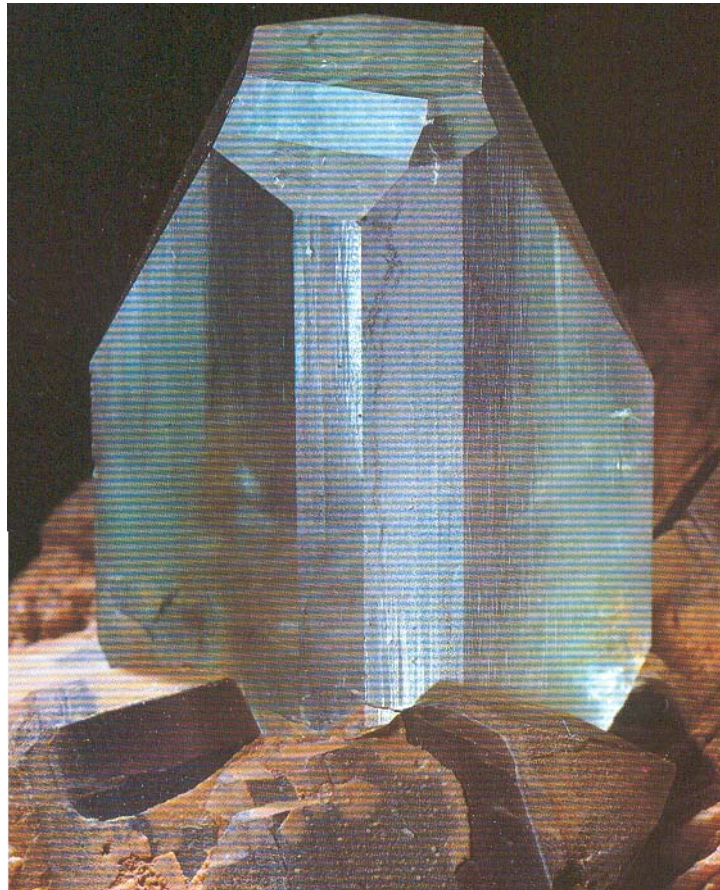


SZAKÁLL SÁNDOR
ÁSVÁNYRENDSZERTAN

A kristályrajzokat készítette: Fehér Béla

Kilencedik rész: Szilikátok 1.
(Nezo-, szoro- és cikloszilikátok)



IX. osztály. Szilikátok

A szilikátok osztályában található a legtöbb ásvány, melyből jelenleg kb. 1100-at ismerünk (ez az összes ásványok közel 30%-a). Ennek oka kristályszerkezetük sokfélesége, kémiai változatosságuk, illetve, hogy legfontosabb alkotóik (Si, O, Al) egyúttal a földkéreg leggyakoribb elemei. Becslések szerint a fölkéreg mintegy 70–75 %-át szilikátok alkotják (az SiO₂-ásványokkal együtt kb. 90–95 %-át!). Néhány kivételtől eltekintve az uralkodó magmás kőzetalkotók mind szilikátok. A talaj, az építkezésekhez használt téglá, építőkő, üveg szintén nagy százalékban szilikátos fázisokból állnak.

A szilikátok közé tartozó ásványok szerkezetének alapvető építőelemei az SiO₄-tetraéderek. Ennek központi kationja (Si⁴⁺) 50%-ban kovalens, 50%-ban ionos kötéssel kapcsolódik az öt tetraédesen körülvevő 4 oxigénhez. A (SiO₄)⁴⁻ komplex anionban lévő kötések általában erősebbek az anion és (a komplex anionon kívüli) kationok közötti kötéseknel. Az SiO₄-tetraéderekre jellemző, hogy polimerizációra képesek. A tetraéderek csúcsán lévő oxigének megosztásával kettős, illetve gyűrű alakú, hármas, négyes és hatos képződményeket alkothatnak. Az SiO₄-tetraédereknek egy, két, illetve három irányba történő kapcsolódásával láncokat, rétegeket, végül háromdimenziós, térhálós szerkezeteket építenek föl. Ez eredményezi azt az óriási változatosságot, ami a szilikátok szerkezetét jellemzi.

Az SiO₄-tetraéderek egymáshoz kapcsolódása alapján a szilikátok osztályát 6 alosztályra osztjuk. A nezoszilikátokban az SiO₄-tetraéderek egymással közvetlenül nem kapcsolódnak össze (nezo = sziget). A szoroszilikátokban két SiO₄-tetraéder kapcsolódik egymáshoz, ezek alapeleme az (Si₂O₇)⁶⁻ csoport. Ha két tetraéder kapcsolódik össze, akkor az aniont szoroszilikátnak, míg ha zárt, gyűrűs alakzatok jönnek létre, (Si_xO_{3x})^{2x-} alapegységekkel, cikloszilikátoknak nevezzük (ciklo = gyűrű). A tetraéderek láncá vagy szalagokká kapcsolódásával jellemezhetők az inoszilikátok (ino = lánc). Ha egyszerű láncá kapcsolódnak össze, az alapegység (Si₂O₆)⁴⁻ (vagy SiO₃). Ha kettős láncot alkotnak, az alapegység (Si₄O₁₁)⁶⁻. Ha a tetraéderek három oxigénje úgy kapcsolódik össze, hogy egy réteget képeznek, melyek alapegysége (Si₂O₅)²⁻, ezeket filloszilikátoknak nevezzük (fillo = réteg). Amikor az SiO₄-tetraéder mind a négy oxigénje egy-egy szomszédos tetraéder oxigénjeivel közös lesz, akkor háromdimenziós szerkezet jön létre, melyben az alapegység az SiO₂. Ezeket nevezzük tektoszilikátoknak (tekto = építmény). Fontos megjegyezni, hogy az egyes típusok között merev határok nem léteznek, sőt a legtöbb esetben átmeneti típusok figyelhetők meg. Erre példa a három, négy, vagy öt láncból álló szerkezeti egységek jelenléte, melyek az inoszilikátoktól a filloszilikátok irányába mutatnak átmenetet.

A szilikátok másik sajátossága, hogy az SiO₄-tetraéderben lévő Si⁴⁺-t Al³⁺ helyettesítheti. Tekintettel arra, hogy az Al³⁺ ionrádiusza nagyobb, mint a Si⁴⁺-é, a két ion méretbeli eltérése miatt az Al → Si helyettesítés csak bizonyos határig terjedhet. Az Al³⁺ a szilikátok szerkezetében kettős szerepet tölt be, egyrészt az előbbieket szerint tetraédes koordinációban a Si⁴⁺-ot helyettesíti az (SiO₄)⁴⁻ anionban, másrészt kationként – legtöbbször egyéb kationokkal együtt – a rács semlegesítésében is részt vesz. Ilyen esetekben azonban oktaédes koordinációval szerepel az oxigénnel vagy a (OH)-ionnal. A koordinációs szám a kationok izomorf helyettesítésében is fontos szerepet játszik, ugyanis az ionméret mellett a helyettesítés lehetősége alapvetően a koordinációtól függ. A szilikátszerkezetek összetett [TO₄] anionjában alapvetően a Si⁴⁺ és az Al³⁺ jelenik meg a T helyén. Megemlítendő még, hogy az Al³⁺ → Si⁴⁺ helyettesítés másik következménye, hogy ezáltal negatív töltésfelesleg jön létre, melyet a szerkezetben más helyettesítő kationoknak kell kiegyenlíteniük.

A kis méretű kationok (például Be²⁺) általában tetraédesen koordináltak az oxigénnel. A gyakoribb kationok közül az Mg²⁺, Fe²⁺, Fe³⁺, Al³⁺ és Ti⁴⁺ oktaédes koordinációban szerepelnek az oxigénnel. Bár ezek között láthatóan más és más töltésűek vannak, az ionméret hasonlósága miatt azonos pozíciókat foglalhatnak el a szerkezetben. Ezzel szemben a nagyobb méretű kationok, mint például a Na⁺ és a Ca²⁺ nyolcas

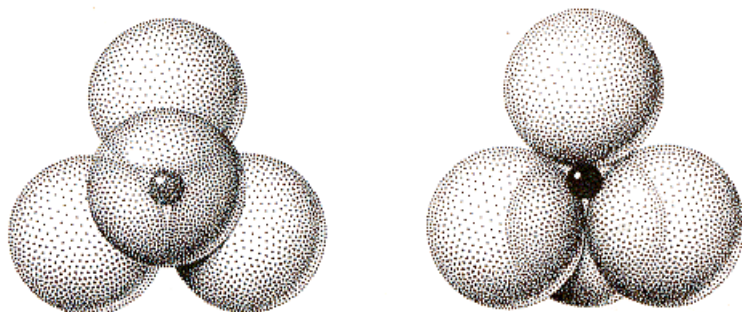
koordinációban jelennek meg az oxigénnel. A szilikát szerkezetekben jelenlévő legnagyobb méretű kationok (például K^+ , Ba^{2+}) 8-as, vagy 12-es koordinációban szerepelnek és méretük miatt csak korlátozottan helyettesíthetők más kationokkal. A különböző töltéssel rendelkező kationok egymás közötti helyettesítése csak kapcsoltnak mehet végbe, mely bizonyos ásványcsoportokban (például plagioklászok esetén) tipikus jelenség. Az anionokat illetően a legfontosabb O^{2-} mellett, (vagy helyett) (OH)- és/vagy F-ion is gyakran megjelenik. A két utóbbi azonban csak oktaéderez koordinációban szerepelhet. A tágasabb térkitöltésű szerkezetekben – melyekben például csatornákat találhatunk, mint a zeolitoknál – molekuláris víz, illetve más nagyobb méretű összetett anionok – $(SO_4)^{2-}$, $(CO_3)^-$ stb. – is megtalálhatók a rácsban.

A szilikátok csoportosítása alapvetően az SiO_4 -tetraéderek egymáshoz viszonyított helyzete alapján történik. Az alosztályokban a nezoszilikátoktól a tektoszilikátokig – az önálló SiO_4 -tetraéderektől a térhálós kapcsolódásokig – terjed a sor. Az alosztályokon belül zömmel a kristálykémiai jelleg és a kémiai összetétel a csoportosítás alapja.

IX. A. alosztály. Nezoszilikátok

Szerkezetükben önálló $(SiO_4)^{4-}$ összetett anionok találhatóak, melyek egymással nem közvetlenül, hanem kationok közvetítésével, ionos kötással kapcsolódnak össze (...ábra). A szerkezetüket alapvetően a térközi kationok mérete és töltése szabja meg. A nezoszilikátokra jellemző az atomcsoportok szoros illeszkedése, melynek eredménye az ide tartozó ásványok viszonylag nagy sűrűsége és keménysége. Amiatt, hogy az SiO_4 -tetraéderek függetlenek egymástól – azaz nem polimerizálódnak lánccá, rétegekké – azt eredményezi, hogy kristályaik zömmel izometrikus kifejlődésűek és nincs jellemző hasadásuk egyik irányban sem. (Ez utóbbi megállapítás különösen a gránát-csoport tagjaira igaz).

A nezoszilikátok osztályozása alapvetően annak alapján történik, hogy van-e pótanion a szerkezetben vagy nincs, illetőleg, hogy a kationok milyen koordinációban (4-es, 6-os, vagy 6-nál nagyobb) vesznek részt a szerkezet felépítésében. A gyakoribb pótanionok: O, OH, F, de ritkábban BO_3 , CO_3 , SO_4 vagy PO_4 is megjelenik a nezoszilikátokban. Néhány példa a fentiekre: nincs pótanion, a kation 4-es koordinációjú: fenakit, $Be_2(SiO_4)$; van pótanion, a kationok 6-os és 8-as koordinációjúak: braunit, $Mn^{2+}Mn^{3+}_6(OSiO_4)$; két pótanion van, a kation 6-os koordinációjú: topáz, $Al_2SiO_4(F,OH)_2$. Külön csoportot alkotnak az uranil-gyököt tartalmazó nezoszilikátok, ide tartozik a soddyit, $(UO_2)_2(SiO_4) \cdot 2H_2O$. Az alábbiakban a két legfontosabb csoportot, illetve néhány elterjedtebb ásványt mutatunk be részletesebben.

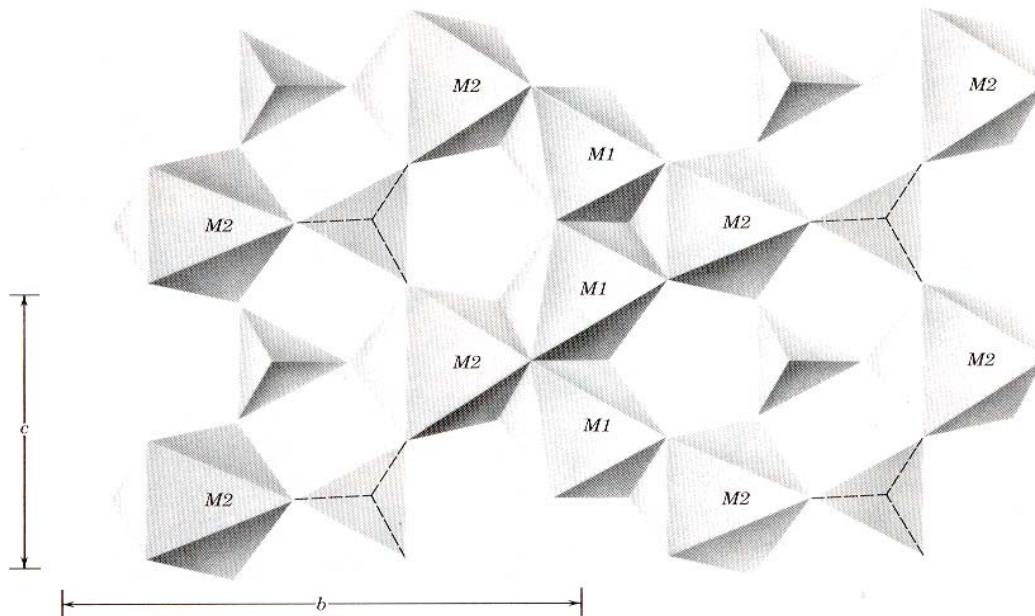


Az SiO_4 - összetett anion tetraéderez elrendeződése.

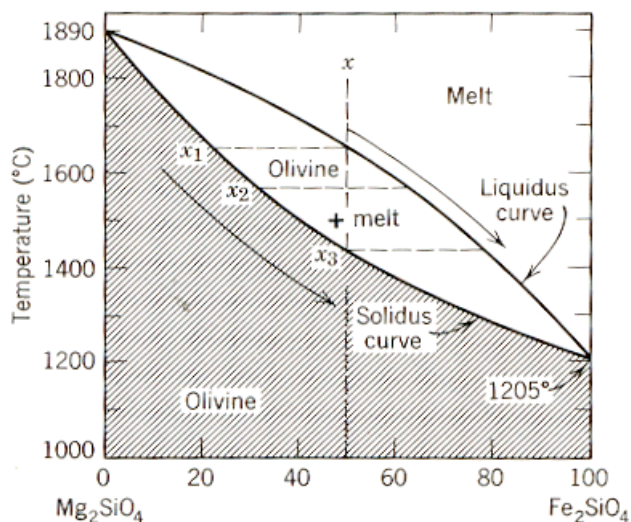
Olivin-csoport

A szerkezetükben SiO_4 -tetraéderek és MO_6 -oktaéderek találhatók. Ezek a poliéderek az (100) síkkal párhuzamos rétegeket alkotnak (...ábra). Az O-atomok a hexagonális legtömöttebb illeszkedésben vannak. Az oktaédes helyeket részben nagyobb méretű, két vegyértékű fémek ($M = \text{Mg}, \text{Fe}, \text{Mn}, \text{Ca}$ stb.) foglalják el. A csoport két szélső tagjában a Mg^{2+} és a Fe^{2+} – kristálykémiai hasonlóságuk alapján –, korlátlanul helyettesíthetik egymást (folyamatos szilárd oldatsort képeznek) (...ábra). Az elegyedés aránya szerint a kőzet tagokat régebben sokféle névvel ellátták, melyek között az olivin a legfontosabb. Ebben a forsterit (Fo) : fayalit (Fa) arány hozzávetőleg $\text{Fo}_{80} : \text{Fa}_{20}$. Az elegykristály elnevezése forsteritnek vagy fayalitnak attól függ, hogy melyik komponens az uralkodó (lásd 50%-os szabály). Egyéb, elsősorban a kőzettanban használatos kőzetestag elnevezések: hialosziderit ($\text{Fo}_{60} : \text{Fa}_{40}$); hortonolit ($\text{Fo}_{40} : \text{Fa}_{60}$); vashortonolit ($\text{Fo}_{20} : \text{Fa}_{80}$).

Az olivin-csoport tagjai bázisos és ultrabázisos magmatitok alapvető, legtöbbször uralkodó mennyiségben jelenlévő kőzetalkotói.



Az olivin M1O_6 - és M2O_6 -oktaéderekből, illetve SiO_4 -tetraéderekből felépülő rétege; (100)-al párhuzamos nézet.



Összetétel–hőmérséklet diagram az olivin-csoportban (1 atmoszféra nyomáson).

forsterit	$\text{Mg}_2(\text{SiO}_4)$	rombos
fayalit	$\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)$	rombos
tefroit	$\text{Mn}_2(\text{SiO}_4)$	rombos

Fayalit $\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)$

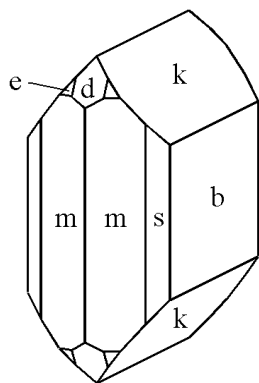
Krist.: rombos. Zömök prizmás vagy táblás kristályai ritkák. Legtöbbször tömeges-vaskos, sokszor pátos jelleggel. **Fiz.:** hasadása {010} sz. közepesen jó, {100} sz. rossz; $K = 6,5-7$; $S = 4,39$; barnászöld, sötétbarna, fekete (színe alapvetően a vastartalomtól függ); karcolási pora fehér, áttetsző, átlátszatlan, üveg- vagy szurokfényű (színétől függ). **Tércs.:** Pbnm; $a = 4,75-4,81$; $b = 10,19-10,47$; $c = 6,10$; $Z = 4$. **Pol. mikr.:** szintelen, halványsárga; optikailag kéttengelyű, negatív. **Kém.:** az M pozícióban leggyakoribb az Mg^{2+} és Mn^{2+} helyettesítés, mindkét esetben teljes szilárd oldatsort képezhet a forsterit, illetve a tefroit irányába. Sokkal ritkábban Ni, Ca, Zn helyettesíti a Fe-t. **Vált.:** knebelit (Mn-tartalmú).

Földt.-előf.: járulékos elegyrész bázisos magmatitokban, ritkábban gránitokban, riolitokban: Fayal-sziget, Azori-szigetek; Lipari-szigetek (I); Sky és Mull szigetek, Skócia; Yellowstone Park (USA). Kristályos palákhhoz kapcsolódó Mn-szilikátos érctelepekben más Mn-Fe-szilikátokkal együtt található: Macskamező, Jakobeni (RO); Långban (S), Franklin, New Jersey (USA). **Ásv.társ.:** magnetit, tefroit, mangano-grunerit, kromit.

Forsterit $\text{Mg}_2(\text{SiO}_4)$

Krist.: rombos. Zömök prizmás kristályai fenn-nőve ritkák. Kőzetek elegyrészeként hasonló természetű benn-nőtt kristályok, ill. xenomorf szemcsék formájában jelenik meg. **Fiz.:** hasadása {010} sz. közepesen jó, {100} sz. rossz; törése egyenetlen, törési felülete zsírfényű; $K = 6,5-7$; $S = 3,2$; zöld, olajzöld, sárgászöld, zöldesbarna, fekete (az átalakulóban lévő forsterit vörösbarna); átlátszó, áttetsző; karcolási pora fehér; üvegfényű. **Tércs.:** Pbnm; $a = 4,75-4,81$, $Z = 4$. **Pol. mikr.:** szintelen; optikailag kéttengelyű, pozitív (a vastartalom növekedésével változik, sőt annak dominanciájánál negatívvá válik). **Kém.:** az elméletinek megfelelő összetételek ritkák; alapvetően a forsterit – fayalit közötti átmeneti tagok jellemzőek (a Mg^{2+} -ot a Fe^{2+} korlátlanul helyettesítheti). Bázisos kőzetekben leggyakoribbak a forsterites összetételek (ezeknél a Fo 90% körüli). Ritkábban az M pozícióban Ca, Mn, Ni, Cr is megjelenhet. **Vált.:** krizolit, peridot (átlátszó, zöld).

Földt.-előf.: Bázisos és ultrabázisos magmatitok uralkodó komponense: Balaton-felvidék, Nógrád-Gömöri bazaltvidék; Persányi-hg. (RO), Vezúv, Etna (I); Eifel-hegység (D); Izland, India. Egyes ultrabázitokban (például dunit, kimberlit) egyeduralkodó kőzetalkotó. Számos bázisos magmatitban, lherzolitos összetételű xenolitok elegyrészeként jelenik meg: Kapolcs, Szentbékállá, Balaton-felvidék. Kontakt metamorf eredetű dolomitos mészkövek kontakt zónájában kisebb mennyiségben ismert. Meteoritoknak ritkább elegyrésze. **Ásv.társ.:** ensztatit, augit, bázisos plagioklászok, magnetit, ilmenit, kromit. **Felh.:** átlátszó, zöld változatai ékkövek.

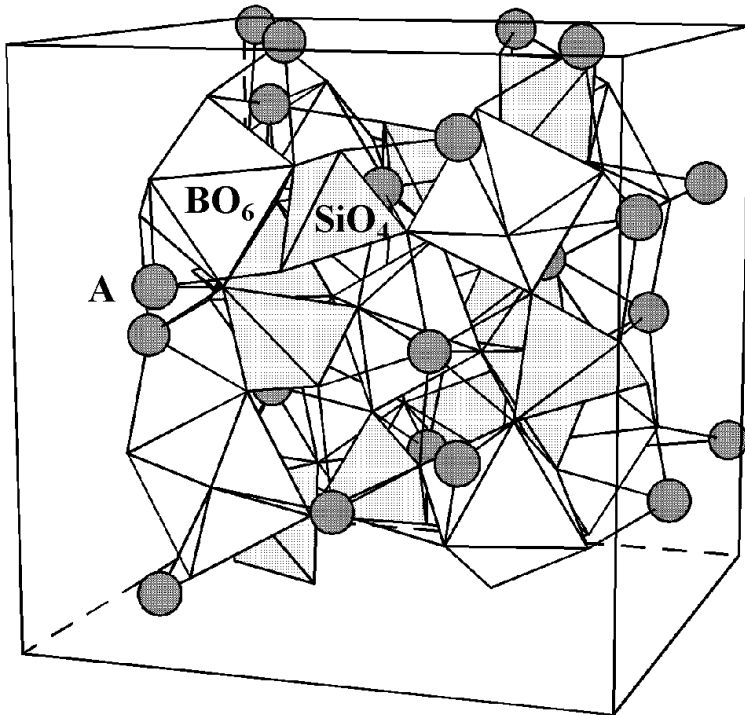


Olivin: $b\{010\}$, $d\{101\}$, $e\{111\}$, $k\{021\}$, $m\{110\}$, $m\{110\}$, $s\{120\}$; prizmás termet

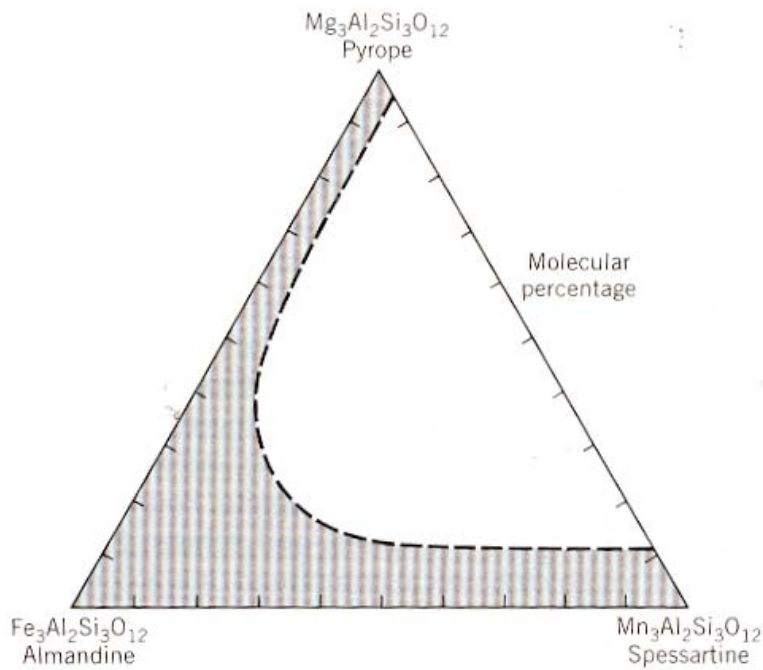
Gránát-csoport

A gránátok szerkezetében alapvetően SiO_4 -tetraéderek, B^{3+}O_6 -oktaéderek és B^{2+}O_8 -poliéderek jelennek meg. A koordinációs poliéderek egy oxigén révén, a csúcsokon át kapcsolódnak össze egymással. A csoport általános képlete: $\text{A}^{2+}_3\text{B}^{3+}_2(\text{SiO}_4)_3$, ahol A^{2+} egy eléggé nagy méretű, két vegyértékű kation: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} stb., míg B^{3+} kisebb méretű, három vegyértékű kation: Al^{3+} , Fe^{3+} , Cr^{3+} , Ti^{3+} stb.

Az elméleti végtagoknak megfelelő kémiai összetételek a természetben ritkák, sokkal gyakoribbak az izomorf elegykristályok. Korlátlan elegyedés azonban nem lehetséges az összes gránát között. Ezért két olyan sort különböztetünk meg, melyekben a tagok többé-kevésbé jól elegyednek egymással. Az egyik a piralspit-sor (pirop, almandin, spessartin tagokkal), másik az ugrandit-sor (uvarovit, grosszulár, andradit tagokkal). (Valójában létezik egy harmadik, a schorlomit-sor is, azonban ebbe sokkal ritkább gránátok tartoznak, melyekkel itt nem foglalkozunk). A két sor optikai szempontból is különbözik egymástól, hiszen amíg a piralspit-sor tagjainál teljes izotrópia figyelhető meg, addig az ugrandit-sor tagjainál gyakran észlelhetünk anizotrópiát. Megemlítjük még, hogy az SiO_4 -tetraédereket ritkán $(\text{OH})_4$ -csoportok helyettesíthetik, ezeket az ásványokat hidrogránátoknak nevezzük. A gránát-csoport tagjai igen elterjedt kőzetalkotó ásványok.



A gránátok szerkezete az A, nagyméretű kationokkal, a BO_6 -oktaéderekkel és az SiO_4 -tetraéderekkel.



Elegyedési lehetőségek a piralspit-sor tagjai között.

Piralspít-sor

pirop	$\text{Mg}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$	köbös
almandin	$\text{Fe}^{2+}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$	köbös
spessartin	$\text{Mn}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$	köbös
calderit	$\text{Mn}_3(\text{Fe}^{2+}, \text{Al})_2(\text{SiO}_4)_3$	köbös

Pirop $\text{Mg}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$

Krist.: köbös. Uralkodó formái az {110} és {211}, de általában lekerekített, olykor érdes felületű szemcséket alkot. **Fiz.:** Hasadása nincs, törése kagylós; $K = 7-7,5$; $S = 3,65-3,82$, átlátszó, áttetsző. A tiszta, szintetikus előállított szélső tag szintelen, de mivel az A-pozícióban az Mg helyére több-kevesebb Fe^{2+} mindig beépül, így a természetben található ásvány sötétvörös, vörös vagy bíborvörös színű. Egyes példányok napfénynél kékeszöld, míg mesterséges fényenél borvörös színűek („alexandrit-effektus”); karcolási pora fehér; üvegfényű, törési felülete zsírfényű. **Pol. mikr.:** szintelentől a rózsaszín különböző árnyalataiban jelenik meg; izotróp. **Tércs.:** $\text{Ia}3d$; $a = 11,459$, $Z = 8$. **Kém.:** az A-pozícióban az Mg-t némi Fe helyettesíti, a pirop és az almandin közti közbülső tag neve rodolit; az Mn beépülésével a spessartin felé képez elegykristályokat. **Vált.:** cseh gránát (csehországi, vörös színű), kaprubin (dél-afrikai, gyémántot kísérő pirop), rodolit (Fe-gazdag), csillag-rodolit (aszterizmust mutat).

Földt.-előf.: a pirop nagy nyomású metamorfózis alatt képződő ásvány, elsősorban ultrabázisos kőzetekben (peridotitokban, kimberlitekben, eklogitokban), illetve ezek átalakult kőzettípusaiban (szerpentiniték) fordul elő. Kimberlitekben a gyémánt indikátorásványa. Fontosabb lelőhelyek: Trebenice (CZ), Zoblitz (D), Kimberley (Dél-Afrikai Közt.), Arizona, Új-Mexikó (USA). Ritkábban megtalálható amfibol- és biotitpalákban is. A befogadó kőzet elmállása után törmelékes üledékes kőzetekben: Merunice, Podsedice (CZ). **Ásv. társ.:** olivin, hornblende, plagioklász, piroxén, gyémánt, kianit, klorit, szerpentinásványok.

Felh.: átlátszó, vörös változatát ékkőnek használják.

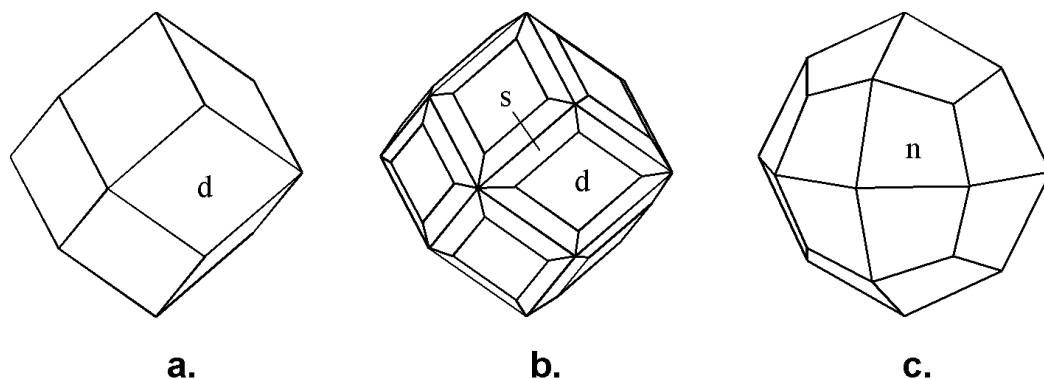
Almandin $\text{Fe}^{2+}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$

Krist.: köbös. Jól fejlett, rombdodekaéderes és deltoidikozitetraéderes kristályokban fordul elő, melyek ritkán egészen nagy méretet (1 m) is elérhetnek. Lekerekített szemcsékben és tömeges aggregátumokként is előfordul. **Fiz.:** nem hasad, de az {110} sz. elválást mutathat; törése kagylós; $K = 7-7,5$; $S = 3,85-4,20$; átlátszó, áttetsző; mélyvörös, barnávörös, vöröseslila, néha fekete; karcolási pora fehér; üvegfényű. **Pol. mikr.:** sárgás, rózsaszínes vagy barnás; általában izotróp, de anomálishan kéttengelyű is lehet. **Tércs.:** $\text{Ia}3d$; $a = 11,526$, $Z = 8$. **Kém.:** az A-pozícióban lévő Fe^{2+} helyére Mg és Mn is beépülhet, így a pirop és a spessartin felé képezhet elegykristályokat. **Vált.:** keleti gránát (átlátszó, rubinvörös), csillag-almandin (aszterizmust mutat).

Földt.-előf.: a gránát-csoport legközönségesebb ásványa, széles elterjedésű. A metamorf kőzetek közül főleg csillámpalákban és gneiszekben otthonos, amelyek agyagos üledékek regionális metamorfózisával jöttek létre: Soproni-hg.; Fogarasi- és Szebeni-havasok (RO); Magas-Tátra (SK-PL); Zillertal, Tirol (A). Mivel széles hőmérsékleti- és nyomástartományokban stabilis, ezért nemcsak regionális metamorfózist szenvedett kőzetekben, hanem kontakt metamorf szaruszirtekben is előfordul. A magmás eredetű gránátok rendszerint almandin–spessartin összetételűek és főleg riolitokban (Telkibánya; Saar-Pfalz régió (D), andezitekben, dácitokban (Visegrádi-hegység, Börzsöny), gránitokban és pegmatitokban (Gilgit, Pakisztán; Sri Lanka, Tanzánia, Brazília) található. Törmelékes

üledékes kőzetekben is gyakori: Duna, Tisza homokja. **Ásv. társ.:** biotit, cordierit, klorit, sztaurolit, andaluzit, kianit, sillimanit, plagioklász, amfibol, piroxén.

Felh.: átlátszó, rubinvörös változata ékkő.



Gránátok jellemző kristályai: $d\{110\}$, $n\{211\}$, $s\{321\}$; a-b) rombdodekaéderes termet, c) deltoidikozitetraéderes termet.

Spessartin $Mn_3Al_2(SiO_4)_3$

Krist.: köbös. Kristályain az $\{110\}$, illetve a $\{211\}$ forma uralkodó, melyek más formákkal kombinálódhatnak. Lehet finom vagy durva szemcsés és tömeges. **Fiz.:** Hasadása nincs, törése egyenetlen vagy kagylós; $K = 7-7,5$; $S = 3,90-4,20$; halványsárga, narancssárga, rózsaszín, jácintpiros, sárgásbarna, barna, fekete; átlátszó, áttetsző. Ritkán mutat „alexandrit-effektus”-t; karcolási pora fehér; üvegfényű. **Pol. mikr.:** izotróp, de gyenge anizotrópiát is mutathat. Halvány rózsaszíntől a világosbarnáig változhat a színe. **Tércs.:** Ia3d. $a = 11,621$, $Z = 8$. **Kém.:** szilárd oldatot főleg az almandinnal képez, így az Mn^{2+} helyére elsősorban Fe^{2+} épül be. Az A-pozícióba még a Ca beépülése lehet számottevő, a grosszulár-molekula részaránya elérheti a 33%-ot. **Vált.:** malaya-gránát (spessartin–pirop elegykristály).

Földt.-előf.: gránitpegmatitokban, gránitokban gyakori: Erdősmecske; Puklice (CZ); Elba-sz. (I); Antsirabe, Madagaszkár. Topáztartalmú riolitokban: Thomas Range, Utah (USA). Mn-gazdag metamorf kőzetekben, Mn-szilikátos érctelepeken jellegzetes elegyrész: Macskamező, Jakobeni, Delinyest (RO); Aschaffenburg, Spessart-hg. (D), St. Marcel, Piemont (I). **Ásv. társ.:** rodonit, piroxmangit, tefroit, muszkovit, topáz, apatit, berill, albit, bixbyit és pszeudobrookit.

Felh.: átlátszó, jácintpiros változata ékkő.

Ugrandit-sor

andradit	$Ca_3Fe^{3+}_2(SiO_4)_3$	köbös
grosszulár	$Ca_3Al_2(SiO_4)_3$	köbös
uvarovit	$Ca_3Cr_2(SiO_4)_3$	köbös

Andradit $Ca_3Fe^{3+}_2(SiO_4)_3$

Krist.: köbös. Gyakori jól kristályosodott rombdodekaéderek, deltoidikozitetraéderek formájában, vagy e kettő kombinációjában. Máskor szemcsés, tömeges. **Fiz.:** hasadása nincs, törése egyenetlen vagy kagylós; $K = 6,5-7$. $S = 3,8-3,9$; Átlátszó, áttetsző; színe változatos: sárga, zöldessárga, sötétzöld, barna, barnásvörös, barnássárga, szürkésfekete, fekete; karcolási pora fehér; gyémánt- vagy üvegfényű. **Pol. mikr.:** szintelen; izotróp, de jellemző rá a gyenge anizotrópia. **Tércs.:** Ia3d. $a = 12,056$, $Z = 8$. **Kém.:** az $Al \rightarrow Fe^{3+}$ helyettesítés révén a grosszulárral alkot sorozatot (grandit: grosszulár–andradit elegykristály). Ezek olykor zónás

kristályokként jelennek meg. Esetenként Cr, Ti, Mn is beépülhet a szerkezetébe (átmeneti összetételek az uvarovit, schorlomit és spessartin irányába). **Vált.:** demantoid (zöld, smaragdzöld), hidroandradit (víztartalmú), melanit (fekete, Ti-tartalmú), topazolit (sárgászöld, sárga), aplom (Al-tartalmú).

Földt.-előf.: leggyakrabban karbonátos kőzetek kontakt metamorfózisával és metasomatózisával képződött szkarnokban található: Magyaregregy, Recsk; Vaskő, Dognácska, Csiklova, Oravica (RO); Elba-sz. (I); Szerifosz-sz. (GR); Långban, Wärrmland (S). Gyakran előfordul kloritpalákban és szerpentinitekben: Perkupa; Dobsina (SK); Zillertal, Knappenwald (A); Val Malenco (I). Alkáli magmás kőzetekben jellemzően Ti-tartalmú. Törmelékes üledékekben szintén elterjedt. **Ásv. társ.:** grosszulár, vezuvián, klorit, epidot, spinell, magnetit.

Felh.: az átlátszó demantoid és topazolit változatok ékkőként használatosak.

Grosszulár $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$

Krist.: köbös. Kristályai általában rombdodekaéderek vagy deltoidhuszonnégyesek, gyakran barázdált lapokkal. Legtöbbször szemcsés, tömeges. **Fiz.:** hasadása nincs, de az {110} sz. ritkán elválás észlelhető; törése egyenetlen vagy kagylós; $K = 6,5-7$. $S = 3,42-3,80$.

Átlátszósága az átlátszótól opakig változhat. Színe változatos: sárgászöld, halvány- vagy sötétzöld, aranysárga, rózsaszín, narancssárga, barnászörös, vörös, sárgásbarna, színtelen, fehér, szürke; karcos pora fehér; üveg- vagy gyantafényű. Egyes példányok (melyek színtelenek, halványzöldek vagy sárgák) UV-fény alatt narancssárga vagy aranysárga színben gyengén fluoreszkálhatnak. Egyes kristályok kifejezett irizálást mutatnak. **Pol. mikr.:** színtelen; izotróp, de gyakori az anizotrópia, általában 0,005-nél kisebb kettőtöréssel. **Tércs.:** $Ia3d$. $a = 11,85$, $Z = 8$. **Kém.:** a B-pozícióba történő Fe^{3+} -beépüléssel az andradit felé szilárd oldatot képez (granditok); ugyanebbe a pozícióba jelentős mennyiségű Cr is beépülhet (átmeneti összetételek az uvarovit felé). A tetraédes pozícióban a $4\text{H}^+ \rightarrow \text{Si}^{4+}$ helyettesítéssel állnak elő a hidrogránát-alcsoport tagjai. **Vált.:** hessonit (narancssárga, jácintpiros), tsavorit (smaragdzöld, V^{3+} beépülése miatt).

Földt.-előf.: kontakt vagy regionális metamorfózist szenvedett karbonátos kőzetekben fordul elő, illetve Ca-metasomatózison átesett kőzetekben is megtalálható: Recsk; Vaskő, Dognácska, Oravica, Csiklova (RO); Hodrusbánya (SK); Monzoni-Alpok (I); Bancroft, Ontario (CAN); Chihuahua, Sierra de la Cruz (Mexikó). Egyes kristályos palákban, gneiszekben és szerpentinitekben is megjelenik: Val d'Ala, Piemont (I); Asbestos, Quebec (CAN); Arusha, Moshi (Tanzánia). Törmelékes üledékek ritkább elegyrésze. **Ásv. társ.:** kalcit, dolomit, epidot, klinozoisit, wollastonit, vezuvián, andradit, diopszid, tremolit.

Felh.: átlátszó, egyenletesen színezett hessonit és tsavorit változatai ékkőekként ismertek.

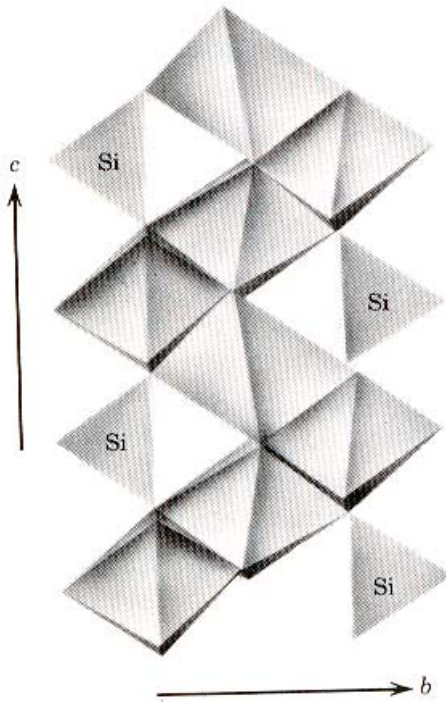
Andaluzit-csoport

A nezoszilikátok alábbi „aluminoszilikát” ásványai metamorf kőzetek gyakori alkotói. Az $\text{Al}_2\text{O}(\text{SiO}_4)$ összetétel három polimorfja: az andaluzit, kianit és sillimanit.

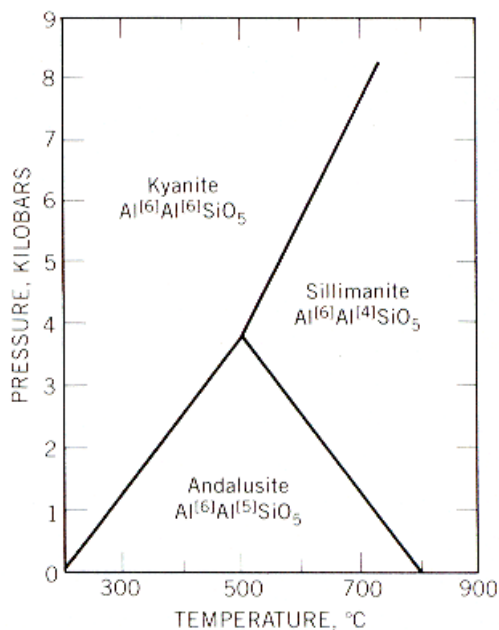
Az andaluzit szerkezetében SiO_4 -tetraéderek, AlO_6 -oktaéderek és AlO_5 -poliéderek szerepelnek. Ezek a poliéderek a csúcsokon keresztül kapcsolódnak egymáshoz. Az AlO_6 -oktaéderek azonban egymás között közös éllel a c -tengely irányában végtelen láncot formáznak. A kianit szerkezetében – az előbbivel ellentétben – minden Al hatos koordinációban szerepel. Az AlO_6 -oktaéderek éllel egymáshoz kapcsolódva az (100) rácssík szerint oktaédes rétegeket alkotnak (...ábra). A rétegeket szigetszerű SiO_4 -tetraéderek kötik össze. Innen ered a kianit {100} sz. jó hasadása és keménységének irányok szerinti jelentős változása.

A sillimanit-rács vázát a c -tengellyel párhuzamos AlO_6 -oktaéderek láncza alkotja. Ezeket velük párhuzamosan kapcsolódó SiO_4 - és AlO_4 -tetraéderek kettős láncza kapcsolja össze. Megjelenése e szerkezetből következően jellegzetesen szálas-rudas, nyúlt oszlopos.

Az andaluzit-csoport tagjai regionális és kontakt metamorf kőzetek jellegzetes ásványai. Tekintettel arra, hogy ezek az ásványok a hőmérséklet és nyomás függvényében más-más tartományokban stabilisak, alkalmassá teszi őket arra, hogy segítségével megállapítsuk, hogy az adott metamorfit hozzávetőleg milyen hőmérséklet–nyomás tartományokban keletkezett (...ábra).



A kyanit zezugos, élleikkel összekapcsolódott oktaéderekből álló, c -tengellyel párhuzamos láncza.



Az $Al_2O(SiO_4)$ polimorfok stabilitási tartományai a hőmérséklet–nyomás függvényében.

sillimanit	Al₂O(SiO₄)	rombos
andaluzit	Al₂O(SiO₄)	rombos
kianit	Al₂O(SiO₄)	triklin

Sillimanit Al₂O(SiO₄)

Krist.: rombos. Kristályai nyúlt prizmásak, közel négyzet keresztmetszetűek, mert a prizmalapok által bezárt szög 88°. Gyakrabban szálás-rostos, olykor sugaras vagy nemezszerű megjelenésű. **Fiz.:** hasadása {010} sz. jó; K = 7; S = 3,23; színtelen, fehér, szürke, halványzöld, halványkék, barna; áttetsző, átlátszó üvegfényű, finom rostos halmazai selyemfényűek. **Pol. mikr.:** színtelen; optikailag kéttengelyű, pozitív. **Tércs.:** Pnma. a = 7,48; b = 7,67; c = 5,77; Z = 4. **Kém.:** legtöbbször az elméletihez közelítő tisztaságú, legfeljebb 1,5–2% Fe helyettesíti az Al-t. **Vált.:** fibrolit (finom szálás-rostos).

Földt.-előf.: agyagos kőzetekből magas hőmérsékleten képződött regionális és termális metamorf kőzetek jellemző ásványa. Kontakt metamorf képződményként gyakran sillimanit-biotit szaruszirt jön létre. Vulkáni kőzetek agyagzárványjaiban ehhez hasonló eredettel található (Balaton-felvidék, Börzsöny, Mátra). Regionális metamorfózis esetén a nagyfokú átalakulás övét jelzi (Soproni-hg., Déli-Kárpátok, Alpok). Törmelékes üledékekben is előfordul. **Ásv. társ.:** cordierit, andaluzit, kianit, korund, biotit.

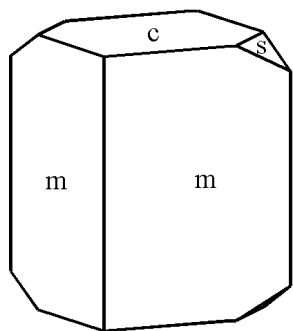
Felh.: tűzálló kerámia előállítás, ékkő (átlátszó, halványkék, halványibolya változatok).

Andaluzit Al₂O(SiO₄)

Krist.: rombos. Kristályai zömök vagy nyúlt prizmásak, áltetragonális jellegűek (közel négyzet keresztmetszetűek). Ennek oka, hogy a prizmalapok által bezárt szög 89° 12'. Kristályai formákban szegények, uralkodó a {110}, {001} és {011}. Sokszor vaskos tömeges, pátos megjelenéssel. **Fiz.:** hasadása {110} sz. jó, {100} sz. rossz; K = 6,5–7,5; S = 3,13–3,21; fehér, szürke, barna, vörösbarna, rózsaszín, halványibolya, halványzöld; áttetsző, átlátszatlan, karcolási pora fehér; üvegfényű. **Tércsop.:** Pnnm. a = 7,79; b = 7,90; c = 5,55; Z = 4. **Pol. mikr.:** színtelen, vagy enyhén színezett; pleokroós; optikailag kéttengelyű, pozitív. **Kém.:** az Al-t Fe, Mn, ritkán Ti és Cr helyettesíti. **Vált.:** kiasztolit (orientáltan, kereszt alakban elhelyezkedő, fekete színű szenes zárványokkal), viridin (zöld, Mn-tartalmú).

Földt.-előf.: agyagos üledékek kisméretű kontakt és regionális metamorfózisa során keletkezik. Csillámpalában, gneiszben, illetve azokhoz kapcsolódó pegmatitos övekben gyakori kőzetalkotó: Soproni-hegység; Lápos-hegység (RO); Lisens-Alpok, Tirol (A); Andalúzia, Pireneusok (E). Kontakt metamorf képződményekben a magmás testhez közeli zónában fordul elő (andaluzit szaruszirt): Velencei-hegység kontakt pala köpenye. Andezitekben, gránitokban és gránitpegmatitokban ritkább, itt agyagos üledékek beolvasztásának eredménye. Törmelékes üledékekben is megtalálható. **Ásv. társ.:** cordierit, kianit, sillimanit, korund, biotit.

Felh.: tűzálló kerámia előállítása.



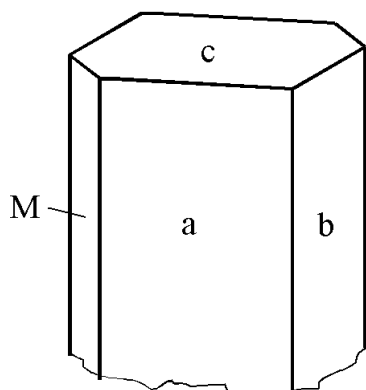
Andaluzit: m{110}, c{001}, s{011}; prizmás termet

Kianit $\text{Al}_2\text{O}(\text{SiO}_4)$

Krist.: triklin. A c -tengely irányában megnyúlt, $\{100\}$ sz. táblás vagy léces kristályok. Az (100) lap gyakori ikerösszenövési sík. Nyúlt kristályai sokszor kusza halmazokat alkotnak. Sztaurolittal történő epitaxiás összenövése jellegzetes jelenség. **Fiz.:** hasadása $\{100\}$ sz. kitűnő, $\{010\}$ sz. jó; keménysége kivételes, mert 4 irányban más-más: az (100) lapon a c -tengely irányában 5,5, rá merőlegesen 6,5; a (010) lapon a c -tengely irányában 6, rá merőlegesen 7; $S = 3,56-3,67$; fehér, halványszürke, égkék, halványkék, halványzöld, ritkábban sárgás, rózsaszín, világosbarna (sokszor foltosan színezett); átlátszó, áttetsző; üveg- vagy gyöngyházfényű; karcolási pora fehér. **Tércsop.:** Pl. $a = 7,12$; $Z = 4$. **Pol. mikr.:** szintelen, esetleg halványkék; gyengén pleokroós; optikailag kéttengelyű, negatív. **Kém.:** az Al-t kis mennyiségben Fe, Ti és Cr helyettesítheti (a kianit kékes színét éppen a helyettesítő ionok töltésátvitellel kapcsolatos átmenete okozza). **Vált.:** rhäticit (rostos-sugaras), disztén (szinonim elnevezés).

Földt.-előf.: pélites üledékekből képződik nagy nyomású regionális metamorfózis során. Származhat pirofillitből és paragonitból, illetve andaluzit átalakulásából, amikor kontakt metamorfózison átesett kőzeteket utólagos regionális metamorfózis éri. Legnagyobb mennyiségben kristályos palákban jelenik meg: Soproni-hg.; Felsősebes, Felsőporumbák, Fogarasi-havasok, Szebeni-havasok (RO); Magas-Tátra (SK-PL); Zillertal (A); St. Gotthard (CH). **Ásv. társ.:** cordierit, sillimanit, andaluzit, korund, biotit.

Felh.: tűzálló kerámia előállítás, ékszeripar (átlátszó, kék változatok).



Kianit: $a\{100\}$, $b\{010\}$, $c\{001\}$, $M\{1-10\}$; prizmás termet

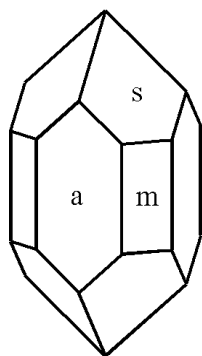
Egyéb nezoszilikátok**Cirkon** ZrSiO_4

Krist.: tetragonális. Zömök vagy nyúlt prizmás kristályait legtöbbször a $\{110\}$, $\{110\}$ és $\{111\}$ formák határolják. Olykor dipiramisos termetű. **Fiz.:** nem hasad, törése egyenetlen vagy kagylós; $K = 7,5$ (a metamikt változatoké 6–7); $S = 4,7$; fehér, sárga, barna, vörösesbarna, metamikt változatai zöld, barnászöld színűek; gyémánt- vagy üvegfényű.

Tércsop.: $I4_1/am\bar{d}$; $a = 6,60$; $c = 5,97$; $Z = 4$. **Pol. mikr.:** szintelen, világosbarna; gyengén pleokroós; optikailag egytengelyű, pozitív; színes kőzetalkotó szilikátokban (biotit, amfibol, cordierit stb.) gyakran megjelenő kristályai körül a radioaktív bomlás miatt ún. pleokroós udvar észlelhető, ezt a jelenséget kormeghatározásra használják fel (hasadvány nyom kormeghatározás). **Kém.:** izomorf módon Th, U, Hf és RFF gyakran beépülnek a szerkezetbe, ezek a helyettesítések sokszor zónás jellegűek. Ritkább a víz jelenléte; a Si-t ritkán és kismértékben P helyettesítheti; a Th- és U-tartalom miatt gyakran metamikt állapotú. **Vált.:** malakon (metamikt cirkon), cirtolit (U-tartalmú, metamikt), hiacint (jácintpiros, vörösbarna).

Földt.-előf.: granitoidok, alkáli mélységi magmás kőzetek, illetve metamorfitek jellegzetes járulékos ásványa: Mecsek; Velencei-hg; Gyergyói-havasok (RO). Nagyobb, cm-es kristályai pegmatitokban ismertek: Ditró (RO); Kola-fsz., Ilmen-hg, Szlugyanka, Szibéria (RUS); Iveland, Langesundfjord (N). Effuzív magmatitokban, piroklasztikumokban elterjedt járulékos elegyrész: Hosszúhetény; Eifel-hg. (D). Kémiaailag ellenálló, törmelékes üledékekben gyakori; gyakran dúsul torlatokban (cirkon-homok). Drágakő minőségben az alábbi országokban található: India, Srí Lanka, Thaiföld, Madagaszkár. **Ásv.társ.:** rutil, anatáz, turmalin.

Felh.: a cirkóniumnak és a hafniumnak a legfontosabb nyersanyaga; tűzálló kerámiaipar, drágakőipar (átlátszó, vörös, vörösbarna változatok).



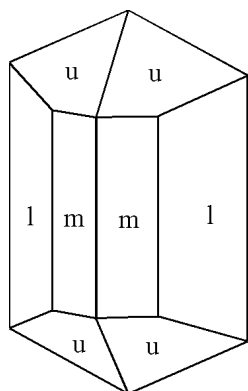
Cirkon: $a\{100\}$, $m\{110\}$, $s\{111\}$.

Topáz $\text{Al}_2\text{SiO}_4(\text{F},\text{OH})_2$

Krist.: rombos. Zömök vagy nyúlt prizmás kristályait legtöbbször az alábbi formák határolják: $\{110\}$, $\{120\}$, $\{112\}$ és $\{221\}$. Finom vagy durva szemcsés, rostos, olykor pátos jellegű, vastos tömegeket alkot. **Fiz.:** hasadása $\{001\}$ sz. kitűnő, törése egyenetlen; $K = 8$; $S = 3,4-3,6$; üvegfényű; átlátszó, áttetsző; színtelen, de gyakrabban enyhén színezett: sárga, barna, vörösbarna, vörös, kék, zöld. **Tércsap.:** Pbnm ; $a = 4,65$; $b = 8,79$; $c = 8,39$; $Z = 4$. **Pol. mikr.:** színtelen, optikailag kéttengelyű, pozitív. **Kém.:** általában tiszta, a gyakrabban észlelt nyomelemek a következők: B, Li, Na, Mn, Fe. Az összetételben komolyabb változás az (OH)- és F-tartalom arányában ismert. Az (OH)-csoport F általi helyettesítését eddig max. 30 mol% arányban észlelték. F-mentes topáz viszont eddig csak szintetikusán állítottak elő. **Vált.:** piknit (rostos-szálas), pirofizálit (földpátszerű), imperiál topáz (vöröses narancssárga, borsárga). Megjegyzendő, hogy a drágakő kereskedelemben a legkülönbözőbb jelzőkkel ellátott topáz legtöbbször nem valódi topáz, hanem valami más, sárgás színű drágakövet jelöl: madeira topáz (citrin), keleti topáz (sárga zafír), topazolit (sárga andradit), füsttopáz (füstkvarc) stb.

Földt.-előf.: tipikus pegmatitos és magas hőmérsékletű hidrotermás ásvány: Pázmánd; Kapka (SK). Gyakran granitoidokban, greizenekben, az Sn-W-Mo ércesedéseket kísérő kvarctelérekekben fordul elő: Cseh-Szász-érchegység (Schneckenstein, Altenberg, Cínovec). Pegmatitokban nagyméretű kristályok ismertek (max. 350 tonnás; drágakőminőségben 270 kg-os): Elba-sz. (I), Ilmen-hg., Alabaska, Murszinka, Ural (RUS); Pikes Peak régió, Kalifornia (USA), Srí Lanka, Brazília, Madagaszkár, Pakisztán, India. Riolitokban F-gazdag gőzökből képződik: Thomas Range, Utah (USA). **Ásv.társ.:** fluorit, kassziterit, berill, lepidolit, zinnwaldit, turmalin.

Felh.: drágakőipar (átlátszó, egyenletesen színezett változatok).



Topáz: $m\{110\}$, $l\{120\}$, $u\{111\}$; prizmás termet

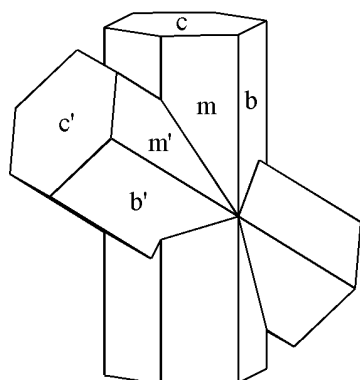
Sztaurolit ($\text{Fe}^{2+}, \text{Mg}, \text{Fe}^{3+}$) $_4\text{Al}_{17}\text{O}_{13}[(\text{Si}, \text{Al})\text{O}_4]_8(\text{OH})_3$

Krist.: monoklin. Kristályai zömök vagy nyúlt prizmásak, álrombos jelleggel. Leggyakoribb formák: $\{110\}$, $\{010\}$ és $\{001\}$. Számos penetrációs iker ismert: leggyakoribbak a $\{032\}$ sz. átnövésellel jellemezhető kereszt alakú (ahol a két egyén egymással közel 90° szöget zár be), ill. a $\{232\}$ sz. átnövésellel képződő ferde kereszt alakú („András-kereszt”) ikerei (ez utóbbinál a két egyén által bezárt szög kb. 60°). Ritkábban 3 egyénből álló kerék alakú penetrációs ikerkomplexumai ismertek. Kristályai – szerkezeti hasonlóság miatt – gyakran orientáltan nőnek össze kianitkristályokkal (epitaxis klasszikus esete).

Fiz.: hasadása $\{010\}$ sz. jó, törése egyenetlen; $K = 7-7,5$; $S = 3,74-3,83$; vörösbarna, barna, barnásfekete; áttetsző, átlátszatlan; üvegfényű; karcolási pora fehér, halványszürke. **Tércsop.:** $C2/m$. $a = 7,87$; $b = 16,62$; $c = 5,66$; $\beta = 90,12^\circ$; $Z = 1$. **Pol. mikr.:** világossárga, narancssárga; erősen pleokroos, optikailag kéttengelyű, pozitív. **Kém.:** a Fe^{2+} , Fe^{3+} -t és a Mg^{2+} -ot Ti, Mn, ritkábban Ca, Co, Li, Cr és Zn helyettesítheti. **Vált.:** lusakit (sötétkék, Co-tartalmú).

Földt.-előf.: pélites üledékek közepesfokú regionális metamorfózisának jellegzetes ásványa. Kisebb mennyiségben kisméretű metamorfitokban is megjelenik, ahol főként kloritoid kíséri. Elterjedt kristályos palákban, fillitekben és gneiszekben: Sopron, Vilyvitány; Felsőszolcsva, Fogarasi- és Szébeni-havasok (RO), Magas-Tátra (SK-PL); Monte Campione (I); Brittany (F), Kejvi, Kola-fsz. (RUS), Lusaka (Zambia). **Ásv. társ.:** kianit, almandin, biotit, rutil, kloritoid, kvarc.

Felh.: kereszt alakú ikerei díszítési célokra, illetve amulettként használatosak.



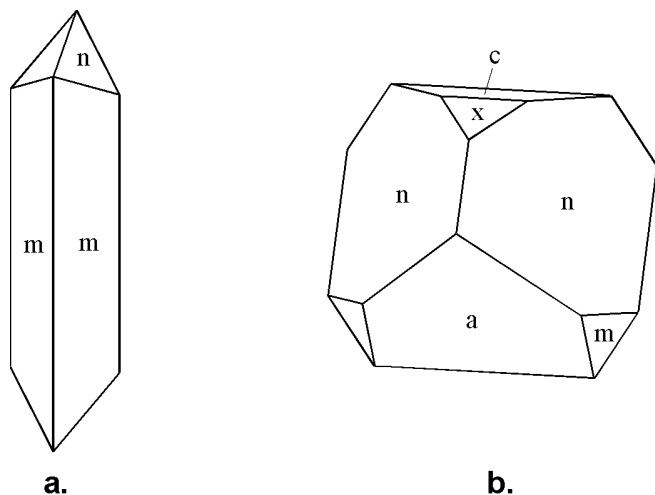
Sztaurolit: $m\{110\}$, $b\{010\}$, $c\{001\}$; $\{232\}$ sz. penetrációs iker.

Titanit CaTiSiO_5

Krist.: monoklin. A kristályok termete a képződési körülményektől függ. Alkáli magmatitokban nyúlt prizmás, granitoidokban levélborítékra emlékeztető, míg hidrotermás körülmények között vékony táblásak. Uralkodó kristályformák: $\{111\}$, $\{100\}$ és $\{001\}$. Vaskosan pátos, szemcsés vagy ritkábban rostos megjelenésű. Kontakt vagy penetrációs ikrek legtöbbször $\{100\}$ sz. ismertek. Ritkábban, nagy nyomás hatására, $\{122\}$ sz. poliszintetikus ikerlemezség észlelhető; a szerkezetben megjelenő radioaktív elemek miatt sokszor metamikt állapotú. **Fiz.:** $\{100\}$ sz. rosszul hasad, törése egyenetlen; $K = 5-5,5$, $S = 3,48-3,60$; sárga, barna, sárgászöld, fekete; karcolási pora fehér vagy halvány barna; gyémánt- vagy üvegfényű; átlátszó, áttetsző. **Tércsop.:** $A2/a$ és $P2_1/a$.; $a = 7,06$; $b = 8,70$; $c = 6,56$; $\beta = 113,93^\circ$; $Z = 4$. **Pol. mikr.:** színtelen, világosbarna; teltszínnel határozottan pleokróos; fény- és kettőtörése nagy; optikailag kéttengelyű, pozitív. **Kém.:** a képletben szereplő elemeken kívül számos helyettesítés ismert. A leggyakoribbak: RFF, Al, Fe, OH, F. Ezekon kívül, ritkábban megjelenhet az Sb, Sn, Nb, Ta, Th, U, Mn, Cr és V. **Vált.:** szfén (vékony táblás kristályok, a széleken ékszerű elvégződéssel; szinonim név), ittrotitanit vagy keilhaut (RFF-gazdag), grouthit (sötétbarna, Fe-Al-gazdag), greenovit (rózsaszín, Mn-tartalmú), leukoxén (ilmenit mállásából származó, Ti-tartalmú ásványok – titanit, rutil – finom szemcsés keveréke).

Földt.-előf.: mélységi magmás kőzetek (különösen alkáli magmatitok) és metamorfitek gyakori, járulékos elegyrésze: Erdősmecke; Ditró, Orotva (RO); Lovozero és Hibin masszívum, Kola-fsz. (RUS); Kragerø, Arendal (N), Grönland. Metamorfitek repedéseiben ék alakú, fenn-nőtt kristályai (szfén) sajátos, hidrotermás ásványtársulásban (alpesi-típusú paragenézis) jelennek meg: St. Gotthard, Val Tavetsch (CH), Zillertal, Sulzbachtal (A); Sarki Ural (RUS). **Ásv.társ.:** biotit, rutil, ilmenit, amfibol (intruzív magmatitok); anataz, rutil, epidot, adular, albit (alpi-típusú paragenézisek).

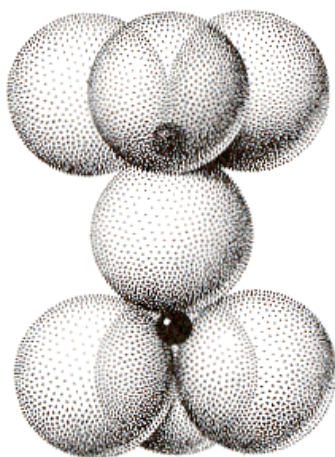
Felh.: átlátszó, sárga-barna változatait ékköként használják.



Titanit: $m\{110\}$, $n\{111\}$, $a\{100\}$, $c\{001\}$, $x\{102\}$;
a) prizmás termet, b) levélboríték alakú termet.

IX. B. alosztály. Szoroszilikátok

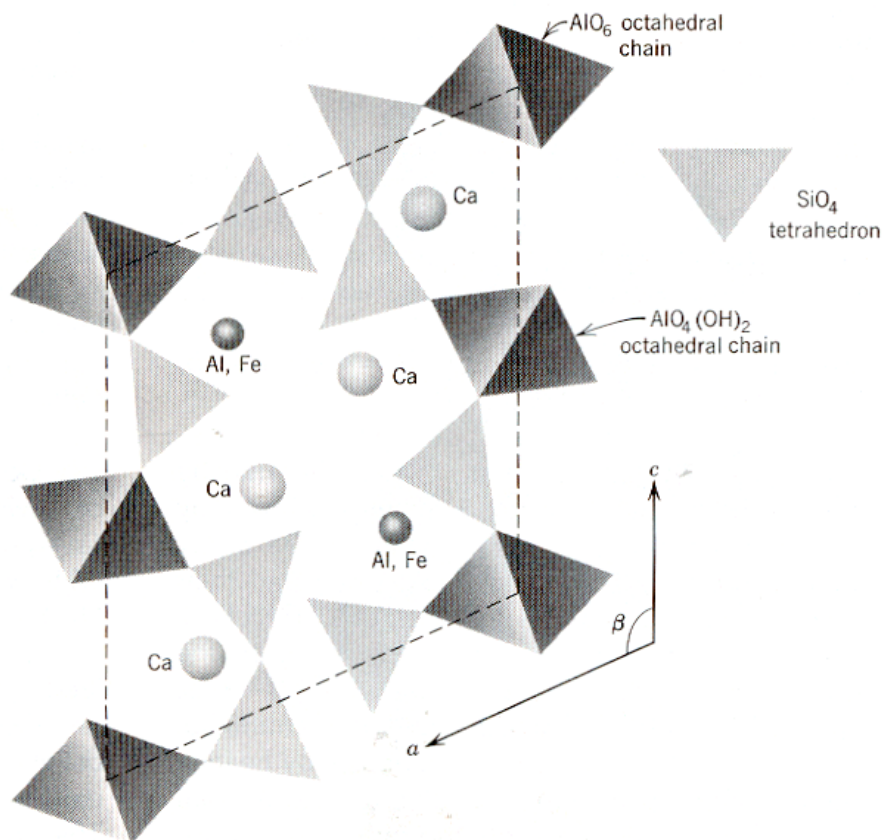
Az SiO_4 -tetraéderek közvetlen kapcsolódással 2-es, 3-as, 4-es, 6-os, (ritkábban még több tagból álló) csoportokká fűződhetnek össze. Csoportosításuk a pótanionok megléte vagy hiánya, illetve a kationok koordinációja alapján történik. Néhány példa: van pótanion, a kation 4-es koordinációjú, hemimorfít $\text{Zn}_4(\text{OH})_2(\text{Si}_2\text{O}_7) \cdot \text{H}_2\text{O}$; több pótanion van, a kationok 6-os, 7-es koordinációjúak, pumpellyit-(Mg) $\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})(\text{Al}, \text{Fe}^{3+})_2[(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)]$. Több mint 70 ásvány tartozik ebbe az alosztályba, azonban közülük az alábbiak gyakoribbak.



Két SiO_4 -tetraéderből egy közös oxigénnel létrejött Si_2O_7 -csoport.

Epidot-csoport

A csoport ásványainak szerkezetében SiO_4 -tetraéderek és Si_2O_7 -csoportok egyaránt előfordulnak. A szerkezet alapváza az AlO_6 -, illetve $\text{AlO}_4(\text{OH})_2$ -oktaéderekből álló, b -tengellyel párhuzamos elhelyezkedésű lánc. Egy további oktaédes pozíció található a láncon kívül, ezt a klinozoisit esetében alapvetően Al^{3+} (kisebb mértékben Fe^{3+}), az epidotnál Fe^{3+} és Al^{3+} együttesen töltik be. A láncokat SiO_4 -tetraéderek és Si_2O_7 -csoportok kapcsolják össze. A csoport tagjai izostrukturálisak, a kristályok jellemző termetét a b -tengely irányába nyúlt prizmák határozzák meg. Előfordulásuk zömmel regionális metamorfítokhoz kapcsolódik.



Részlet az epidot szerkezetéből; (010)-al párhuzamos nézet. A szaggatott vonal az elemi cella határát jelöli.

allanit-(Ce)	$(\text{Ce}, \text{Y}, \text{Ca})_2(\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+})\text{Al}_2(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{O}, \text{OH})$	monoklin
klinozoisit	$\text{Ca}_2(\text{Al}, \text{Fe}^{3+})\text{Al}_2(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{O}, \text{OH})$	monoklin
epidot	$\text{Ca}_2(\text{Fe}^{3+}, \text{Al})_3(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{O}, \text{OH})$	monoklin
piemontit	$\text{Ca}_2(\text{Mn}^{3+}, \text{Fe}^{3+})(\text{Al}, \text{Mn}^{3+})_2(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{O}, \text{OH})$	monoklin
zoisit	$\text{Ca}_2\text{Al}_3(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)\text{O}(\text{OH})$	rombos

Allanit-(Ce) $(\text{Ce}, \text{Y}, \text{Ca})_2(\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+})\text{Al}_2(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{O}, \text{OH})$

Krist.: monoklin. Nyúlt vagy zömök prizmás, ritkábban táblás kristályok, illetve gyakrabban szemcsés halmazok formájában jelenik meg. A kis mennyiségben szinte mindig jelenlévő radioaktív elemek miatt legtöbbször metamikt állapotú. **Fiz.:** {001} sz. rosszul hasad, törése kagylós vagy egyenetlen; $K = 5-6,5$, $S = 3,4-4,2$ (metamikt állapotban kisebb sűrűségű); sötétbarna, fekete, karcolási pora világosbarna; szurokfényű vagy kissé fémfényű; átlátszatlan. **Tércsap.:** $P2_1/m$; $a = 8,92$; $b = 5,76$; $c = 10,15$; $\beta = 114,77^\circ$; $Z = 2$. **Pol. mikr.:** sötétbarna, gyakran zónás; pleokroizmusra határozott, változatos színekkel (barna, zöld, sárga); optikailag kéttengelyű, pozitív vagy negatív (de gyakrabban negatív). **Kém.:** az allanit ásványokat az összetételben domináns RFF alapján utótaggal látják el, így az allanit-(Ce) cérium-domináns. Ismert még az allanit-(Y) és az allanit-(La). Gyakran megjelenik a szerkezetben a Th, míg esetenként a V, Cr, Mn, Ge és Be. **Vált.:** ortit (szinonim elnevezés). **Földt.-előf.:** mélységi magmás kőzetek jellemző járulékos ásványa: Szarvaskő, Pátka; Magas-Tátra (SK-PL). Pegmatitokban más RFF ásványok kísérik: Arendal, Langesundfjord (N), Ytterby, Riddarhyttan (S). Regionális és kontakt metamorf kőzetekben is megjelenik: Déli-

Kárpátok. Törmelékes üledékekben elterjedt, gyakran dúsul torlatokban. **Ásv.társ.:** epidot, cirkon, rutil, amfibol, almandin.

Felh.: fontos RFF nyersanyag.

Klinozoisit $\text{Ca}_2(\text{Al},\text{Fe}^{3+})\text{Al}_2(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{O},\text{OH})$

Krist.: monoklin. Kristályai *b*-tengely szerint prizmásak, a prizmalapok jellemzően rostozottak. Gyakoribb vaskos, szemcsés vagy durva rostos halmazokként. **Fiz.:** hasadása {001} sz. kitűnő, {100} sz. jó; törése egyenetlen; $K = 6,5$, $S = 3,21-3,38$; színtelen, halványszürke, halvány rózsaszín; karcólási pora fehér; üvegfényű. **Tércsop.:** $P2_1/m$; $a = 8,87-8,82$; $b = 5,58-5,60$; $c = 10,14-10,15$; $\beta = 115,43-115,50^\circ$; $Z = 2$. **Pol. mikr.:** színtelen, pleokroizmust nem mutat; optikailag kéttengelyű, pozitív. **Kém.:** leggyakoribb a Ca helyettesítése Fe^{2+} által, kevésbé gyakori a Mn, Cr, Sr által. A Fe^{3+} növekedésének folyamata, az Al rovására, átvezet az epidot irányába. **Vált.:** thulit (rózsaszín, Mn-tartalmú). **Földt.-előf.:** regionális metamorfitek jellegzetes ásványa, különösen gyakori a zöldpala-epidot- és amfibolit-fácies kőzeteiben: Páreng- és Szebeni-havasok (RO), Prägratten, Tirol (A). Megjelenik kontakt metamorfitekban, pegmatitokban, illetve hidrotermás folyamatok során plagioklászok mállástermékeként. **Ásv.társ.:** epidot, amfibol, klorit, pumpellyit, plagioklász.

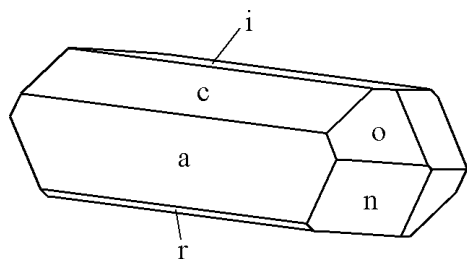
Epidot $\text{Ca}_2(\text{Fe}^{3+},\text{Al})_3(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{O},\text{OH})$

Krist.: monoklin. Kristályai a *b*-tengely szerint zömök vagy nyúlt prizmásak, sokszor sűrűn rostozottak. Nem ritkák formákban gazdag kristályai (több mint 200 formát észleltek). Lemezes ikerkristályt {100} sz. képez. Fontosabb formák: {100}, {001}, {111}, {101} és {011}. Vaskos, szemcsés, rudas, tűs-sugaras vagy finom szálás halmazokban jelenik meg. Nem ritkák allanittal alkotott orientált összenövésai, gyakran egy-egy kristály magja allanit, míg szegélye epidot. **Fiz.:** hasadása {001} sz. kitűnő, {100} sz. jó; törése egyenetlen; $K = 6,5$, $S = 3,38-3,49$; sárgászöld, zöld, sötétzöld, fekete, (jellemző zöld színét Fe^{3+} okozza); karcólási pora szürkésfehér; üveg- vagy gyantafényű, áttetsző, átlátszatlan. **Tércsop.:** $P2_1/m$; $a = 8,91$; $b = 5,64$; $c = 10,16$; $\beta = 115,4^\circ$; $Z = 2$. **Pol. mikr.:** világos sárgászöld, pleokroizmosa határozott (sárga-zöld-barna), függ az elemhelyettesítésektől; optikailag kéttengelyű, negatív. **Kém.:** az epidot szerkezetében számos elemhelyettesítés ismert. Leggyakoribb az RFF beépülése a Ca helyére, ezek megfelelő mennyiségű jelenléte átvezet az allanit ásványok felé. Fontosabb helyettesítő elemek még: Mg, Mn, Sr, Sn, Cr és V.

Vált.: piztácit (szinonim elnevezés), tawmawit (smaragd-zöld, Cr-tartalmú).

Földt.-előf.: elsősorban metamorf környezetben képződik. Kontakt metamorf eredettel: Recsk, Polgárdi; Vaskő, Dognácska, Rézbánya (RO); Hodrusbánya (SK). Regionális metamorfózis során képződött kőzetek közül elsősorban zöldpalákban, amfibolitokban otthonos; epidotpalákban uralkodó kőzetalkotó: Felsőcsatár, Bozsok; Gyergyói-, Radnai-havasok (RO). Ritkábban hidrotermás úton Ca-Al-tartalmú kőzetalkotókból képződik (plagioklászok elbontódásának terméke): GyöngyöSOROSZI; Ruszkica (RO); metamorfitekban pompás kristályok az alpi-típusú paragenézisekben: Knappenwand, Untersulzbachtal és Zillertal (A); Val di Ala, Traversella (I); Zlatoust, Ural (RUS); Prince of Wales-sz., Alaszka (USA). **Ásv.társ.:** grosszulár, andradit, vezuvián, wollastonit (kontakt metamorfitekban); prehnit, pumpellyit, zeolitok, sztilpnomelán (nagyon kistokú metamorfitekban); zoisit, klinozoisit, klorit, amfibol, titanit (közepes fokú vagy nagyfokú metamorfitekban); anatóz, rutil, adular, albit, titanit, allanit-(Ce) (alpi-típusú paragenézisekben).

Felh.: átlátszó, zöld változatait ékkőként használják.



Epidot: $c\{001\}$, $a\{100\}$, $r\{10-1\}$, $i\{-102\}$, $o\{011\}$, $n\{11-1\}$; *prizmás termet*

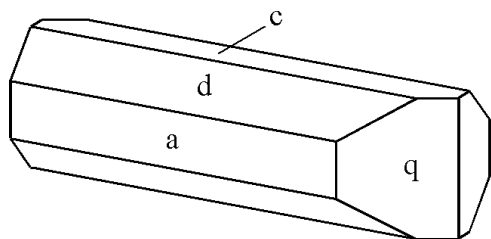
Zoisit $\text{Ca}_2\text{Al}_3(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)\text{O}(\text{OH})$

Krist.: rombos. Kristályai nyúlt prizmásak, de ritkán jelennek meg önállóan. Sokkal gyakrabban ismert benn-nőtt, rudas, oszlopos halmazok vagy sugaras aggregátumok formájában. Olykor klinozoisittal orientált összenövéseket alkot. **Fiz.:** hasadása $\{100\}$ sz. kitűnő, törése egyenetlen; $K = 6-7$, $S = 3,15-3,36$; fehér, szürke, barna, zöld, kék, ibolya, rózsaszín; karcolási pora fehér; üvegfényű; áttetsző, átlátszó; a tanzanit változat pleokroizmusa makroszkóposan is észlelhető: vörösesibolya – mélykék – sárgászöld.

Tércsop.: $Pnma$; $a = 16,21$; $b = 5,55$; $c = 10,03$; $Z = 4$. **Pol. mikr.:** szintelen, a tanzanit és thulit változatok pleokroizmusa határozott; optikailag kéttengelyű, pozitív. **Kém.:** legtöbbször a Fe jelenik meg az Al-ot helyettesítve, de a helyettesítés mértéke korlátozott (kevesebb mint 10%). Ritkábban megjelenő elemek: Mn, Cr, V, Sr, Mg. **Vált.:** thulit (rózsaszín, Mn-tartalmú), tanzanit (ibolyáskék, V-tartalmú).

Földt.-előf.: jellegzetes metamorf ásvány. A regionális metamorfózis közepes vagy nagy fokozataiban jelenik meg (granulit, eklogit, amfibolit kőzetekben): Fogarasi- és Szébeni-havasok (RO), az Alpokban Pfitschtal, Zillertal, Rauris, Saualpe (A); Gefrees, Fichtel-hg. (D); Merelani-dombság, Tanzánia. Kisebb mennyiségben kontakt metamorf (szkarnos) képződményekben, illetve pegmatitokban is előfordul. **Ásv.társ.:** epidot, amfibol, klorit, plagioklász.

Felh.: a thulit díszítőköként, míg a tanzanit drágakőként nyer felhasználást.



Zoisit: $c\{001\}$, $d\{101\}$, $a\{100\}$, $q\{201\}$; *prizmás termet.*

Axinit-csoport

Szerkezetükben két összekapcsolódott Si_2O_7 -csoport, két BO_4 -tetraéderrel együtt alkot egy hattagú, gyűrű alakú $\text{B}_2\text{Si}_8\text{O}_{30}$ komplexumot, melyhez két további Si_2O_7 -csoport csatlakozik. A Fe^{2+} , Mn^{2+} , illetve Mg általi helyettesítése jól ismert: manganaxinit és magnezioaxinit ásványok felé átmenetek. A csoport negyedik ásványa a tinzenit, ahol azonban – az előbbiekkal ellentétben – $\text{Ca} < 1,5$.

ferroaxinit	Ca₂Fe²⁺Al₂B(O,OH)(Si₂O₇)₂	triklin
magnezioaxinit	Ca ₂ MgAl ₂ B(O,OH)(Si ₂ O ₇) ₂	triklin
manganoaxinit	Ca ₂ Mn ²⁺ Al ₂ B(O,OH)(Si ₂ O ₇) ₂	triklin
tinzenit	(CaMn)MnAl ₂ B(O,OH)(Si ₂ O ₇) ₂	triklin

Ferroaxinit Ca₂FeAl₂B(O,OH)(Si₂O₇)₂

Krist.: triklin. Gyakori vékony táblás kristályai az éleken ékszerűen végződnek. Vaskos kifejlődései lemezes-pátos halmazokat alkotnak. **Fiz.:** hasadása {100} sz. jó, törése egyenetlen; K = 6,6–7; S = 3,25–3,36; barna, ibolyásbarna, szürke; karcolási pora fehér; áttetsző, átlátszatlan; üvegfényű. **Tércsop.:** P-1; a = 8,95–9,96; b = 9,19–9,20; c = 7,14–7,15; α = 102,63–102,80°; β = 98,08–98,19°; γ = 88,18–88,24°, Z = 2. **Pol. mikr.:** színtelen, optikailag kéttengelyű, negatív. **Kém.:** a vasnak Mn és Mg általi helyettesítése általános, ezek dominanciája alapján 3 fajt különböztetünk meg (lásd fentebb). Ritkábban Na és K jelenik meg a szerkezetben.

Földt.-előf.: kontakt metamorf képződmények, illetve gránitpegmatitok ritkább ásványa. Regionális metamorfitekban elsősorban a hidrotermás eredetű alpi-típusú paragenezisek kvarc-kalcit ereiben fordul elő. Néhány lelőhely: Miskolc-Lillafüred; Veszverés (SK), Ruszkica (RO), Puiva, Sarki-Ural (RUS); az Alpokban Bourg d' Oisans (F), Val Tremola, Val d' Ossola (I), Knappenwand (A). **Ásv.társ.:** epidot, klinozoisit, grosszulár, prehnit, mikroklin, albit, titanit.

Pumpellyit-csoport

A csoport tagjainak szerkezete leginkább az epidot-csoport ásványaival rokon. A láncszerű szerkezetben SiO₄- és Si₂O₇-csoportok egyaránt részt vesznek. Ennek megfelelően kristályaik prizmás vagy tús termetűek. Gyakran képeznek nemezserűen szálas halmazokat. Nagyon kisfokú metamorf kőzetek jellegzetes, de kis mennyiségben megjelenő ásványai.

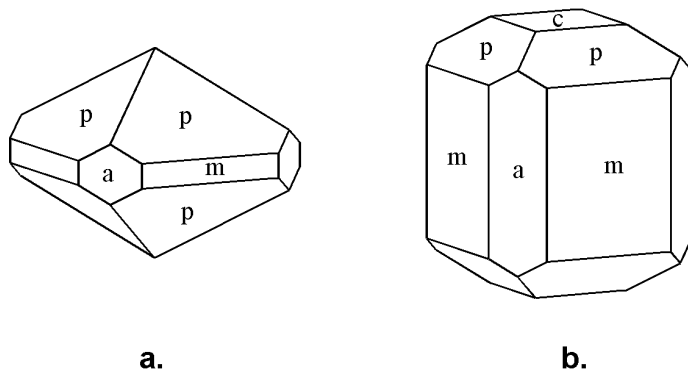
Egyéb szoroszilikátok

Vezuvián Ca₁₀Mg₂Al₄(SiO₄)₅(Si₂O₇)(OH)₄

Krist.: tetragonális. Kristályai prizmás vagy dipiramisos termetűek. Gyakoribb formák: {100}, {110}, {111} és {001}. A csak {100} és {111} formákból álló kombinációknak – ha a prizmazóna nem elég fejlett – rombdodekaéderhez hasonló megjelenése van (így a mészgránátokkal könnyen összetéveszthető). Ráadásul gyakran orientáltan összenő a grosszulárral és/vagy andradittal. Vaskosan durva szemcsés, ritkábban rostos halmazokat képez. **Fiz.:** hasadása {110} sz. rossz, törése egyenetlen; K = 5–6,5, S = 3,32–3,43; fehér, sárga, sárgászöld, zöld, barna, ibolya, fekete; üvegfényű, áttetsző, átlátszatlan. **Tércsop.:** számos politípusa ismert, az egyik leggyakoribb a P4/n, a = 15,54; b = 15,55; c = 11,82. **Pol. mikr.:** színtelen, halványsárga; optikailag egytengelyű, negatív, (de a B-tartalmúak optikailag pozitívak). **Kém.:** szerkezetében roppant változatos helyettesítések ismertek: a Ca helyén Na, K, Pb, Sb, RFF, a Mg helyén Al, Fe, Cu, Zn, Bi, Ti, míg az (OH)-csoport helyén F, Cl és O szerepelhet. Ezek mellett a B jelenléte sem ritkaság. **Vált.:** idokráz (szinonim elnevezés), ciprin (kékeszöld, Cu-tartalmú), egeran (prizmás kristályok sugaras halmaza).

Földt.-előf.: tipikus kontakt metamorf képződésű ásvány. Szarnokban és effuzív magmatitok xenolitjaiban más Ca-szilikátok kísérik: Reesk, Polgárdi; Vaskő, Csiklova, Rézbánya (RO); Vihnye, Tiszolc (SK), Val di Aosta, Val di Ala, Piemont, Vezúv (I); Telemark (N), Eger (CZ); Viljuj-folyó, Jakutföld (RUS); Jeffrey-bánya, Asbestos (CAN). Ritkábban alkáli magmatitok, és pegmatitok elegyrésze. **Ásv.társ.:** grosszulár, andradit, wollastonit, tremolit, titanit és diopszid.

Felh.: esetenként díszítőkőnek és ékkőnek használják.

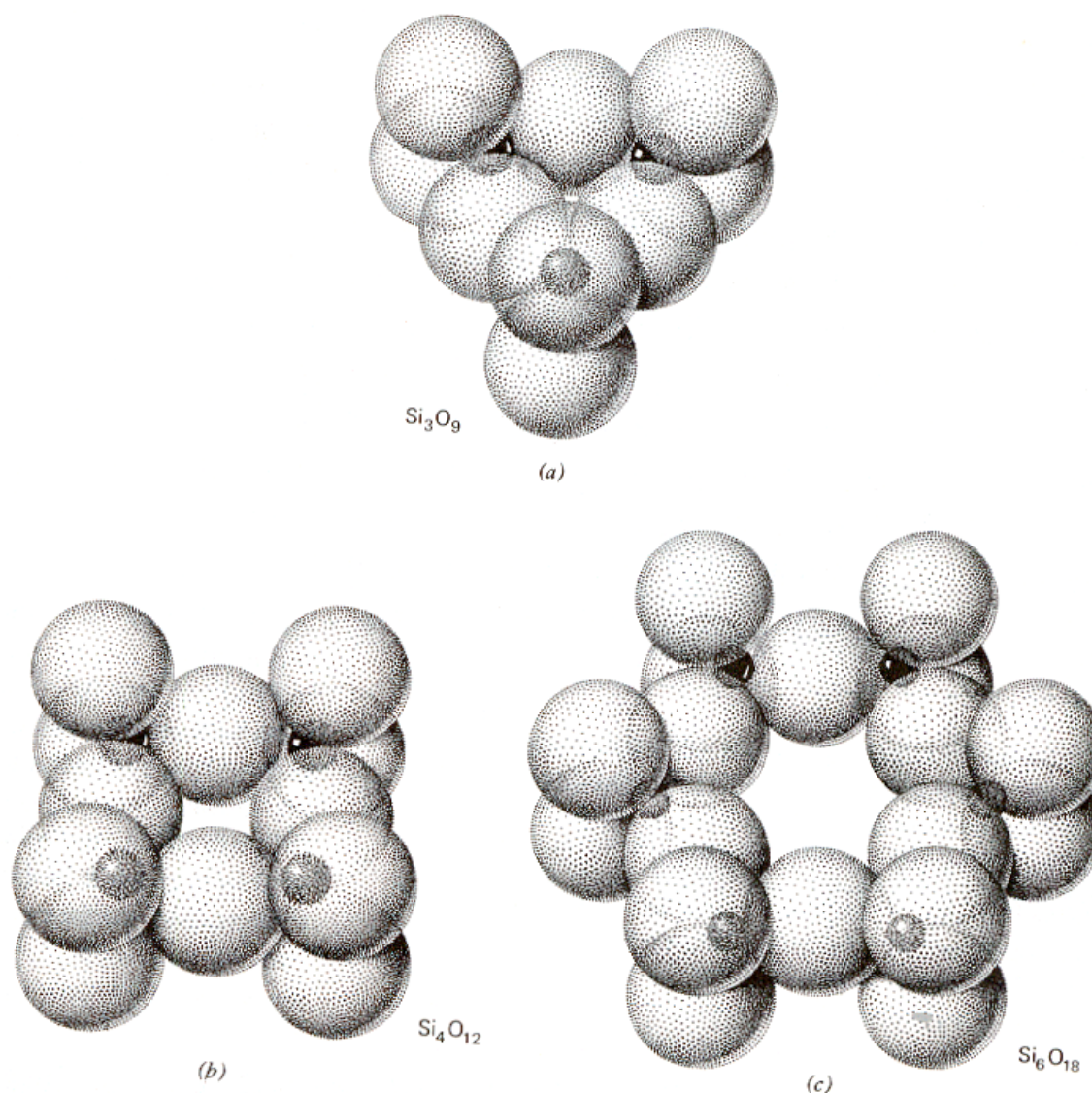


Vezuvián: $a\{100\}$, $m\{110\}$, $p\{111\}$, $c\{001\}$; a. dipiramisos termet, b. prizmás termet.

IX. C. alosztály. Cikloszilikátok

A cikloszilikátok SiO_4 -tetraéderek összekapcsolódásából álló, gyűrű alakú anion csoportokat tartalmaznak, melyekben a Si : O arány 1 : 3; így az általános anion $(\text{Si}_x\text{O}_{3x})^{2x-}$. Az SiO_4 -tetraéderek hármassal összekapcsolódásával $(\text{Si}_3\text{O}_9)^{6-}$ csoportok, négyes kapcsolódással $(\text{Si}_4\text{O}_{12})^{8-}$ -csoportok, míg hatos kapcsolódással $(\text{Si}_6\text{O}_{18})^{12-}$, hexagonális szimmetriájú, gyűrű alakú csoportok jönnek létre. A felsorolt SiO_4 -polimerizációkat az ... ábra mutatja. Sokkal ritkábban még több SiO_4 -tetraéder összekapcsolódhat gyűrűs komplexummá, így ismerünk 8, 9 és 12 tagból álló gyűrűket is. Az ásványok között a hármassal és négyes gyűrűt tartalmazó szerkezetek ritkák, egyedül a hatos gyűrűt tartalmazó ásványok között vannak gyakoriak. Ez utóbbiakhoz két fontos csoport, a berill és a turmalin tartoznak.

A cikloszilikátok csoportosítása alapvetően a gyűrűk tagszáma alapján történik. Emellett fontos lehet, hogy van-e a szerkezetben a gyűrűtől szigetszerűen elkülönülő komplex anion, illetve a gyűrűk összekapcsolódnak-e közvetlenül, vagy csak kationok által. Néhány példa közülük: 3-tagú egyszerű gyűrűk, benitoit $\text{BaTi}(\text{Si}_3\text{O}_9)$; 6-tagú egyszerű gyűrűk, szigetszerű komplex anionok nélkül, dioptáz $\text{Cu}_6(\text{Si}_6\text{O}_{18}) \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; 9-tagú gyűrűk, eudialit $(\text{Na}_{14}\text{Ca})\text{Ca}_6\text{Fe}^{2+}_3\text{Zr}[(\text{Cl},\text{OH})_2(\text{Si}_3\text{O}_9)_2(\text{Si}_9\text{O}_{27} \cdot \text{SiO}_2)_2]$. A jelenleg ismert legnagyobb, 18 tagból álló gyűrűt tartalmazó ásvány neve – jelezve annak méretét – a megaciklit.

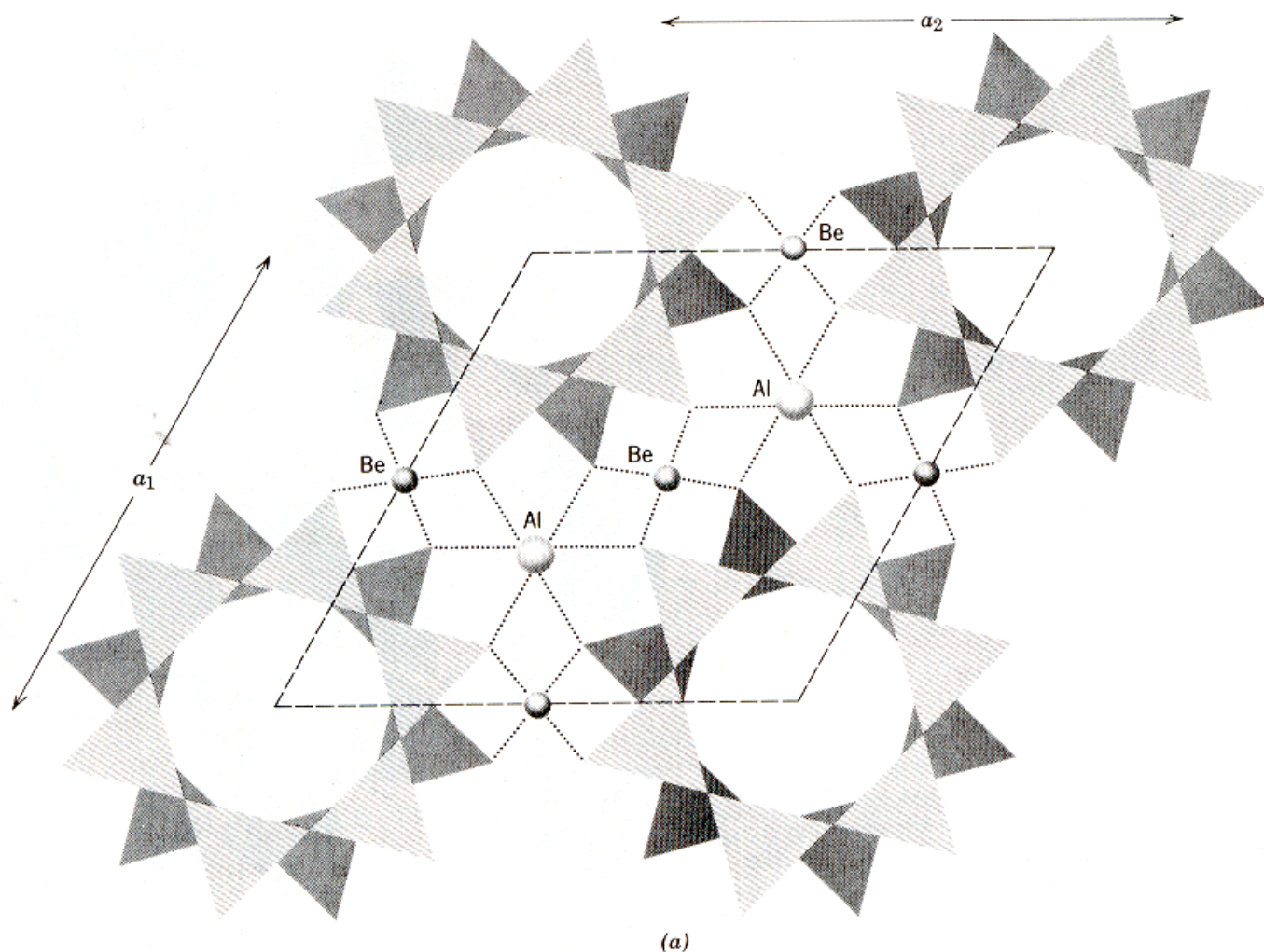


3, 4 és 6 SiO_4 -tetraéder összekapcsolódása által létrejött gyűrűs anionok, a cikloszilikátok alapvető építőegységei.

Berill (és cordierit) csoport

Szerkezetükben hatos Si_6O_{18} -gyűrűk rétegszerűen helyezkednek el a (0001) síkkal párhuzamosan. A 4-es koordinációjú Be^{2+} és a 6-os koordinációjú Al^{3+} ionok a gyűrűk rétegei közötti síkban vannak. A gyűrűs csoportok egymás fölötti elhelyezkedése folytán a rácsban, a c -tengellyel párhuzamosan csatornák futnak, melyekben sokféle ion, atom és molekula megjelenhet, így K^+ , Na^+ , Cs^+ , $(\text{OH})^-$ ionok, vízmolekula stb. A csoport általános képlete: $\text{A}_{2-3}\text{B}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$, (vagy a Si-nak Al általi helyettesítése miatt esetenként a Si_6O_{18} -csoport helyett $\text{Si}_5(\text{Si},\text{Al})\text{O}_{18}$ csoport van), ahol A = Be, Mg, Fe, míg B = Al, Sc, Fe lehet. A csoport tagjai hexagonális rendszerben kristályosodnak.

A cordierit kristályrácsa rokon a berillével, csak ebben a Mg 6-os koordinációjú, illetve a tetraédes helyeken a Si-ot részben Al helyettesíti. A c -tengellyel párhuzamos csatornában itt is számos atom és ion foglalhat helyet.



A berill szerkezete a hatos gyűrűkkel és a csatornákkal; (0001)-re merőleges nézet.

berill	Be₃Al₂(Si₆O₁₈)	hexagonális
bazzit	Be ₃ (Sc,Al,Fe) ₂ (Si ₆ O ₁₈)	hexagonális
cordierit	Mg₂(Al₂Si)(Al₂Si₄O₁₈)	rombos
sekaninait	Fe ²⁺ ₂ (Al ₂ Si)(Al ₂ Si ₄ O ₁₈)	rombos

Berill Be₃Al₂Si₆O₁₈

Krist.: hexagonális. Kristályai nyúlt prizmásak, esetenként dipiramisokkal tetőzve.

Legtöbbször csak a hexagonális prizma és bázis kombinációja jelenik meg. Gyakoribb formák: {10-10}, {10-11}, {20-21} és {0001}. Vaskosan durva szemcsés halmazokat alkot.

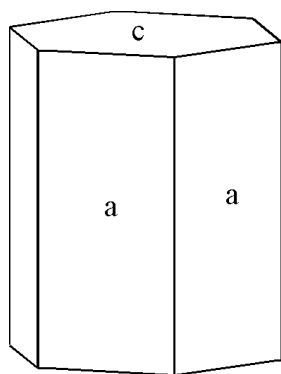
Fiz.: hasadása {0001} sz. közepes, törése egyenetlen; K = 7,5–8, S = 2,63–2,83; fehér, zöld, sárga, barna, égbék, rózsaszín, vörös; olykor színzónásság észlelhető; karcolási pora fehér; átlátszó-áttetsző; üvegfényű.

Tércsop.: P6/mcc. a = 9,20; c = 9,18; Z = 2. **Pol. mikr.:**

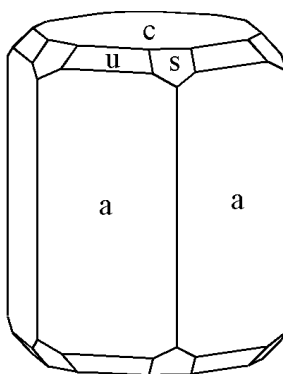
színtelen, pleokroós: zöld-kék-sárga; optikailag egytengelyű, negatív. **Kém.:** alkálifémek (Cs, Na, K, Li) gyakran helyettesítik a Be-t, illetve a csatornában helyezkednek el; vízmolekulák, általában kis mennyiségben (max. 4 tömeg%), de szinte mindig jelen vannak a csatornában.

Ezek mellett még számos, a pegmatitokban gyakori elemet kimutattak benne, max. 1–2 tömeg% mennyiségben: Nb, Ta, Zr, Sn, B, Ti. **Vált.:** smaragd (zöld, Cr³⁺ vagy V³⁺ tartalmú), akvamarin (tengerkék, kékeszöld, Fe²⁺ és Fe³⁺ tartalmú), heliodor, aranyberill (sárga, Fe³⁺ tartalmú), morganit (rózsaszín, Mn²⁺ tartalmú).

Földt.-előf.: legtöbbször granitoidokban, pegmatitokban fordul elő: Teregova, Macskamező (RO), Volodarszk-Volinszkij régió (UA), Nyericsinszk, Szibéria (RUS), Gilgit (Pakisztán), Black Hills, Dél-Dakota, Pala, Kalifornia (USA), Bahia, Itabira, Goias (Brazília). Pegmatitokból olykor több tonnás kristályok kerültek elő (Brazília, Norvégia), a legnagyobb ismert kristály 18 m hosszú volt. Kisebb mennyiségben greizenekben, az Sn-W-Mo ércesedéseket kísérő kvarctelésekben kerül elő. A legszebb smaragd bitumenes mészkő kalcitereiben található a kolumbiai Muzo környékén. Metamorf környezetben, csillámpalákban is megjelenik: Moraván (SK), Habachtal (A); Takovaja-folyó környéke, Ural (RUS). A vörös berill csak riolitokból ismert: Topáz-völgy, Thomas Range, Utah (USA).
Ásv.társ.: mikroklin, lepidolit, turmalin, topáz (pegmatitokban); fenakit, titanit, krizoberill (csillámpalákban); kassziterit, scheelit, volframit, zinnwaldit, topáz, fluorit (ónkőtelepekben).
Felh.: a berillium fém legfontosabb nyersanyaga (repülőgépipar, űrtechnika); nemes változatai a legértékesebb drágakövek közé tartoznak.



a.



b.

Berill: $c\{0001\}$, $a\{10-10\}$, $s\{11-21\}$, $u\{20-21\}$; a. és b. prizmás termet

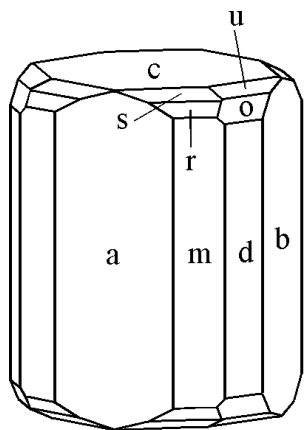
Cordierit $Mg_2Al_4Si_5O_{18}$

Krist.: rombos. Kristályai zömök prizmás terműek. Legtöbbször az $\{110\}$ prizma és a $\{010\}$ véglap egyenlő mértékű kifejlődése révén a kristályok termete hexagonális jellegű. A tetőzölap általában a $\{001\}$ bázis, olykor dipiramisok. Sokkal gyakoribb vaskos, szemcsés megjelenésben. **Fiz.:** hasadása $\{010\}$ sz. jó, törése kagylós-egyenetlen; $K = 7$, $S = 2,53-2,65$; szürke, barna, kékesibolya, zöldesszürke; vastagabb lemezeinek erős a pleokroizmusa: szintelentől, sárgán át kékesibolyáig terjed; áttetsző-átlátszatlan; üvegfényű, törési felülete zsírfényű. **Tércsop.:** Cccm; $a = 17,08$; $b = 9,73$; $c = 9,35$; $Z = 4$. **Pol.mikr.:** szintelen, esetleg halványibolya; pleokroizmusa vékonycsiszolatban jelentéktelenné válik; optikailag kéttengelyű, negatív vagy ritkábban pozitív. **Kém.:** a Mg-ot legtöbbször Fe^{2+} helyettesíti, ez a vas dominanciája esetén átvezet a sekaninait irányába. A szerkezetben lévő csatornáknak számos atom (Be, Na, K, Mn), illetve molekula (víz, CO_2 , N_2) megjelenhet. **Vált.:** dikroit (erős pleokroizmust mutat).

Földt.-előf.: tipikus metamorf ásvány, különösen Al-gazdag kőzetekben jelenik meg. Kontakt metamorfózis során, agyagkőzetekből képződő szaruszirtek egyik komponense: Vaskő, Dognácska (RO). Vulkáni kőzetekben, agyagkőzetek beolvasztásából származó xenolitokban hasonló eredetű: Celldömölk, Szob; Déva, Nagyág (RO), Szedikert (SK), Mull-sz. (Skócia). Regionális metamorfózissal – különösen a közepes fokú és nagyfokú metamorfitokban – csillámpalákban és gneiszekben otthonos: Sopron; Fogarasi- és Szebeni-havasok (RO), Bodenmais (D). Olykor egyes metamorfitokban jellemző kőzetalkotó elegyrész (cordierites palák): Lizard-fok, Cornwall (GB); Bamle (N). Pegmatitokban ritkán fordul elő (ellentétben

vasgazdag izomorf párjával, a sekaninaittal): Dolní Bory, Vežná (CZ); Arendal, Kragerø (N). Drágakő minőségű példányai sokszor másodlagos lelőhelyeken (torlatokban) fordulnak elő: India, Sri Lanka, Thaiföld, Madagaszkár. **Ásv.társ.:** piroxén, biotit, gránát (szaruszirtekben); sillimanit, korund, anortit, spinell (xenolitokban); sillimanit, gránát, turmalin, cirkon, biotit (csillámpalákban, gneiszekben).

Felh.: tűzálló kerámia, tűzálló bevonatok robbanó motorokban és turbinákban; a drágakőiparban az átlátszó, erős pleokroizmust mutató példányokat kedvelik.

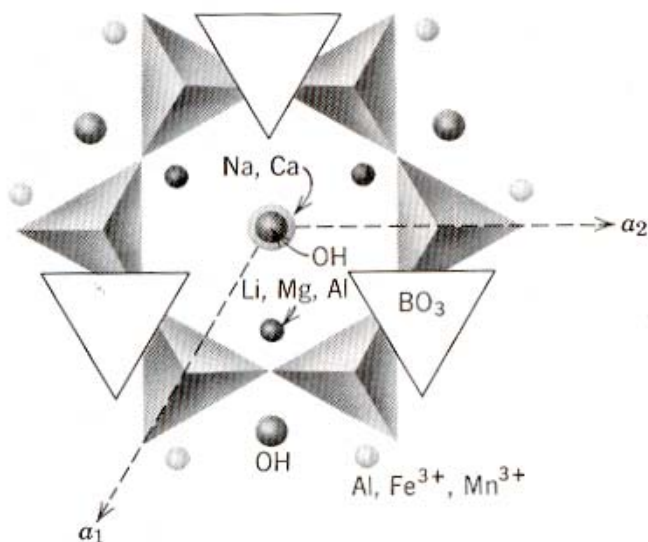


Cordierit: $a\{100\}$, $b\{010\}$, $c\{001\}$, $m\{110\}$, $d\{130\}$, $r\{111\}$, $s\{112\}$, $o\{131\}$, $u\{134\}$; prizmás termet.

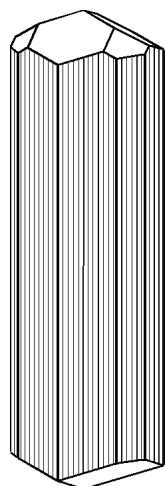
Turmalin-csoport

A berillhez hasonlóan Si_6O_{18} -gyűrűkből áll a szerkezete. A gyűrűk között rétegszerűen elhelyezkedő BO_3 planáris csoportok találhatók. Az SiO_4 -tetraéderek elhelyezkedése eltér a berillgyűrűben lévőtől, mert a csúcsukkal mind a (0001) sík egyik oldala felé irányulnak, így hemimorfia áll elő.

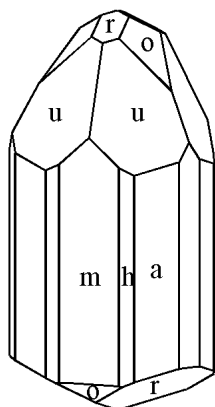
A turmalinok kemizmusáé elégé összetett. Általános képletük: $\text{XY}_3\text{Z}_6(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}\text{V}_3\text{W}$. A leggyakoribb ionok, melyek a szerkezetben a kationpozíciókat betöltik: $\text{X} = \text{Na}^+$, Ca^{2+} vagy \square (üres, nincs betöltve a pozíció), 9-es koordinációval; $\text{Y} = \text{Mg}^{2+}$, Al^{3+} , Fe^{3+} , Fe^{2+} , Li^+ , Mn^{2+} , 6-os koordinációval; $\text{Z} = \text{Al}^{3+}$, Fe^{3+} , Mg^{2+} , Cr^{3+} , Mn^{3+} , 6-os koordinációval. Az anionhelyeket tekintve: $\text{V} = (\text{OH})^-$, O^{2-} , míg $\text{W} = (\text{OH})^-$, O^{2-} , F^- . A turmalinok legújabb nevezéktana alapján az alcsoportok megállapítása az X kationhelyek kemizmusáé alapján történik. Ennek megfelelően vannak alkáli, kalciumos, és betöltetlen X- pozíciókkal jellemezhető alcsoportok (...ábra). Ezek közül számunkra – széles elterjedésük miatt – az alkáli-turmalinok a legjelentősebbek. Amint az alkáli-turmalinok gyakoribb végtagjainál alább látható lesz, minden jelzett pozícióban számos helyettesítés lehetséges. Sőt az is gyakori jelenség, hogy egy kristályban a növekedés során a kémiai összetétel folyamatosan vagy hirtelen változik meg, ezek egyúttal más és más turmalin ásványokat jelenthetnek. A kemizmus hirtelen, periodikus megváltozásával képződött zónás kristályok a turmalinoknál nem számítanak ritkáknak. Jelenleg 14 fajt ismerünk a csoporton belül. Az egyes fajokat korrekt módon csak kvantitatív vegyelemzéssel lehet egymástól megkülönböztetni. A színek alapján történő elkülönítés csak hozzávetőleges eredményt hozhat.



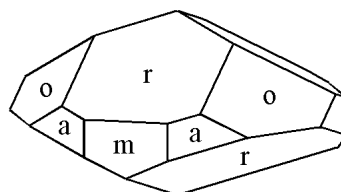
A turmalin szerkezete az SiO_4 -tetraéderekkel és a BO_3 planáris csoportokkal; (0001)-re merőleges nézet.



a.



b.



c.

Turmalin: $r\{10-11\}$, $o\{02-21\}$, $u\{32-51\}$, $m\{10-10\}$, $h\{41-50\}$, $a\{11-20\}$; a. erősen rostozott prizmalapok; b. prizmás kristály; c. lencse alakú kristály.

Alkáli-turmalinok

elbait	$\text{Na}(\text{Li}_{0,5}\text{Al}_{0,5})_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH})_3\text{F}$	trigonális
drávit	$\text{NaMg}_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH})_3(\text{OH})$	trigonális
sörl	$\text{NaFe}_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH})_3(\text{OH})$	trigonális

Elbait $\text{Na}(\text{Li}_{0,5}\text{Al}_{0,5})_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH})_3\text{F}$

Krist.: trigonális. Nyúlt prizmás kristályai a c -tengely irányában sokszor erősen rostozottak. A kristályok terminális lapjai általában jól fejlettek. A mindkét végén kifejlődött kristályokon a hemimorfia jól látható: az egyik végén pedionnal terminált kristályvéggel szemben a kristály másik végén, egy vagy két piramis jelenhet meg. Gyakoriak a prizmás kristályokból álló

sugaras-rostos halmazok. **Fiz.:** nem hasad, törése egyenetlen-kagylós; $K = 7,5$, $S = 3,05-3,10$; a feketét kivéve gyakorlatilag minden színben megjelenhet(!): színtelen, rózsaszín, vörös, zöld, sárga, barna, kék; sokszor egy kristály két- vagy többszínű, ez zónás jellegű is lehet, akár hosszanti, akár keresztirányban, ez utóbbi esetén a szín koncentrikusan is változhat; karcolási pora fehér; átlátszó-áttetsző; üvegfényű, törési felülete zsrífényű. **Tércsop.:** R3m; $a = 15,81$, $c = 7,08$; $Z = 3$. **Pol.mikr.:** színtelen vagy enyhén színezett, kettőtörése kisebb, mint a drávit és sörlé, optikailag egytengelyű, negatív. **Kém.:** számos nyomelemet kimutattak szerkezetében. Legtöbbször ezek oktaéderez pozíciókban történő helyettesítése okozza – szelektív abszorpció révén – az elbaitok sokféle színét. Néhány példa: zöld (Fe^{2+}), sárga (Fe^{3+}), rózsaszín (Mn^{2+}), vörös (Mn^{3+}), kék (Cu^{2+}). **Vált.:** akroit (színtelen), rubellit (rózsaszín, vörös), indigolit (kék), verdelit (zöld), mórfej (a kristály vége fekete; valójában a kristály egésze rózsaszín elbait, fekete vége sörl vagy más fekete színű turmalin), dinnye-turmalin (kétszínű elbait, keresztmetszetben nagy vörös maggal és vékony zöld szegéllyel). Megjegyzendő, hogy ezek a változatnevek, nem feltétlenül csak az elbaitra vonatkozhatnak, hanem esetenként más turmalin ásványokra is.

Földt.-előf.: granitoidokban, pegmatitokban, magas hőmérsékletű hidrotermás kvarctelésekben fordul elő leggyakrabban: Dolní Bory (CZ); San Piero di Campo, Elba-sz. (I); Murszinka, Alabaska, Ural (RUS); Afganisztán, Pakisztán, Sri Lanka, Nepál, India, Madagaszkár, Brazília. **Ásv.társ.:** más alkáli turmalinok, albit, kvarc, lepidolit, berill, muszkovit.

Felh.: átlátszó, színezett példányait drágakőként hasznosítják.

Drávit $NaMg_3Al_6(BO_3)_3Si_6O_{18}(OH)_3(OH)$

Krist.: trigonális. Legtöbbször zömök prizmás kristályok, sokszor sugaras-rostos, ritkábban finom tús aggregátumok formájában fordul elő. A hemimorfia nem mindig észlelhető, mert sokszor a kristályok mindkét végén piramisok vannak. **Fiz.:** nem hasad, törése egyenetlen-kagylós; $K = 7-7,5$. $S = 2,9-3,3$; színtelen, világosbarna, sötétbarna, fekete; karcolási pora fehér, világosbarna, szürke; üvegfényű, törési felülete zsrífényű. **Tércsop.:** R3m. $a = 15,91$; $c = 7,21$; $Z = 3$. **Pol.mikr.:** halványsárga, pleokroizmusa gyengébb, kettőtörése kisebb, mint a sörlé; optikailag egytengelyű, negatív. **Kém.:** a szerkezetébe beépülő leggyakoribb elemek: Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Ti^{4+} , Cr^{3+} , V^{3+} , Ca^{2+} . Teljes helyettesítés ($Mg \rightarrow Fe^{2+}$) csak a sörl irányába létezik.

Földt.-előf.: általában Mg-tartalmú márványokban, Mg-gazdag metamorfitokban fordul elő: Magas-Tátra (PL), Szászabánya (RO), Unterdrauburg, Dráva-vidék, Karintia (A); Bamle, Snarum (N); Pierrepont, New Jersey, Crestmore, Kalifornia (USA). Ritkábban hidrotermás érctelepeken jelenik meg: Nagybörzsöny; Ötösbánya, Körmöcbánya (SK). Másodlagosan, törmelékes üledékekben ismert. **Ásv.társ.:** sörl, muszkovit, rutil, kvarc.

Felh.: a zöld, átlátszó, Cr-tartalmú drávitot ékkőként hasznosítják.

Sörl $NaFe^{2+}_3Al_6(BO_3)_3Si_6O_{18}(OH)_3(OH)$

Krist.: trigonális. Nyúlt vagy zömök prizmás kristályai hosszanti irányban legtöbbször rostozottak. Uralkodó formák az {1010} és {1102} prizmák, az {1011} és {0221} piramisok, illetve a {0001} pedion. Leggyakrabban durva sugaras-rostos, vagy finom szálal halmazokként jelenik meg. **Fiz.:** nem hasad, törése egyenetlen-kagylós; $K = 7-7,5$. $S = 2,9-3,3$; sötétbarna, fekete; karcolási pora világosszürke; üvegfényű, törési felülete zsrífényű. **Tércsop.:** R3m. $a = 15,99$; $c = 7,17$; $Z = 3$. **Pol.mikr.:** barna, pleokroizmusa erős (kivéve c-tengelyre merőleges metszetét); optikailag egytengelyű, negatív.

Földt.-előf.: granitoidokban, pegmatitokban, magas hőmérsékletű hidrotermás kvarctelésekben fordul elő leggyakrabban: Sukoró; Párva, Macskamező, Teregova (RO); Magas-Tátra (SK-PL), Dolní Bory, Cyrilov (CZ), Alabaska, Murszinka, Ural (RUS); Pala,

Kalifornia (USA); Brazília, Pakisztán, Madagaszkár. Hidrotermás érctelepeken is megjelenik: Alsósajó, Ötösbánya, Bindtbánya (SK). Gyakran megtalálható kontakt metamorf, illetve regionális metamorf kőzetekben (csillámpalákban, gneiszekben): Sopron, Pátka, Bükkszentkereszt; Radnai-, Fogarasi-, Szebeni-havasok (RO), Alpok (CH-A). Törmelékes üledékekben széles elterjedésű. **Ásv.társ.:** albit, apatit, almandin, muszkovit, biotit, rutil.