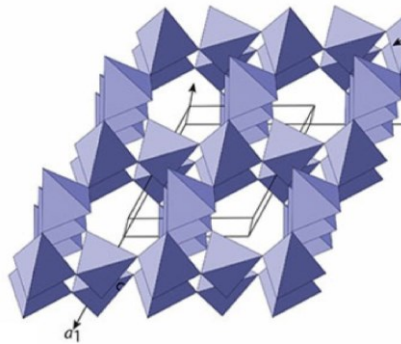
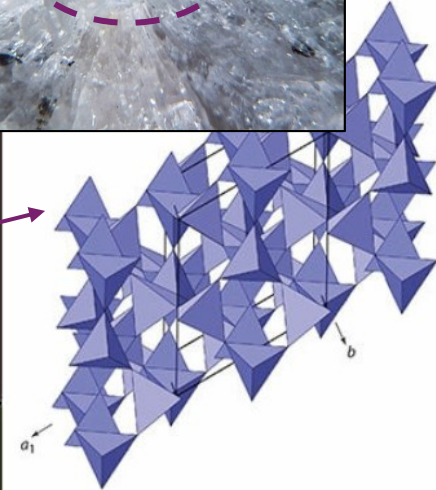
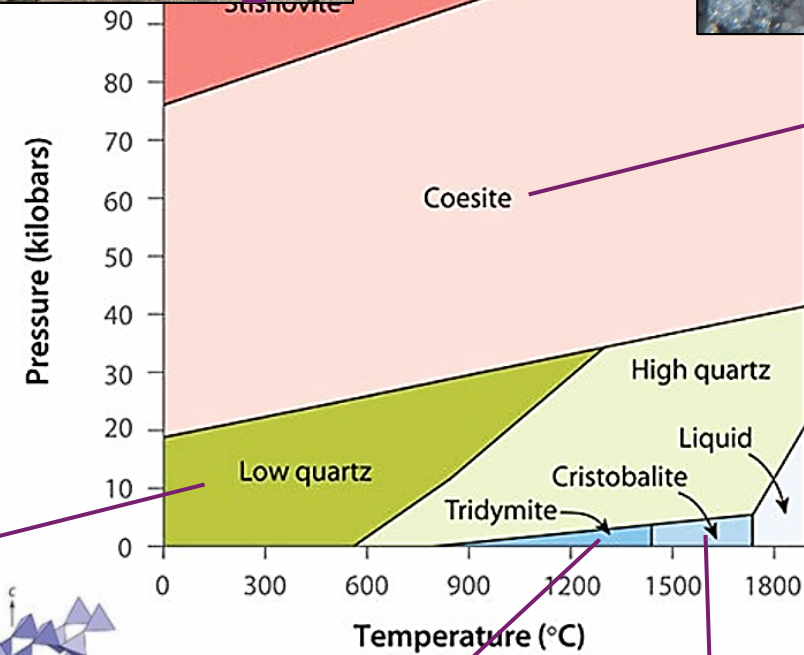
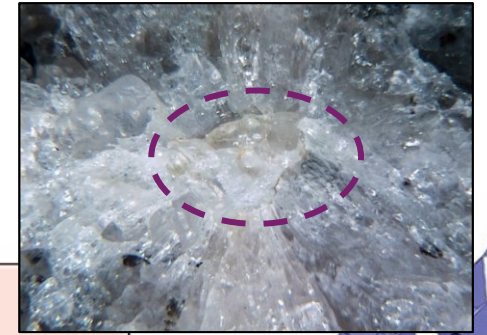
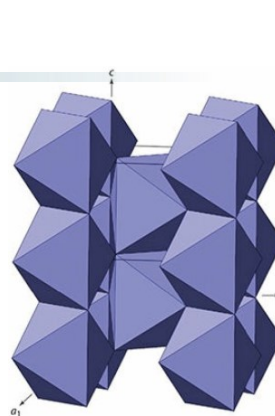
Preuzeto i prilagođeno iz Klein & Philpotts (2013).



Polimorfija

SiO₂

- α-kvarc (P 3₁2)
niskotemperaturni (*low quartz*)
 - β-kvarc (P 6₂22)
visokotemperaturni (*high quartz*)
 - tridimit (P 6₃/mmc do C 1)
 - cristobalit (P 4₁2₁2*)
*pseudokubični
 - coesit (C 2/c)
 - stishovit (P 4₂/mnm)
- visoke T
- visoki p



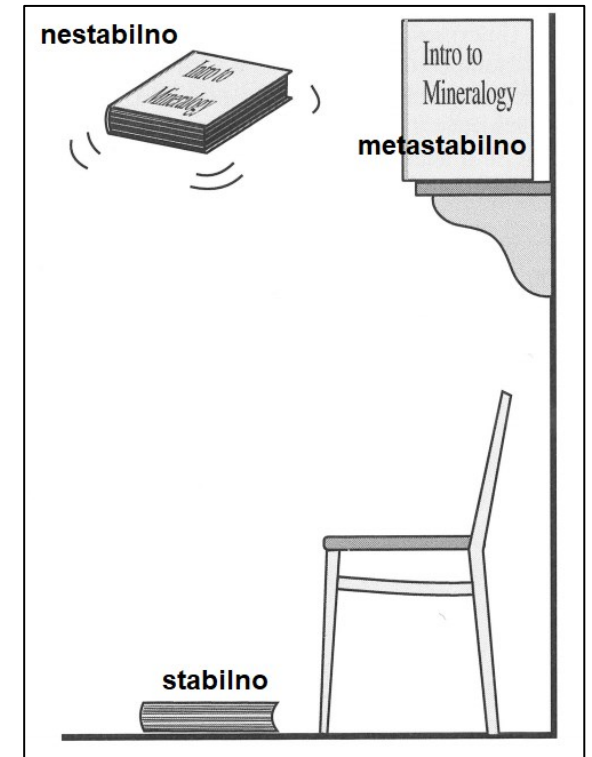
Polimorfija

- ! Svaka polimorfna modifikacija kao energetski najpogodnija stabilna je u određenim p-T uvjetima.
- Promjena uvjeta → moguć prijelaz u drugu modifikaciju* = **polimorfni prijelaz (transformacije)**

* ali i ne mora! = **metastabilno stanje**
primjer: dijamant vs. grafit

Prijelazi među polimorfima:

- 1) Distrozijski (deformacijski) polimorfizam
- 2) Rekonstrukcijski polimorfizam
- 3) Polimorfizam tipa red-nered



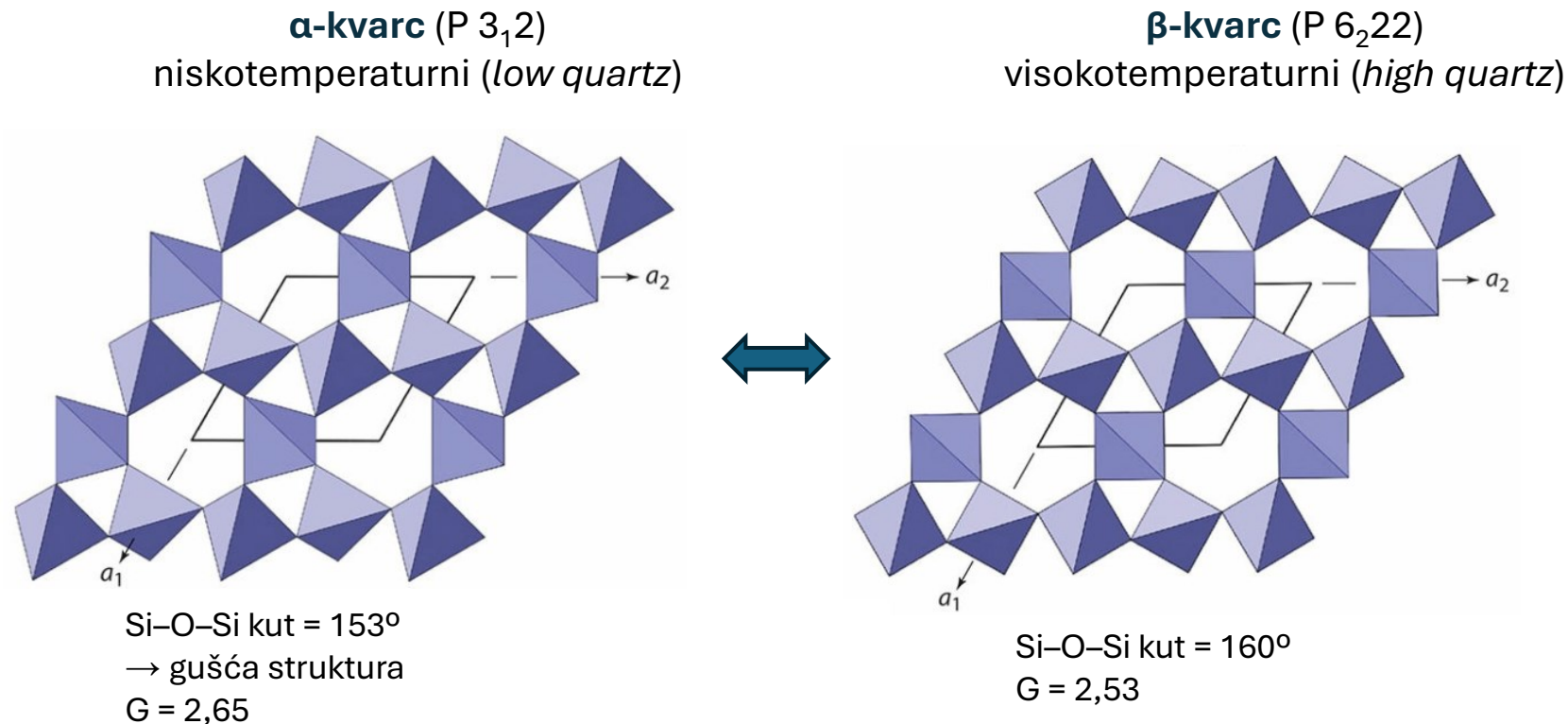
Preuzeto iz Nesse (2000).

Polimorfni prijelazi

1) Distrozijski (deformacijski) polimorfizam

- prijelaz koji ne uključuje kidanje kemijskih veza
- zahtjeva malo energije
→ jednostavno savijanje (distorzija) strukture uz podešavanje kutova među vezama
- brzo i **reverzibilno** → polimorfi **automatski** prelaze jedan u drugi uz promjenu uvjeta sredine

Primjer:

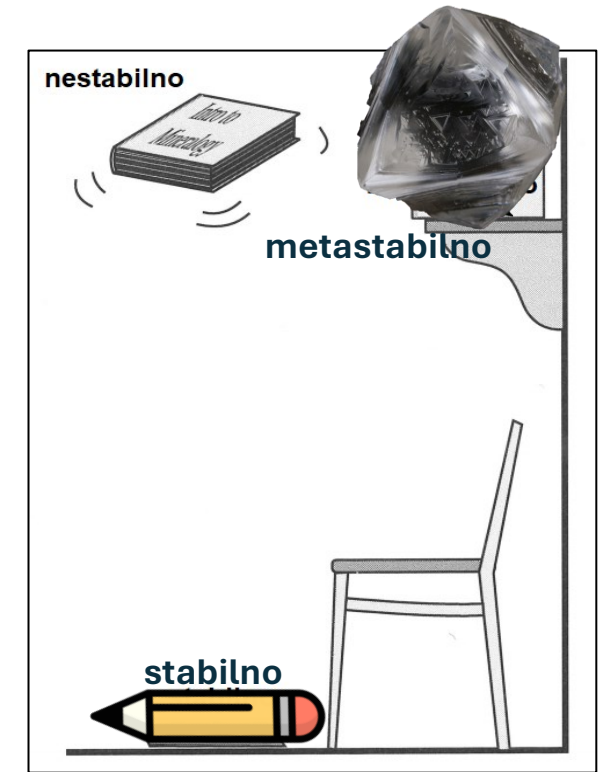
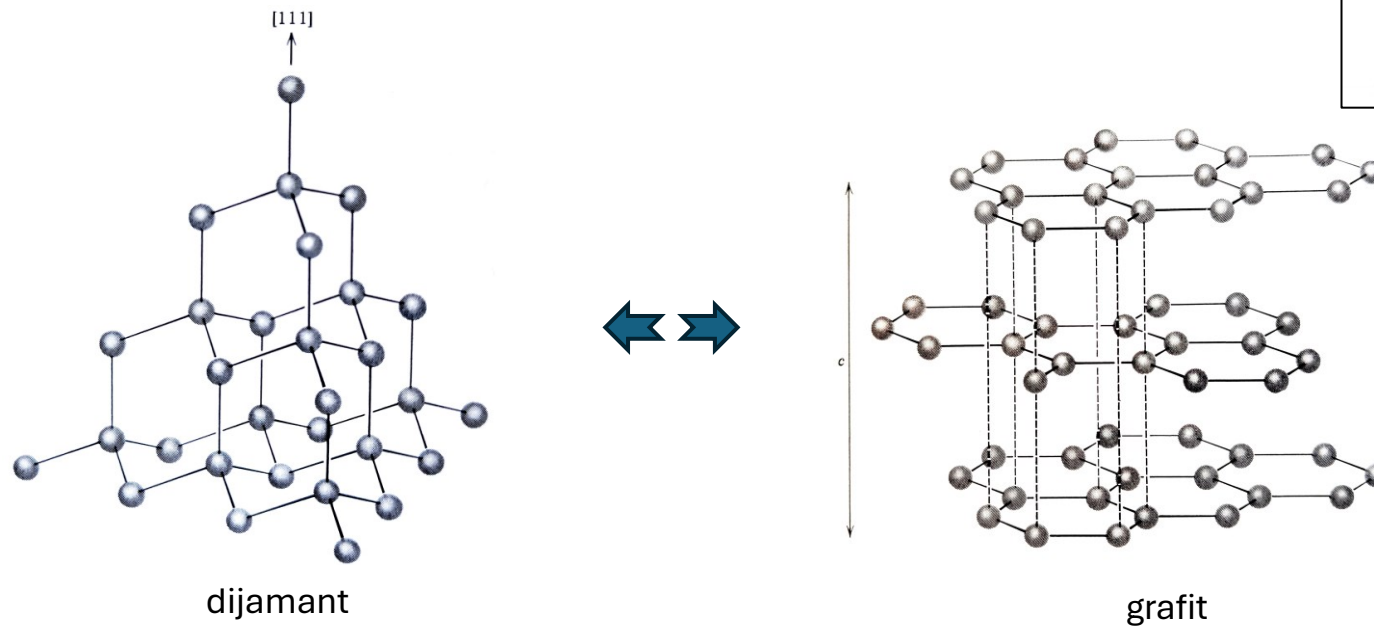


Polimorfni prijelazi

2) Rekonstrukcijski polimorfizam

- reorganizacija strukture = **kidanje veza** i preraspodjela strukturnih jedinica
- moguće formiranje novih koordinacijskih poliedara
- zahtjeva mnogo energije
- **nije reverzibilno**

Primjer 1: grafit vs. dijamant

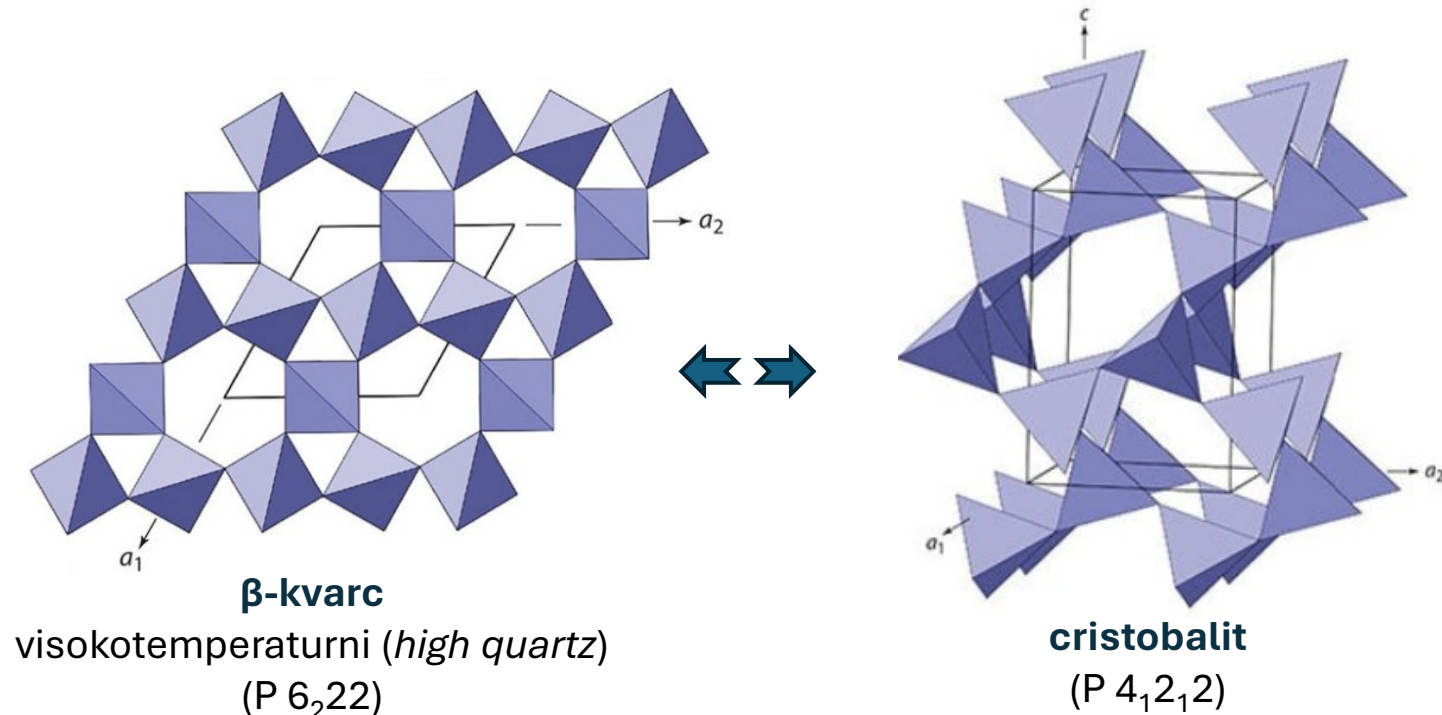


Polimorfni prijelazi

2) Rekonstrukcijski polimorfizam

- reorganizacija strukture = **kidanje veza** i preraspodjela strukturnih jedinica
- moguće formiranje novih koordinacijskih poliedara
- zahtjeva mnogo energije
- **nije reverzibilno**

Primjer 2: SiO₂ modifikacije*



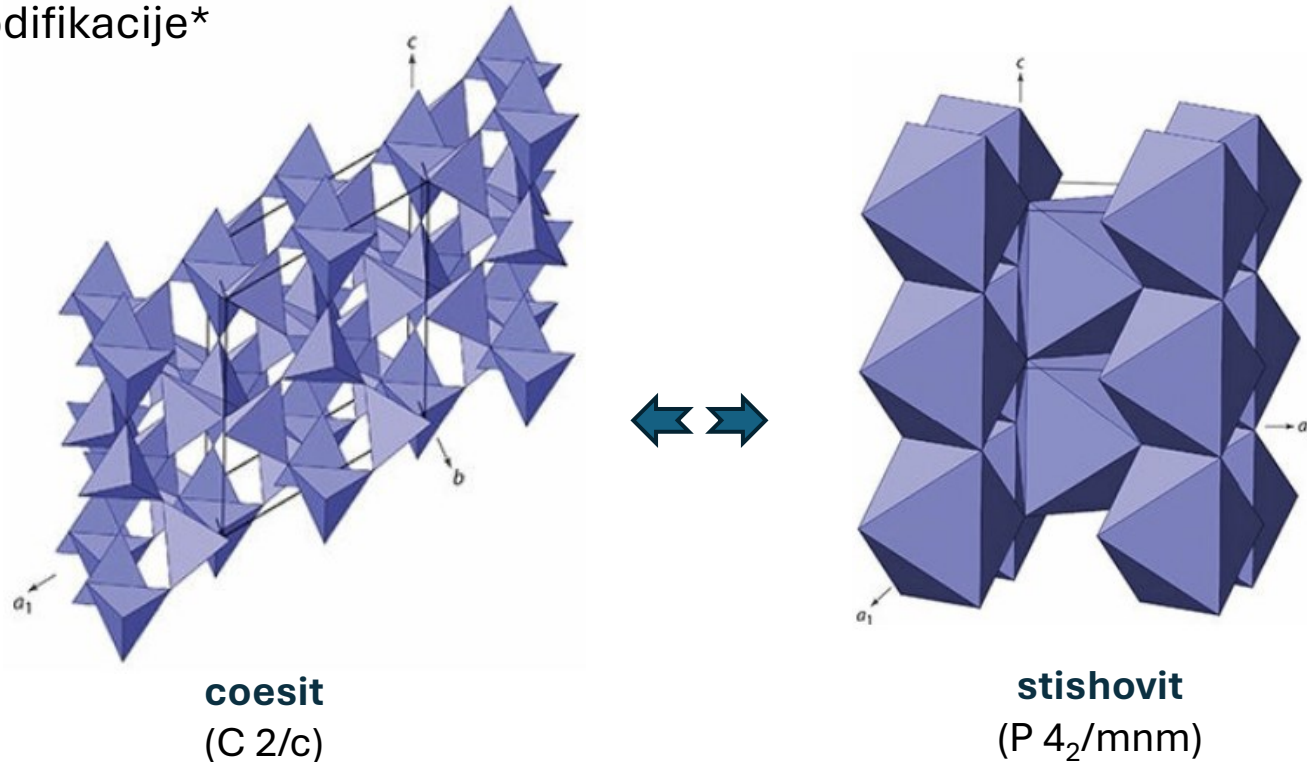
* osim prijelaza između α- i β-kvarca

Polimorfni prijelazi

2) Rekonstrukcijski polimorfizam

- reorganizacija strukture = **kidanje veza** i preraspodjela strukturnih jedinica
- moguće formiranje novih koordinacijskih poliedara
- zahtjeva mnogo energije
- **nije reverzibilno**

Primjer 2: SiO_2 modifikacije*



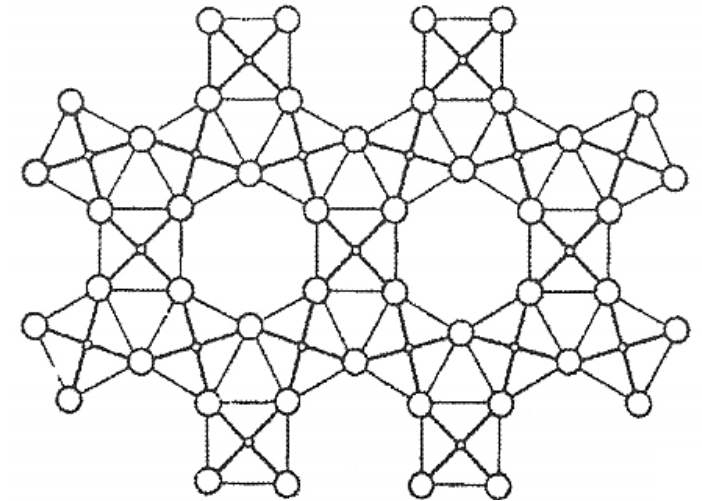
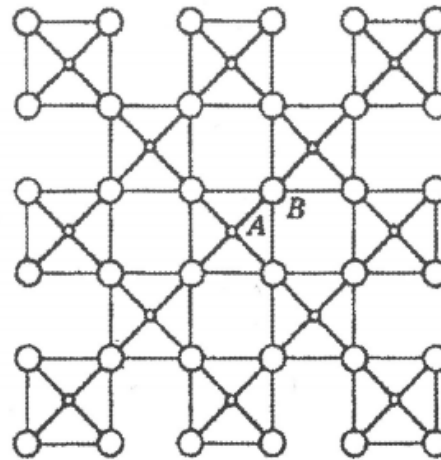
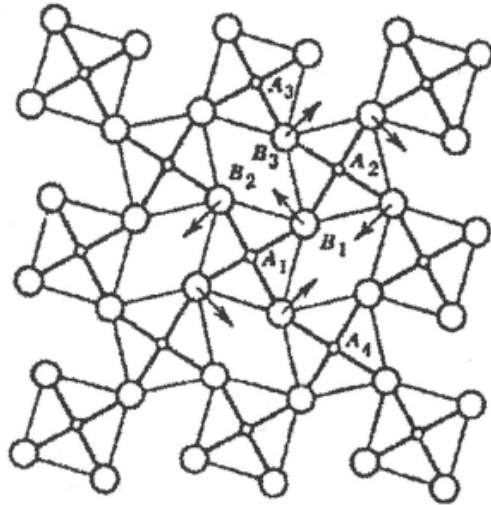
* osim prijelaza između α - i β -kvarca

Polimorfni prijelazi

**distrozijski (deformacijski)
polimorfizam**

vs.

**rekonstrukcijski
polimorfizam**

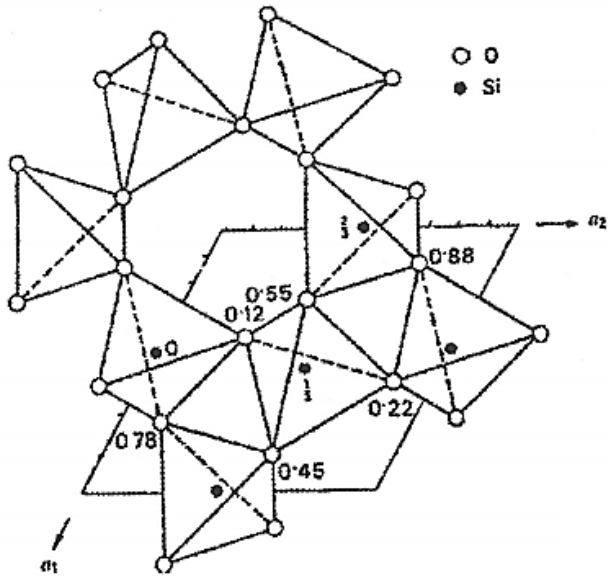


Polimorfni prijelazi

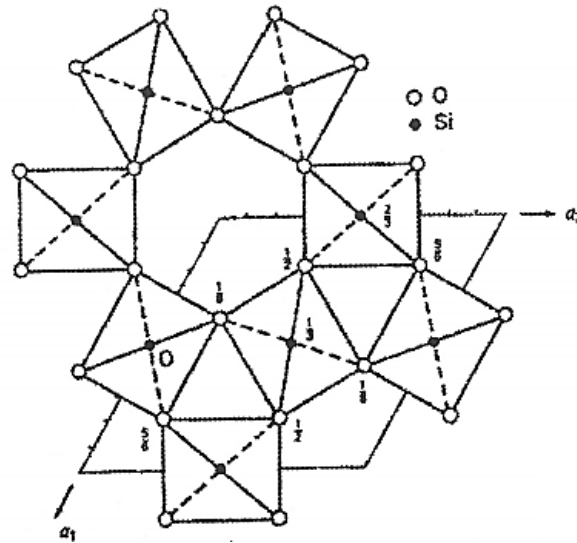
**distrozijski (deformacijski)
polimorfizam**

vs.

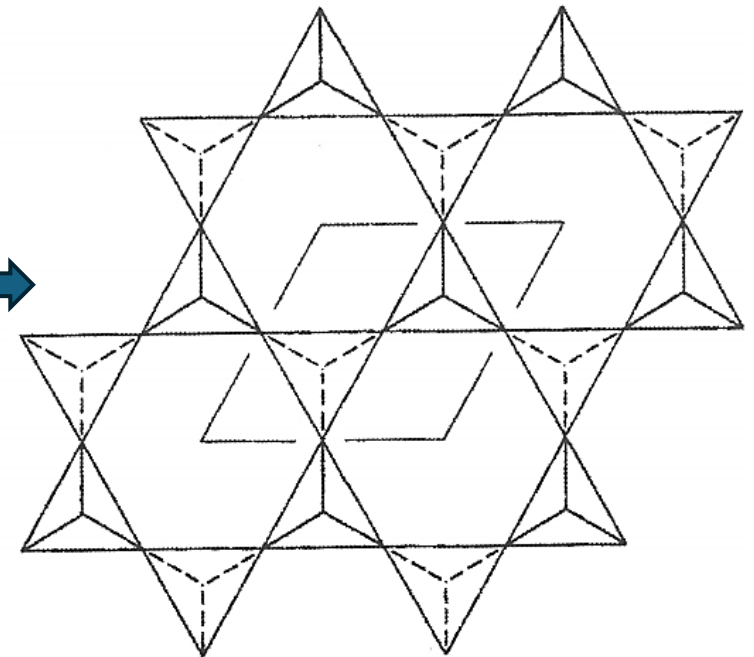
**rekonstrukcijski
polimorfizam**



α-kvarc



β-kvarc



tridimit

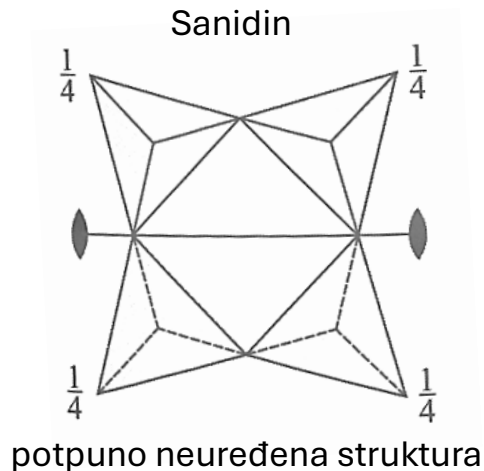
Polimorfni prijelazi

3) Polimorfizam tipa red-nered

- atomi nekog elementa mogu biti raspoređeni **statistički na više položaja** u strukturi ili se mogu koncentrirati na određenim položajima (**uređenje strukture**)
- stupanj uređenosti uvjetovan je **temperaturom** na kojoj je došlo do kristalizacije te **brzinom hlađenja**
- kristalizacija na visokim temperaturama rezultira neuređenim strukturama
- sporo hlađenje → uslijed difuzije dolazi do sređivanja strukture → prijelaza iz tzv. visokotemperaturne modifikacije u niskotemperaturnu

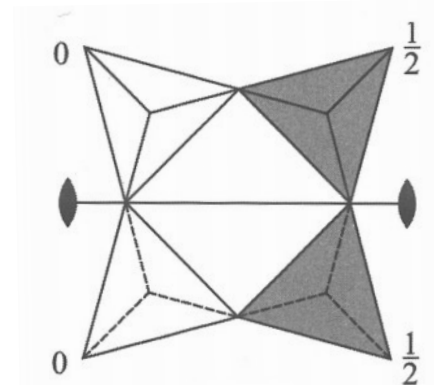
Primjer:
K-feldspati
 KAlSi_3O_8

vrlo naglo hlađenje
(kaljenje, *quenching*)

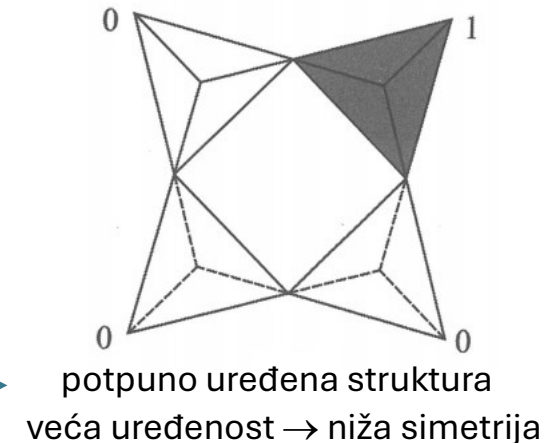


$C 2/m$

Ortoklas



Mikroclin



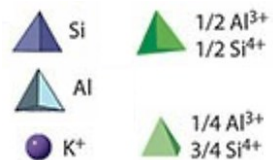
$C \bar{1}$

Polimorfni prijelazi

3) Polimorfizam tipa red-nered

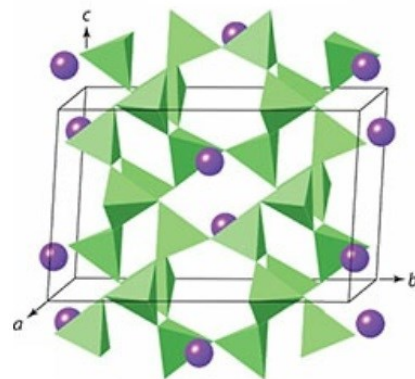
- atomi nekog elementa mogu biti raspoređeni **statistički na više položaja** u strukturi ili se mogu koncentrirati na određenim položajima (**uređenje strukture**)
- stupanj uređenosti uvjetovan je **temperaturom** na kojoj je došlo do kristalizacije te **brzinom hlađenja**
- kristalizacija na visokim temperaturama rezultira neuređenim strukturama
- sporo hlađenje → uslijed difuzije dolazi do sređivanja strukture → prijelaza iz tzv. visokotemperaturne modifikacije u niskotemperaturnu

Primjer:
K-feldspati
 KAlSi_3O_8



vrlo naglo hlađenje
(kaljenje, *quenching*)

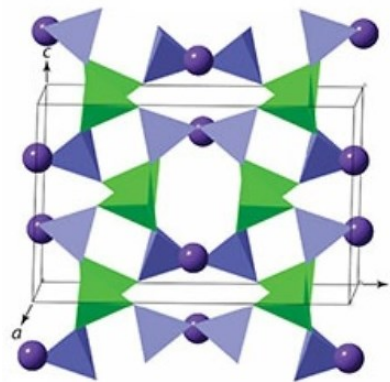
Sanidin



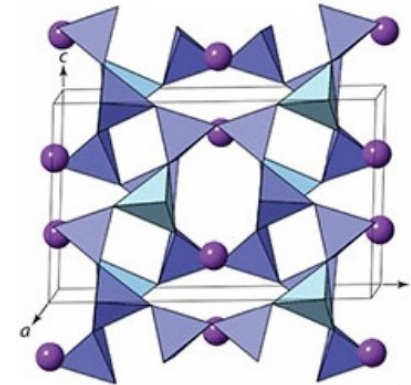
potpuno neuređena struktura

$C 2/m$

Ortoklas



Mikroklin



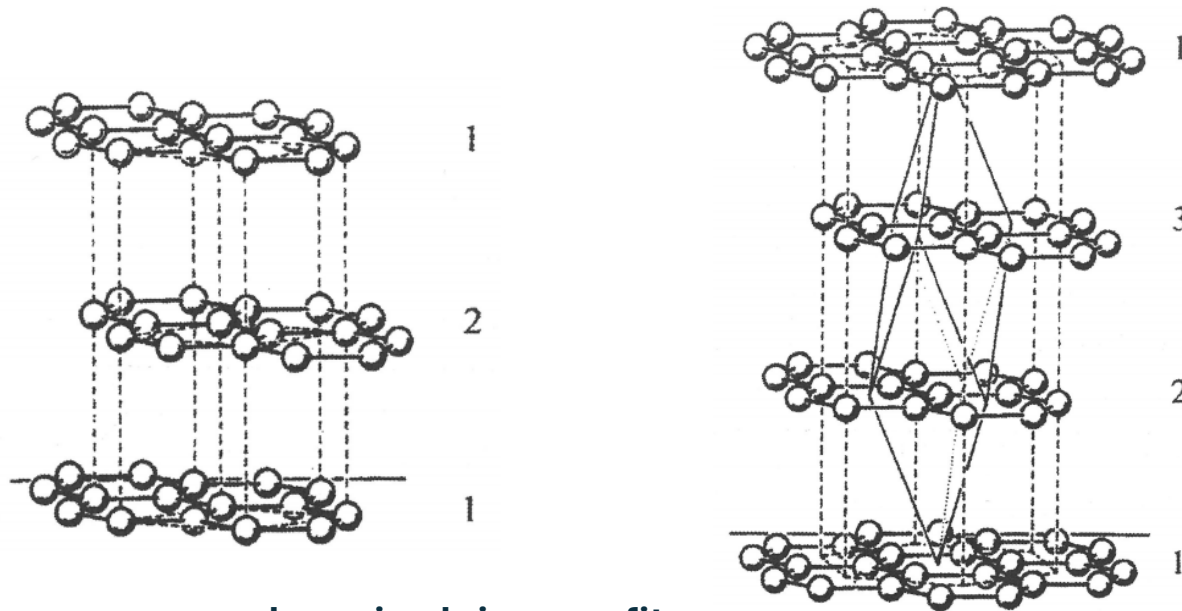
potpuno uređena struktura
veća uređenost → niža simetrija

$C \bar{1}$

Politipizam

POLITIPIJA = posebna vrsta polimorfije kod koje se polimorfne modifikacije razlikuju samo **po načinu slaganja** identičnih dvodimenzionalnih slojeva
→ dvije dimenzije jedinične ćelije (paralelne sa slojevima) su jednake, a razlikuje se treća koja ovisi o broju slojeva nakon kojeg dolazi do ponavljanja

Primjer 1: guste slagaline

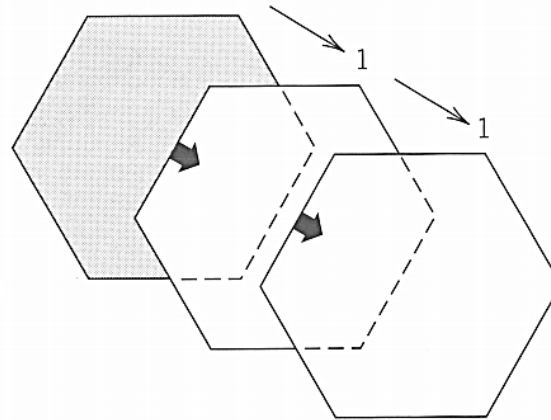
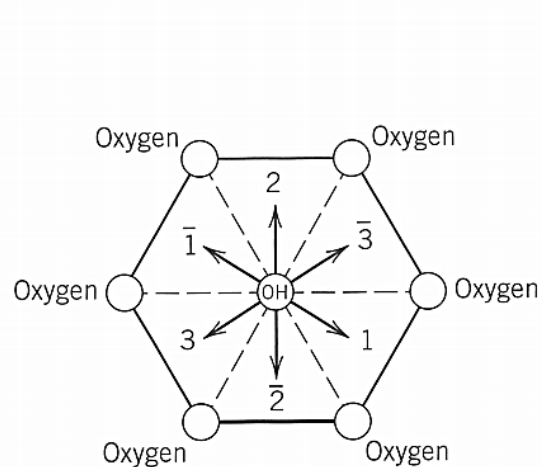


slaganje slojeva grafita

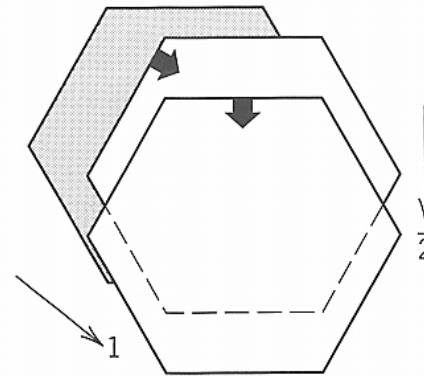
Politipizam

POLITIPIJA = posebna vrsta polimorfije kod koje se polimorfne modifikacije razlikuju samo **po načinu slaganja** identičnih dvodimenzionalnih slojeva
→ dvije dimenzije jedinične ćelije (paralelne sa slojevima) su jednake, a razlikuje se treća koja ovisi o broju slojeva nakon kojeg dolazi do ponavljanja

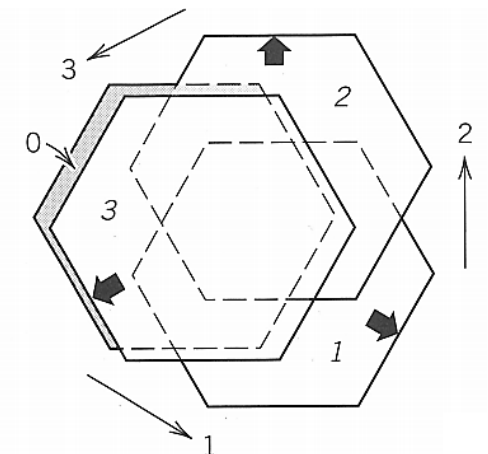
Primjer 2: tinjci



[1, 1, 1,...]; 1M polytype;
straight stacking: 0° rotation



[1, $\bar{2}$, 1, $\bar{2}$,...]; 2M₁ polytype;
60° rotation between layers



[1, 2, 3, 1, 2, 3,...]; 3T polytype;
120° rotation between layers



muskovit, $\text{KAl}_2\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$

Pseudomorfija

PSEUDOMORFIJA = pojava kod koje mineral ima kristalne forme drugog minerala
→ kristal minerala je izmijenjen tako da mu se promijeni kemijski sastav i struktura, no kristalne forme ostaju očuvane (npr. kod trošenja)

Mehanizmi nastanka:

- polimorfna transformacija
- supstitucija
- inkrustacija
- alteracija

! pseudomorfija ≠ pseudoforma



kvarc (SiO_2) po halitu (NaCl), inkrustacija



goethit FeO(OH) po piritu FeS_2 , alteracija



petrificirano drvo (silika),
supstitucija

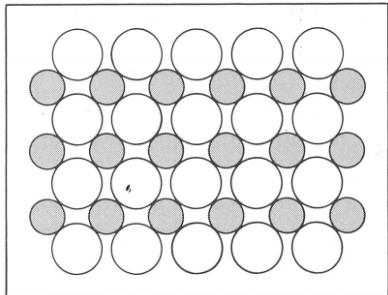
Mineraloidi

MINERALOIDI = mineralima slični prirodni materijali koji nemaju pravilnu trodimenzionalnu kristalnu strukturu, ali se ubrajaju u minerale

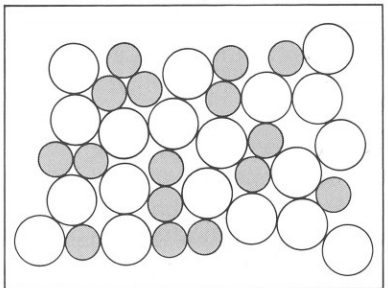
1) Amorfni ili djelomično amorfni minerali

Primjer: opal $\text{SiO}_2 \times n \text{H}_2\text{O}^*$

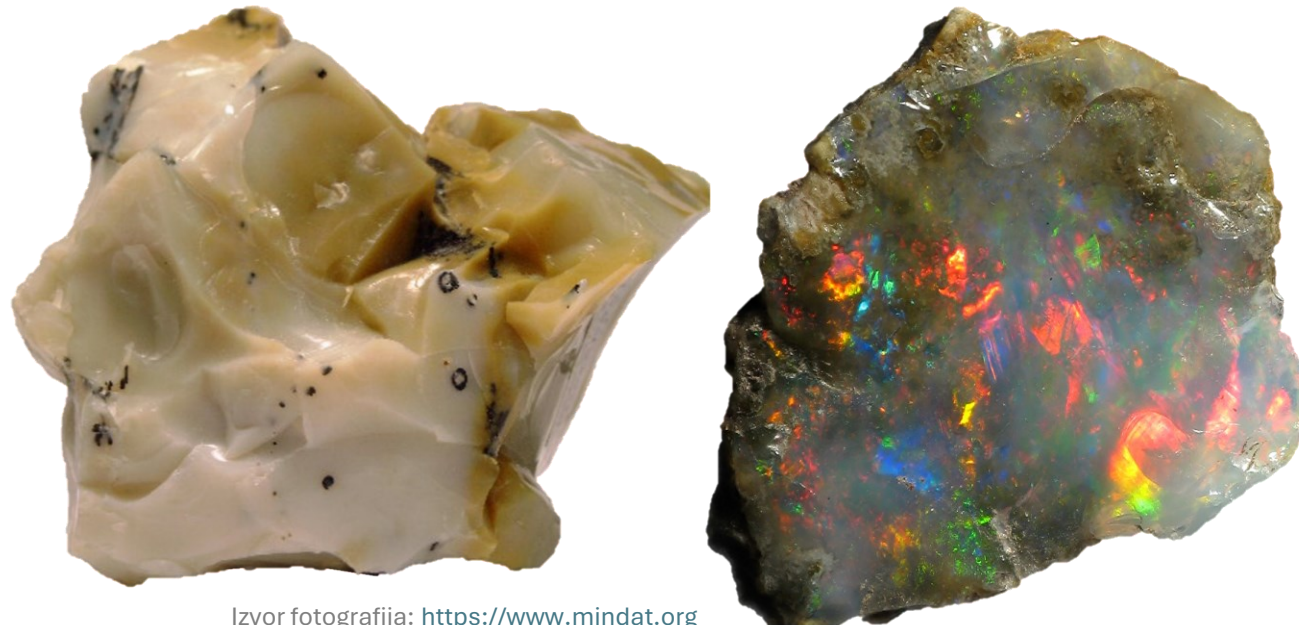
*n = nedefiniran udio vode (5–10 %)



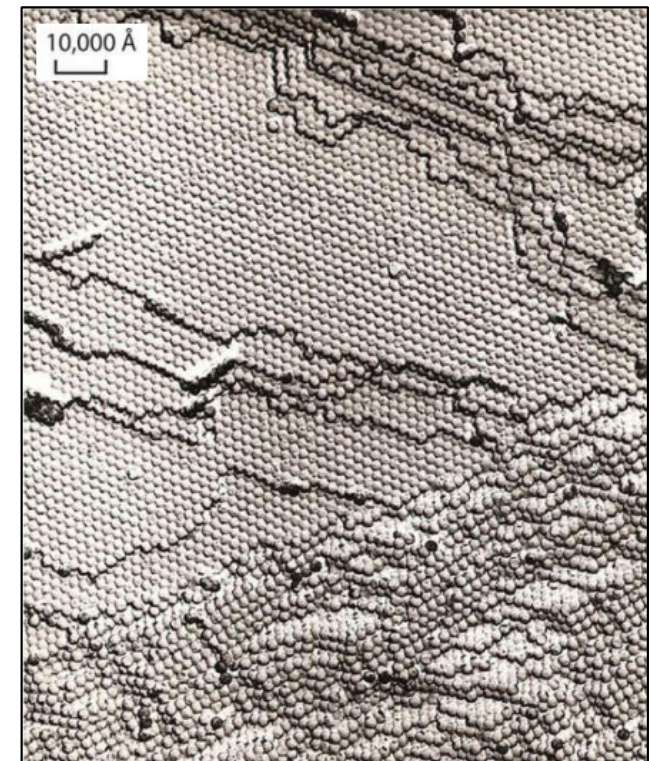
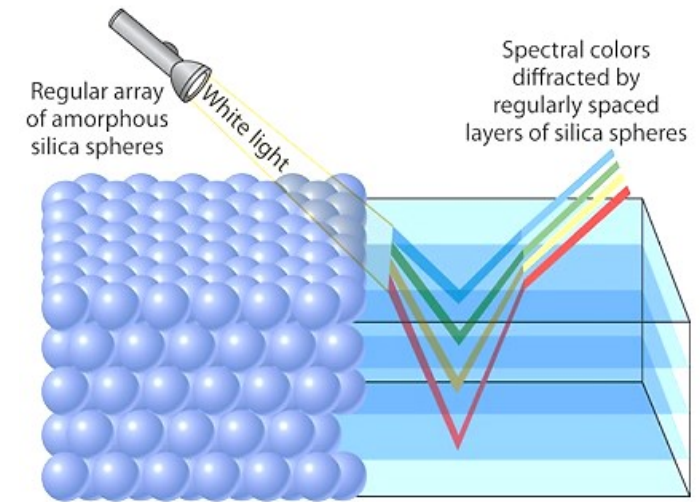
kristalizirana tvar



amorfna tvar



Izvor fotografija: <https://www.mindat.org>



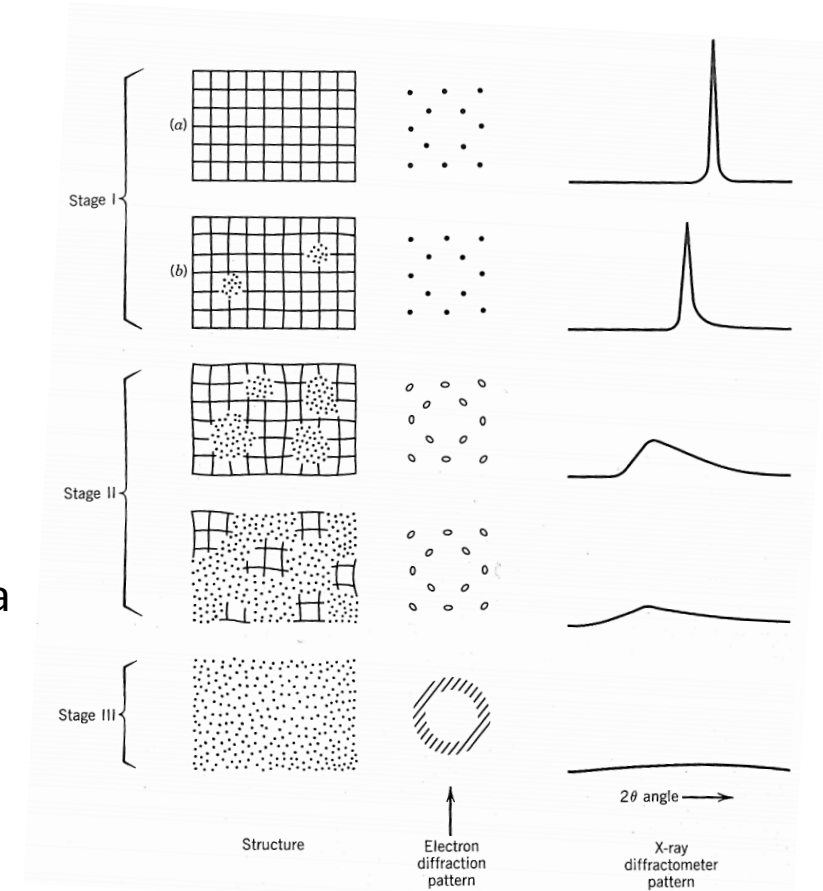
Preuzeto iz Klein & Philpotts (2013).

Mineraloidi

MINERALOIDI = mineralima slični prirodni materijali koji nemaju pravilnu trodimenzionalnu kristalnu strukturu, ali se ubrajaju u minerale

2) Metamiktne minerali

→ originalno bili kristalinični, ali kristalna struktura im je uništena pod utjecajem radijacije (α -raspad) porijeklom iz radiokativnih elemenata u njihovoj strukturi (npr. U, Th)



Preuzeto iz Nesse (2000).

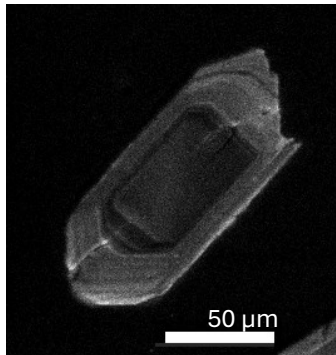
Mineraloidi

MINERALOIDI = mineralima slični prirodni materijali koji nemaju pravilnu trodimenzionalnu kristalnu strukturu, ali se ubrajaju u minerale

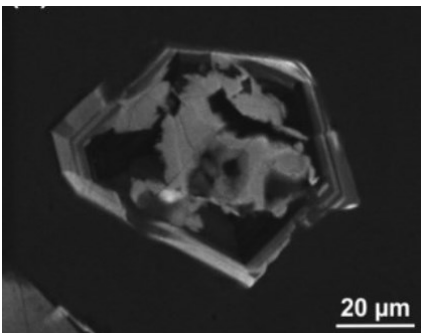
2) Metamiktne minerale

→ originalno bili kristalini, ali kristalna struktura im je uništena pod utjecajem radijacije (α -raspad) porijeklom iz radiokativnih elemenata u njihovoj strukturi (npr. U, Th)

Primjer: cirkon $\text{Zr}(\text{SiO}_4)$



metamiktne cirkon



**manja tvrdoća i gustoća
tamnije obojeni**



Struktura olivina s metamiktne domenama.
Dobiveno pomoću HRTEM-a.