

2. modul 2. lecke: Oxidkerámiák

A lecke célja, az egyes oxidkerámia fajták szerkezetének, tulajdonságainak, alkalmazásainak a megismerése. Rendkívül érdekes általános és speciális alkalmazási területekkel fogunk találkozni.

Követelmények: Ön akkor sajátította el a tananyagot, ha képes;

- elkülöníteni az egyes oxidkerámia fajtákat az anyaguk szerint,
- jellemezni az egyes oxidkerámia fajtákat mechanikai tulajdonságaik, termikus és elektromos viselkedésük szerint,
- bemutatni az általános és a speciális alkalmazási területeket.

Időszükséglet: előadás időtartama 1,5 óra. Otthoni, egyéni tanulásban kb. +2 óra az elsajátítás ideje.

Kulcsfogalmak:

- oxidkerámia
- alumíniumoxid
- magnéziumoxid
- zirkóniumoxid
- alumíniumtitanát
- titándioxid
- báriumtitanát
- piezoelektromos kerámiák

Tartalom:

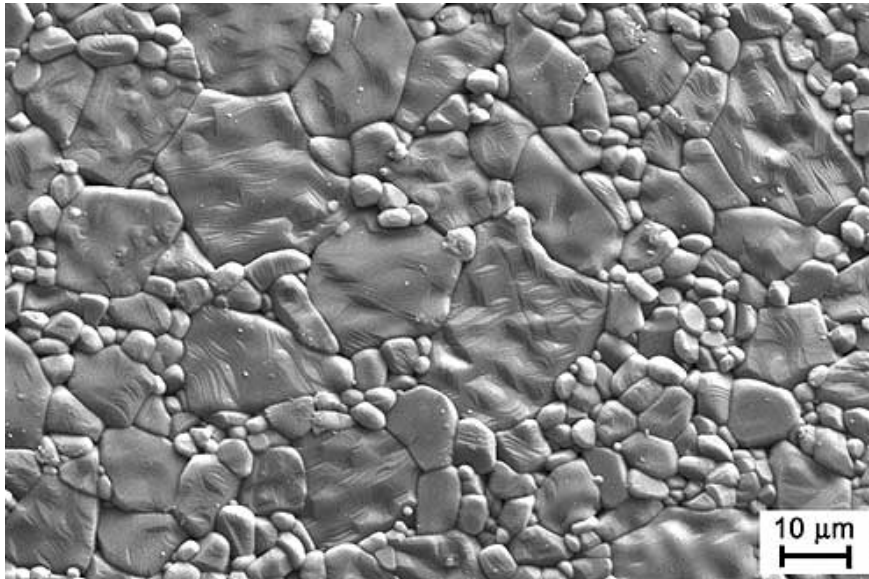
Tevékenység: A lecke áttanulmányozása után, a követelményekben meghatározottak alapján rögzítse, majd foglalja össze a lecke tartalmát, készítsen feljegyzéseket, gyűjtsön példákat a kulcsfogalmak jellemzőiről

1. Alumíniumoxid

Az alumíniumoxid (Al_2O_3) a legfontosabb és a leggyakrabban alkalmazott műszaki oxidkerámia anyag. A tömör szinterezett alumíniumoxid tulajdonságai:

- nagy szilárdság és keménység,
- jó hőstabilitás,
- jó kopásállóság és korrózióállóság magas hőmérsékleten is.

80 – 99 % alumíniumoxidot tartalmazó anyagok a gyakorlatban jól bevált műszaki anyagok. A nagyobb alumíniumoxid arány nem szükségszerű még a legjobb műszaki alkalmazásoknál sem. A jó tulajdonságok mellett az is indokolja a gyakori használatot, hogy olcsó anyagról van szó.



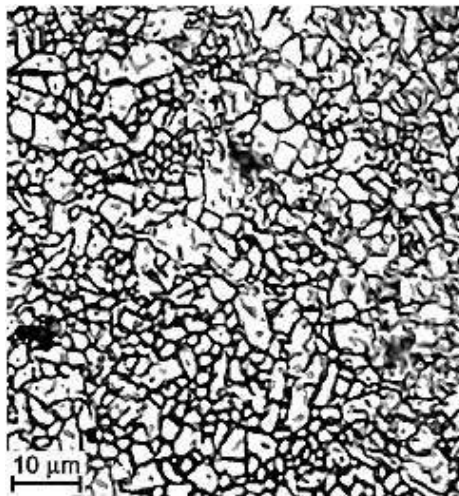
1. ábra: Alumíniumoxid felület



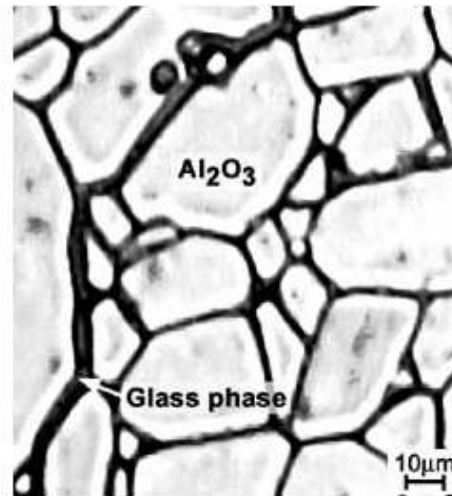
2. ábra: alumínium oxide kerámia metszet (99.7 %)

Az elektromos alkalmazások szigetelő anyagaira vonatkozó összes követelményt kielégítik ezek az anyagok. Kiváló hajlító szilárdságuk, kopásállóságuk miatt mechanikai alkalmazásoknál is gyakoriak.

A mikroszerkezet különbözősége lehet az oka annak, hogy az alumíniumoxid kerámiákból készült termékek tulajdonságai különbözőek lehetnek (3-4. ábra).



3. ábra
Mikrokristályos alumíniumoxid



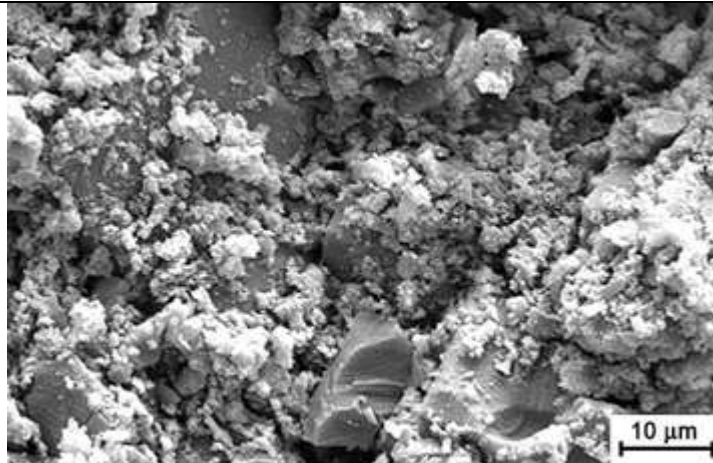
4. ábra
Durva kristályos alumíniumoxid

A jó ár/teljesítmény arálynak és a jó tulajdonságoknak köszönhetően az alumíniumoxid kerámiákat a következő területeken használják:

- egészségügyi iparban mint tömítő anyagok,
- elektromosságban mint szigetelő anyag,
- elektronikában szubsztrátumként,
- gépek és berendezések szerkezeteiben mint kopásálló anyagok,
- vegyiparban korrózióálló anyagként,
- mérés technikában termoelemek védőcsövének az anyagaként,
- orvostechikában implantátumok anyagaként,
- magas hőmérsékletű alkalmazásokban pl. hegesztőpisztoly fúvóka anyagaként, vagy hőcserélőkben csövek anyagaként.

2. Magneziumoxid

A **magneziumoxid (MgO) kerámiák** egyetlen komponensű, nagy tisztaságú anyagok, porózus vagy tömör szerkezettel. Jó elektromos szigetelő és jó hővezető tulajdonságaik vannak.



5. ábra: Porózus magnéziumoxid töretfelület

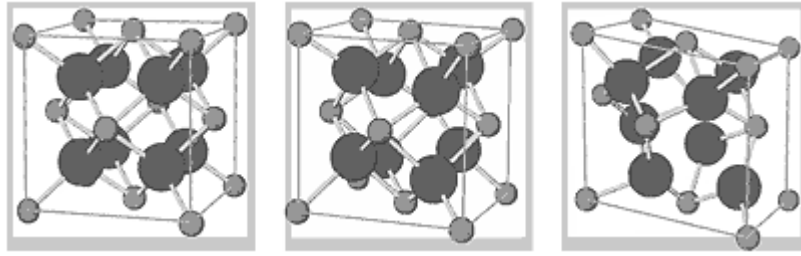
Hőtechnikában alkalmazzák őket elsősorban nagy szilárdságú, kis átmérőjű csövek anyagaként. A magnéziumoxid kerámia csőbe csúsztatják be a fűtőszálat, majd ezután fém csőbe teszik. Az azt követő kovácsolás, feltekerés vagy húzás után nyeri el a termék a kellő formáját és méretét. A szigetelő magnéziumoxid kerámia anyag összepréselődik és a fém cső alakjához idomul. Ezzel a technológiával lehetőség van hajlított csöves fűtő elemek gyártására, amelyek például merülőforralókban, melegítő edényekben vagy termoelemekben fordulnak elő.

3. Cirkóniumoxid

A cirkóniumoxid (ZrO_2) az utóbbi néhány évben vált fontos műszaki anyaggá a következő tulajdonságok miatt:

- magas törőszilárdság,
- hőtágulása az öntöttvaséhoz hasonló,
- különlegesen nagy hajlító és szakítószilárdság,
- jó kopás és korrózióállóság,
- kis hővezető képesség,
- nagyon jó tribológiai tulajdonságok.

A cirkóniumoxid előfordul monoklin, tetragonális és köbös kristályszerkezetekben. Kis porozitású szinterezett alkatrészek köbös és tetragonális szerkezetként munkálhatnak meg. A kristályszerkezet stabilizálásához magnéziumoxidot (MgO), kalciumoxidot (CaO) vagy ittriumoxidot (Y_2O_3) kell hozzáadni a ZrO_2 -hoz. Ritkán használnak más stabilizátorokat is, mint cériumoxid (CeO_2), szkandiumoxid (Sc_2O_3) vagy itterbiumoxid (Yb_2O_3).

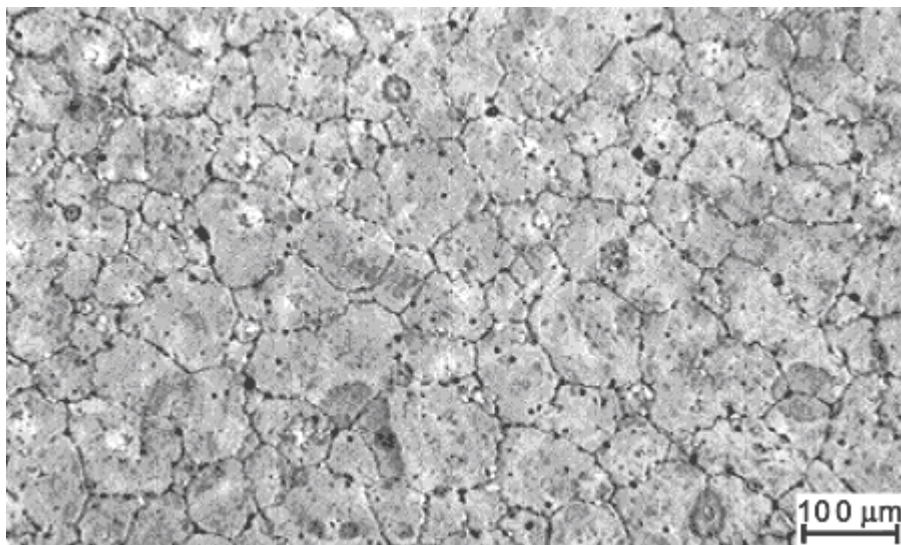


6. ábra:

cirkóniumoxid: köbös, tetragonális és monoklin kristályrács
 kis gömbök = Zr, nagy gömbök = O

A teljesen stabilizált cirkóniumoxidban (FSZ – fully stabilised zirconia) a magas hőmérsékleten köbös szerkezet a hűtés során is megmarad, a hozzáadott stabilizáló oxidok miatt. A térfogat növekedése, amely a műszaki alkalmazásokban nemkívánatos, nem játszódik le a teljesen stabilizált cirkóniumoxidban.

A részben stabilizált cirkóniumoxid (PSZ – partly stabilised zirconia) fontos műszaki anyag. Szobahőmérsékleten a szerkezet tetragonális részeket tartalmazó köbös fázis. Ez az állapot metastabil szerkezet tud maradni megfelelő folyamatszabályozás vagy hőkezelési technológia folyamán is, amely során meggátolják a tetragonális fázisnak monoklin fázissá való átalakulását, a szerkezet így „előfeszített” lesz, ennek következtében megnövekszik a szilárdság és a keménység.

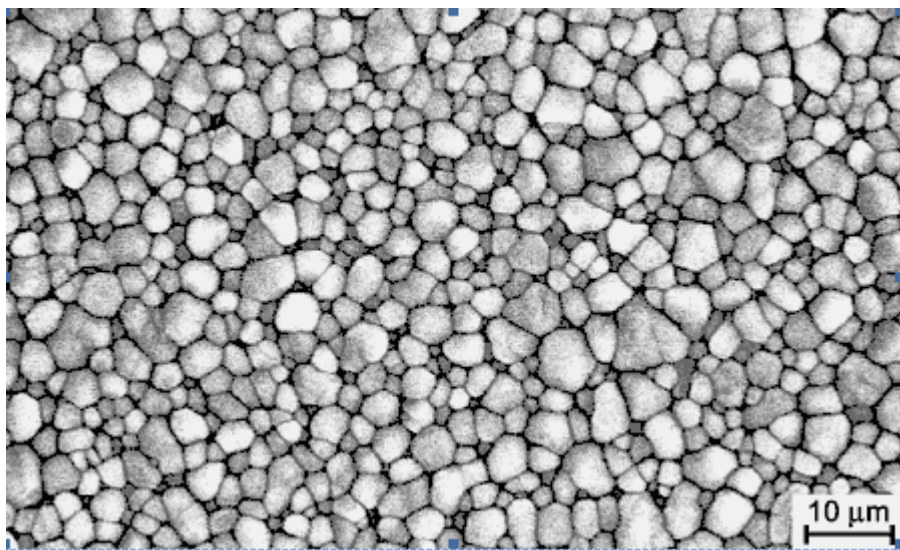


7. ábra: Részben stabilizált cirkóniumoxid (PSZ) szerkezete

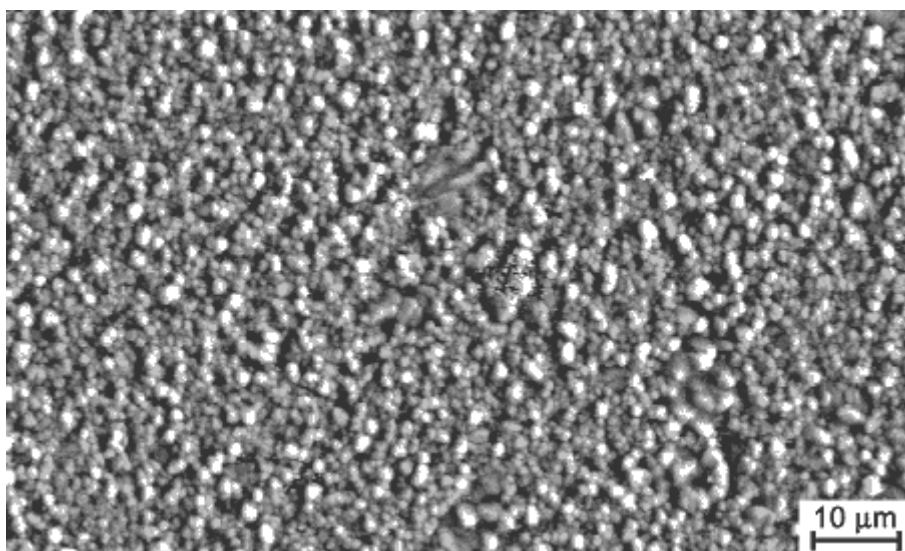
A polikristályos tetragonális cirkóniumoxidban (TZP – tetragonal zirconia polycrystal) a kiindulásképpen használt nagyon finom porszemcsék és az alacsony szinterező hőmérséklet rendkívül finomszemcsés mikroszerkezethez vezetnek (szemcseméret < 100 μm). A rendkívül

finomszemcsés mikroszerkezetnek és a metastabil tetragonális szerkezetnek köszönhetően ezeknek az anyagoknak kivételesen nagy a szilárdságuk, amely az 1500 MPa-t is meghaladja.

A legutóbbi években kifejlesztett tetragonális fázist tartalmazó PSZ és TZP kerámiák a nagyteljesítményű kerámiáknál előforduló, érdekes jelenséget mutatnak: a tetragonális fázisnak monoklin fázissá való átalakulása magas nyomás alkalmazásával elkerülhető. Amikor a magas nyomást megszüntetik, az átalakulás ezután mégis megtörténik. Az átalakulásnak pl. repedésvonalak csúcspontjainál vagy más belső feszültségek helyeinél van kedvező hatása. Mivel ez az átalakulás térfogatnövekedéssel jár, a repedések növekedése megszűnik, vagy a repedések akár el is tűnnek. Ezt a fajta viselkedést ma már kihasználják nagy mechanikai terhelésnek kitett alkalmazásokban. A jelenség kedvező hatásai magas hőmérsékleten, 600-1100^oC tartományban is kiaknázzhatók.



8. ábra: Polikristályos tetragonális cirkóniumoxid (TZP) mikroszerkezete

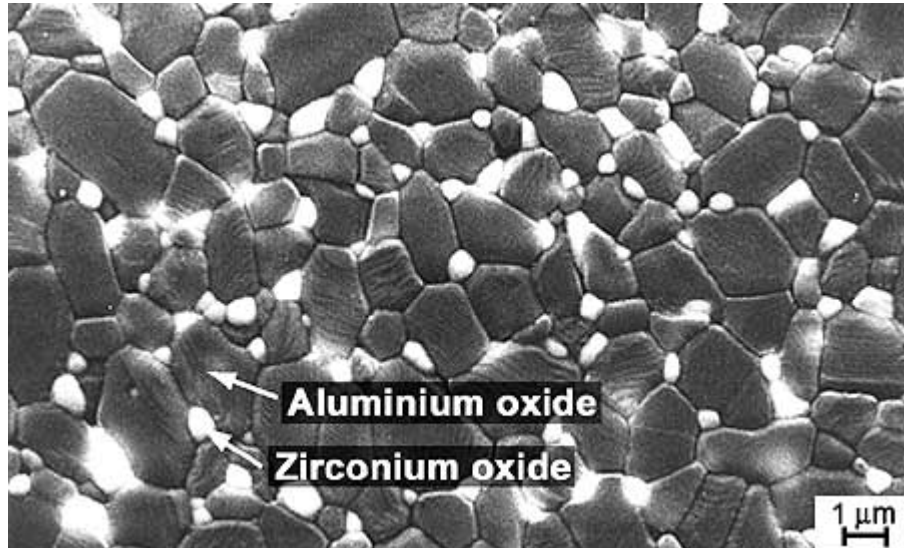


9. ábra: Nanoszerkezetű polikristályos tetragonális cirkóniumoxid (TZP)

Az oxigén ion vezetési tulajdonság az oxigén parciális nyomásának mérésére teszi alkalmassá a cirkóniumoxidot. A benzinmotorok kipufogógázának szabályozásánál szenzorként találkozunk ezzel az anyaggal.

4. Cirkóniumoxiddal erősített alumíniumoxid, ZTA (zirconia toughened alumina)

A tulajdonságok erősen függenek a két komponens arányától és az alkalmazott technológiai folyamattól.



10. ábra: ZTA kis mennyiségű cirkóniumoxid hozzáadásával

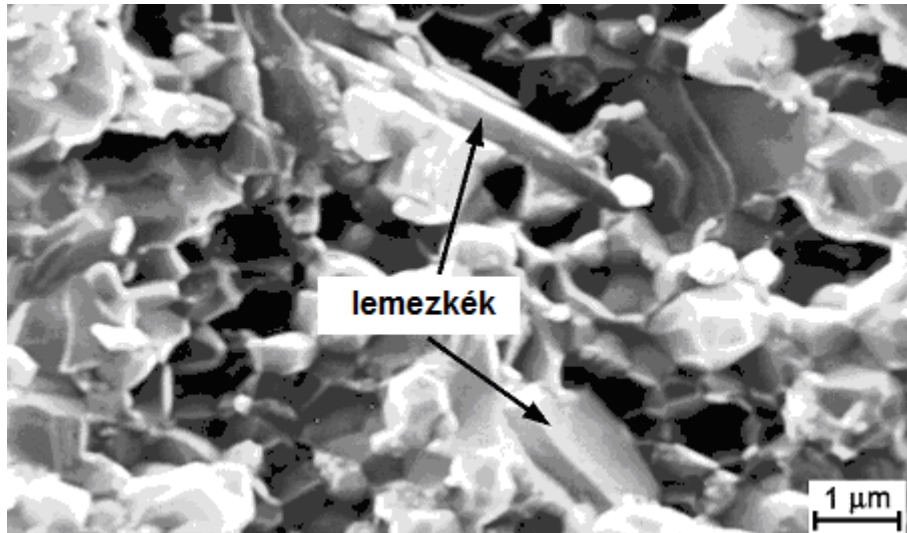
Kis mennyiségű cirkóniumoxid (kevesebb, mint 10 térfogat%) javítja az alumíniumoxidnak az alábbi tulajdonságait:

- hajlító szilárdság
- K_{IC} faktor,
- rugalmassági modulus,
- nyúlás.

Nagyobb cirkóniumoxid koncentráció esetén, megfelelő technológia alkalmazásánál a mikroszerkezetben kis lemezkék alakulnak ki, amelyeknek következményeként néhány anyagtulajdonság javul:

- hajlító szilárdság,
- rugalmassági modulus,
- termikus viselkedés,

ezek tovább javíthatók ittriummal stabilizált tetragonális cirkóniumoxid mátrix választásával.



11. ábra:

Nagyobb mennyiségű cirkóniumoxiddal erősített ZTA szerkezetében megjelenő lemezkék

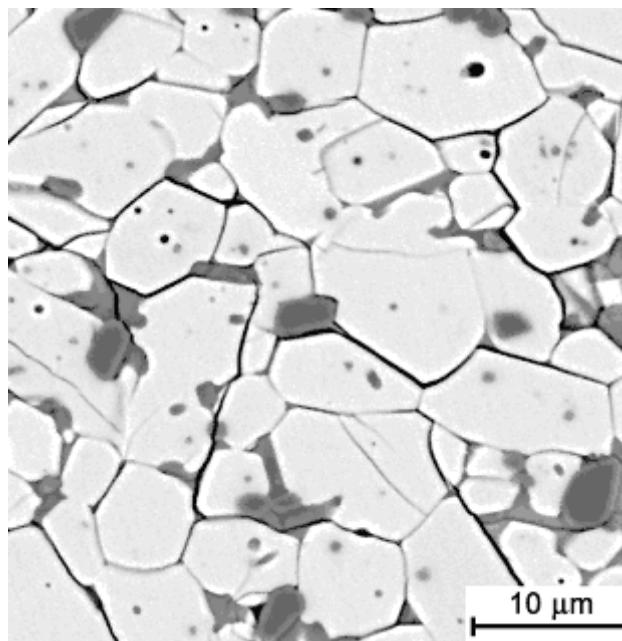
5. Alumíniumtitanát

Az **alumíniumtitanát (ATI)** kerámiák az alumíniumoxid és a titánoxid szilárd oldatai ($\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{TiO}_2$), a következő tulajdonságaik miatt különíthetők el a többi kerámiától:

- kis rugalmassági modulus,
- rossz hővezetés,
- nagyon kicsi hőtágulási tényező, amely kiváló hősokk állósághoz vezet,
- rossz nedvesedő képesség folyékony nemvas fémekkel szemben

Ezek a tulajdonságok a nagy porozitásból és az ATI kristályoknak az erősen anizotróp hőtágulása miatt keletkező mikrorepedések miatt alakulnak ki. Az ATI kristályok hőtágulási együtthatója a tér 3 fő irányában nagyon különbözik. Két irányban pozitív az érték, tehát melegítés hatására tágulás fordul elő, a harmadik irányban azonban negatív az érték, amely melegítés hatására kontrakciót eredményez. Ennek eredményeként, a megmunkálás során és főképpen hűtés során mikro feszültségek keletkeznek, a következmény pedig a mikroszerkezetre jellemző repedésrendszer.

Ennek az anyagnak a későbbi melegítése során az ezzel járó térfogatnövekedés úgy megy végbe, hogy az előállítás során keletkezett repedésrendszer bezárul, és így a makroszkópiusan mérhető térfogatnövekedés rendkívül kicsi lesz.



12. ábra: Aluminiumtitanát mikroszerkezete

A rendkívüli hőszokk állóság a kis hőtágulási együtthatónak és a kis rugalmassági modulusnak a következménye. A szilárdságnak és a rugalmassági modulusnak a hőmérséklettől való függése ismét szokatlan tendenciájú a többi kerámiához képest. Mindkettő értéke növekszik a hőmérséklet emelkedésével, amely ismét a mikrorepedéseknek a magasabb hőmérsékleten való záródásával magyarázható. Az alacsonyabb mechanikai szilárdság miatt gyakori a kompozitokban való alkalmazás, ahol erősebb összetevővel kompenzálják az alacsonyabb mechanikai szilárdságot.

A jellemző felhasználási példák: szelepaláték, hengeraláték járműmotorokban, állítógyűrűk katalitikus konverterekben, égető kemencék berendezései, öntészet. Különösen gyakran megtalálható alumínium olvasztókemencékben, csővezetékek, fűvókák, olvasztótégelyek, áramlásszabályozók anyagaként.

6. Titándioxid

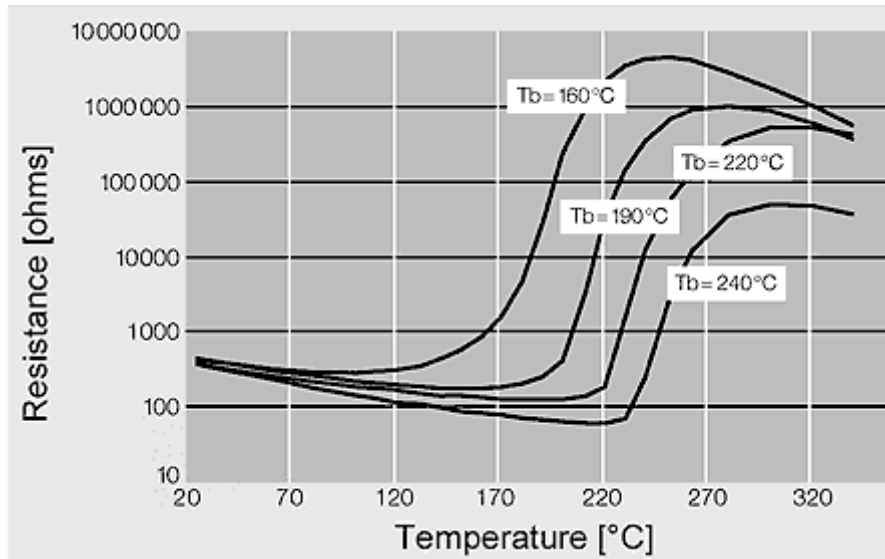
A **titándioxid kerámiák** titándioxidból vagy titanátokból állnak, nagyfrekvenciás elektronikában használják őket. Széles sávban kontrollálható permittivitásuk és hőmérsékleti koefficiensük, továbbá nagyon alacsony veszteségi tényezőjük miatt alkalmazzák őket.

7. Báriumtitanát

A **báriumtitanátok** más néven mint funkcionális kerámiák használatosak. Extrém nagy permittivitással rendelkeznek, ennek megfelelően kapacitások dielektrikumaként alkalmazzák őket. Piezoelektromos kerámia anyagként is ismertek.

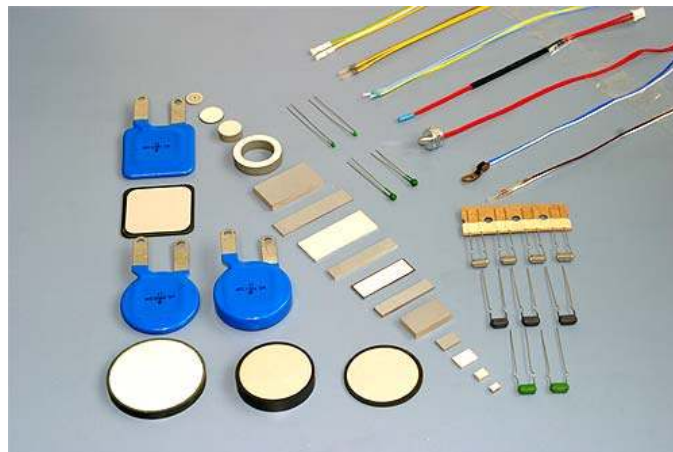
A báriumkarbonát, titánoxid és más nyersanyagok 1200°C és 1400°C között történő szinterézése során keletkezik a polikristályos báriumtitanát. A báriumtitanát félvezető

tulajdonságokat mutat, pozitív hőmérsékleti tényezőjű ohmos ellenállással, ezért használják pozitív hőmérsékleti tényezőjű ellenállásként. Ez a tulajdonság az elektromos ellenállásnak a hőmérsékletnövekedés hatására való nagyon erős (több nagyságrenddel való) emelkedését jelenti. A 17. ábrán báriumtitanát kerámia ellenállásgörbéit látjuk különböző kiindulási hőmérsékletek (T_b) esetén.



13. ábra: Báriumtitanát kerámia ellenállásgörbéi

A báriumtitanát kerámiákat hőmérsékletérzékelőként használják vezérléstechnikában, vagy hőmérsékleti korlát érzékelő szenzorként motorok és gépek védelmére. Kisfeszültségen üzemelő önszabályozó fűtőelemeknél kapcsoláskésleltető elemként (elektromotor indításánál és a leágnesezésénél), valamint túltöltés védelmekben szintén lehet velük találkozni.



14. ábra: Báriumtitanát kerámiákból gyártott termékek

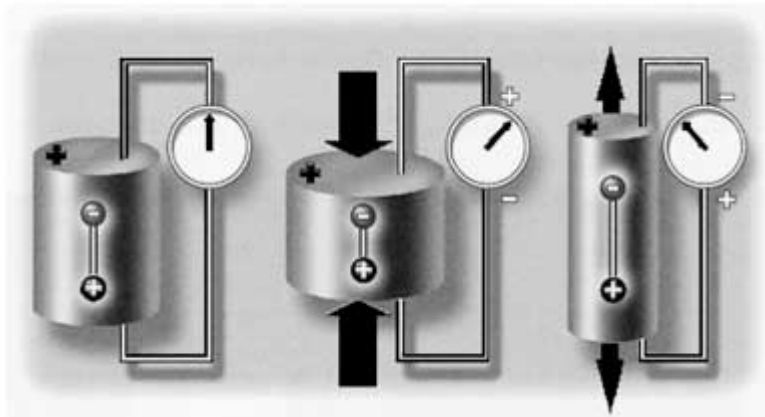
8. Ólomcirkonát-titanát

Az ólomcirkonát-titanát jelenleg a legfontosabb piezoelektromos kerámia. Oxidkristályok keverékén alapul, amely tartalmaz ólomcirkonátot és ólomtitanátot.

Fontos tulajdonsága ezeknek a kerámiáknak, hogy nagy dielektromos állandóval rendelkeznek, amelynek értéke függ az ólomcirkonát és ólomtitanát arányától, emellett más adalékok hozzáadásával is befolyásolható. Ebben a keverék szerkezetben a dielektromos tulajdonságok széles határok között módosíthatók.

A piezoelektromos jelenség

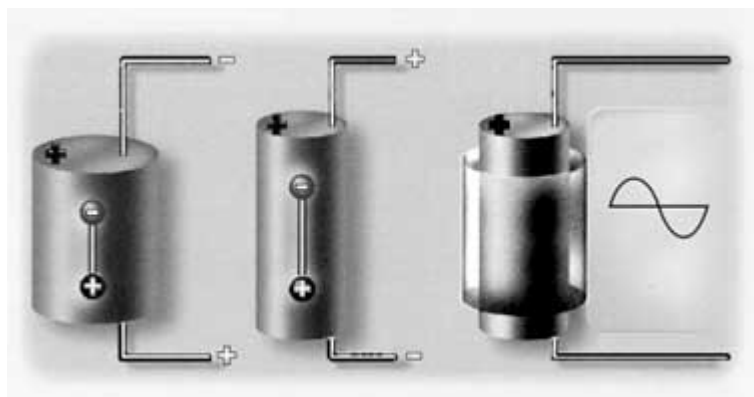
A piezoelektromos jelenség elektromos és mechanikai tulajdonságokhoz kapcsolható. A közvetlen piezoelektromos jelenség során a kristályszerkezet mechanikai deformációjának hatására elektromos feszültség ébred az anyag határfelületei között, amely arányos a kristályszerkezet mechanikai deformációjával.



15. ábra:

Erő kifejtésével kiváltott piezoelektromos jelenség. A töltés polaritása függ az erő irányától.

A közvetlen piezoelektromos jelenség fordítottját reciprok vagy inverz piezoelektromos jelenségnek nevezzük. Ennek során elektromos feszültség hatására mechanikai deformációt detektálunk, amelynek mértéke arányos a feszültséggel.

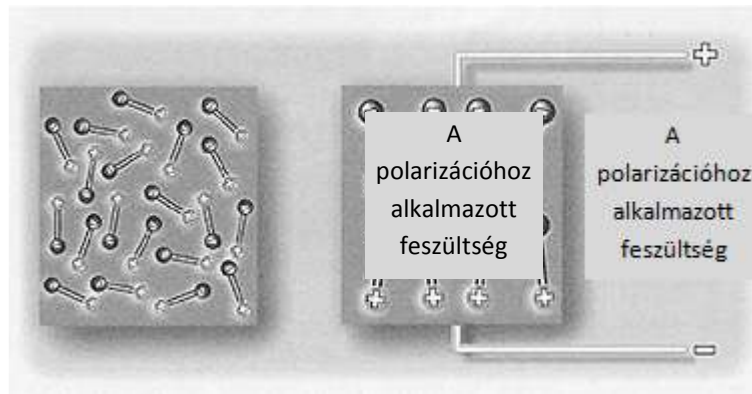


16. ábra: Elektromos feszültséggel kiváltott inverz piezoelektromos jelenség. A próbatest mérete megváltozik a feszültség hatására.

A piezoelektromosság eredete

A piezoelektromosság a ferroelektromos anyagoknak a jellemzője. A szerkezetben található poláris szemcsék (domének) létezéséből ered, amelyeknek az orientációja polarizáció

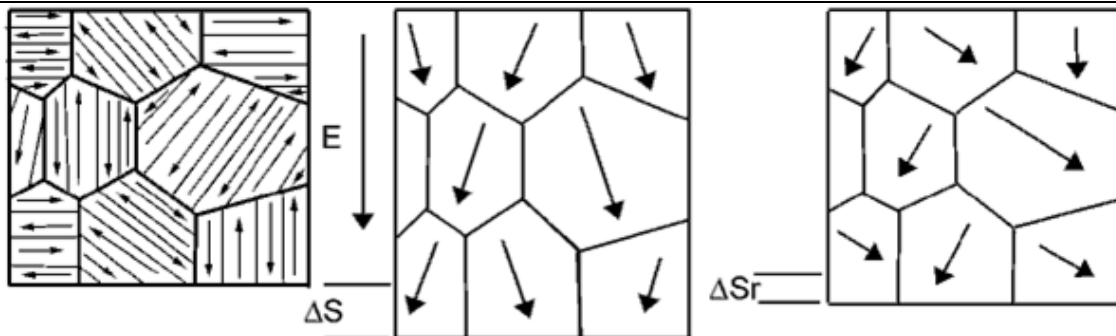
(elektromos feszültség) hatására megváltozik. A polarizáció és a hosszváltozás, ΔS között lineáris függvénykapcsolat van.



17. ábra: A piezoelektromos anyagban található elektromos dipólusok polarizáció előtt (baloldal) és után (jobboldal)

Az **ólomcirkonát-titanátot** $Pb(Zr_x Ti_{(1-x)})O_3$ polikristályos szerkezetben állítják elő. A leggyakoribb alakító eljárások a préselés és az általában szál formákra való öntés. A zöld színt égetés után nyeri el a kerámia.

A műszakilag hasznosítható piezoelektromos tulajdonságra csak az ún. polarizációs eljárás során tesz szert, 18.ábra.

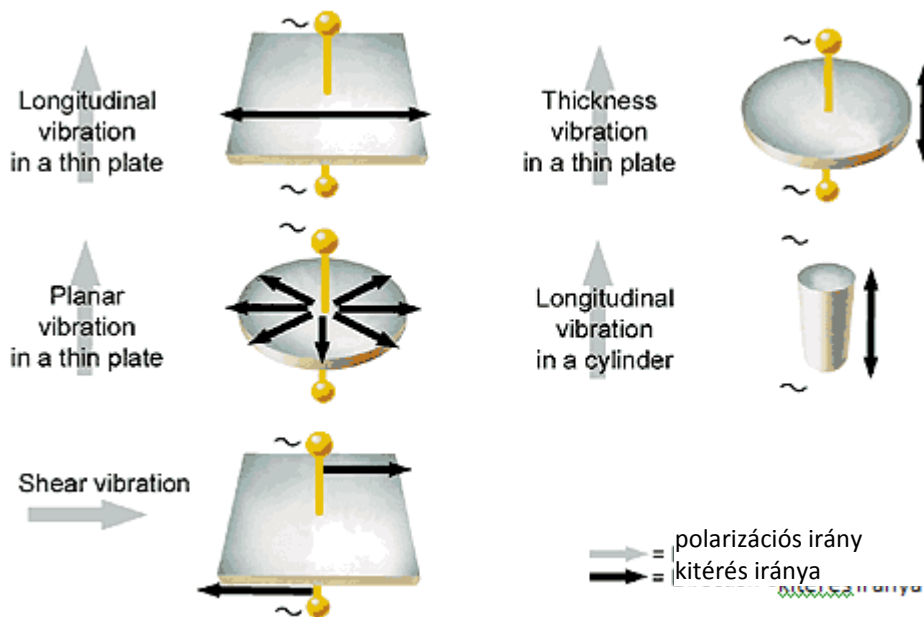


18. ábra: Az ólomcirkonát-titanát domének a polarizációs eljárás előtt (bal), közben (középső) és után (jobb oldali ábra)

ΔS = hosszváltozás a polarizációs eljárás során
 ΔSr = maradó hosszváltozás a polarizációs eljárás után

Rezonancia a piezoelektromos kerámiákban

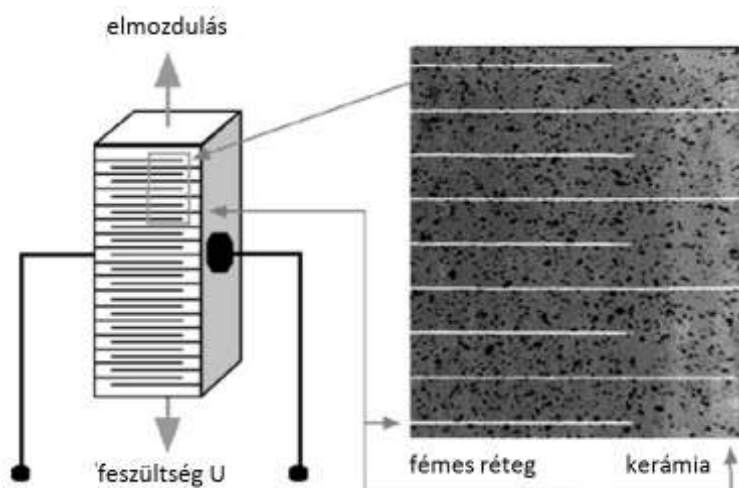
A szenzorként és aktuátorként alkalmazott piezoelektromos kerámiák a 19. ábrán szemléltetett rezgési üzemmódot aknázzák ki.



19. ábra: Rezgési üzemmód piezoelektromos kerámiákban

Szerkezet

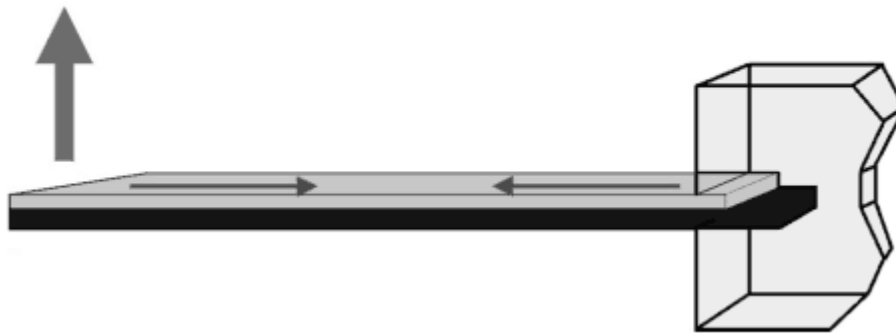
Ha a piezo-kerámia egyetlen rétegből áll, akkor ún. egyrétegű technológiáról beszélünk. Ha a piezo-kerámia sok rétegből áll, akkor többrétegű technológiáról beszélünk. A jellemzően kialakított piezo-kerámia termékformák: lapkák, alátétek, gyűrűk, kupakok, kis csövek, stb. A piezo-kerámia átalakítók mint aktuátorok kis helyet foglalnak el. A többrétegű aktuátorok a nagy feszültség által kiváltott nagy elmozdulásokkal nagy erők átadására képesek. Az egyrétegű piezo-kerámiák párhuzamos kapcsolásával kis feszültségigényű, nagy hatóerőt produkáló átalakítókat lehet építeni.



20. ábra: Többrétegű piezo-kerámia aktuátor felépítése és keresztmetszeti vázlata

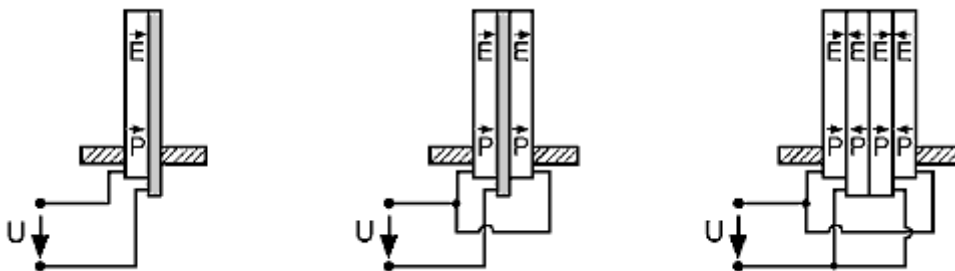
Érdekes variációja a piezo-kerámiás eszközöknek a hajlító átalakító. Ezt úgy készítik, hogy a piezo-kerámia lapkát egy semleges tulajdonságú tartólaphoz ragasztják, ezzel kétrétegű kompozitot hoznak létre. Elektromos feszültség hatására a piezo-kerámia hosszváltozással

reagál. Az eredmény a bimetál szálhoz hasonlóan a kompozit anyag nagymértékű elhajlásában nyilvánul meg, amelynek mértéke függ a feszültségtől, iránya pedig annak polaritásától.



21. ábra: Az elektromos feszültség hatására a piezo-kerámia megrövidül, a lapkapár elhajlik.

Az egyetlen semleges rétegből és piezo-kerámia rétegből álló aktuátorokat monomorf aktuátoroknak nevezik. A bimorf hajlító átalakítóknál két piezo-kerámia réteg található, amelyek mellett nincs semleges réteg. A trimorf hajlító átalakítóknál a két piezo-kerámia réteg közé ragasztják a semleges réteget. A multimorf hajlító átalakítóknál sok piezo-kerámia réteg található, amelyek nincsenek elválasztva semleges rétegekkel.



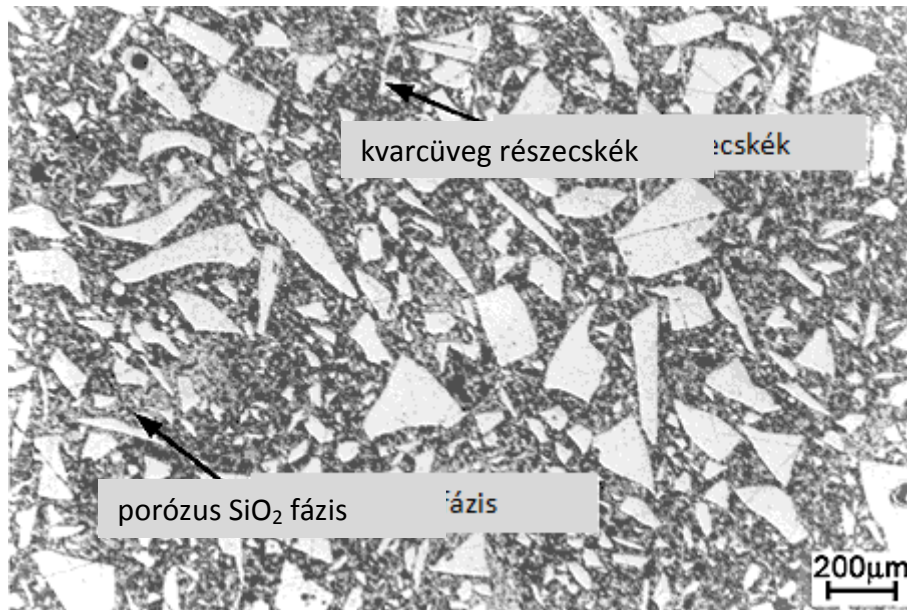
22. ábra: Piezo-kerámiákból készített hajlító átalakítók szerkezete, monomorf (bal), trimorf (középső) és multimorf (jobb oldali) átalakító
 P = polarizációs irány, E = az elektromos erőter irányja

A feléptéstől függően a hajlító átalakítókkal néhány mm-es elmozdulás, néhány Newton erő kifejtés figyelemre méltóan rövid idő alatt valósítható meg. Ezek tehát gyors működésű, hatékony aktuátorok.

A piezo-kerámiáknak sok alkalmazása van az elektronikában, járműmotorokban, gyógyászattechnikában, a legkülönbözőbb gépszerkezetekben, és más alkalmazásokban. Távközlésben, akusztikában, anyagvizsgálatban, ultrahangos eszközökben, folyadékok mérés technikájában, szintmérésnél, távolságmérésnél és orvostechológiában átalakítók anyagként lehet velük találkozni. Mikropumpákban, optikai rendszerekben, gázszelepekben, kis nyomással működtetett eszközökben, tintasugaras nyomtatókban, textilipari gépekben, a vakok olvasóeszközeiben aktuátorok anyagként, nanotechnológiai mikroszkópokban piezocsöves szkenerként használják őket.

9. Szinterezett szilikátok

A **szilíciumoxid kerámiákat (SiO_2)** (más néven szinterezett szilikátok vagy kvarz kerámiák) amorf szilícium oxid porokból szinterezik. A cél a szilíciumdioxid jellemző tulajdonságának, a majdnem zérus hőtágulási tényezőnek a megtartása tömbös méretekben. A szilíciumoxid kerámiák szilárdsága kisebb, mint a nagyszilárdságú kerámiáké, de ezzel szemben kivételesen jó hőszokk állósággal rendelkeznek, amely a kicsi hőtágulási együtthatónak a következménye.



23. ábra: Szinterezett szilikát mikroszerkezete

A működés alatt a hőmérséklet az 1050°C -ot nem haladhatja meg. Ennek megfelelően ezeknek a kerámiáknak az alkalmazása ott indokolt, ahol hőszokk terheléseknek van kitéve a szerkezet az adott hőmérséklet korlátig.

Irodalom:

1. Műszaki kerámiák információs weboldala, német szakirodalom gyűjtemény:
http://www.keramverband.de/brevier_engl/brevier.htm
2. David Stienstra: Introduction to design of structural ceramics, Rose-Hulman Institution of Technology, 2004
3. F. Fishel, L.J. Gauckler: Ceramic Materials, ETH-Zürich, Department Materials, 2007

Önellenőrző kérdések:

1. Milyen tulajdonságok igazak az alumíniumoxid kerámiák esetében?
 - a) jó hőszigetelés, jó hővezető képesség
 - b) szigetelő, korrózióálló (x)
 - c) biokompatibilis, szívós
 - d) korrózióálló, jó hővezető

2. Milyen stabil kristályszerkezetek jellemzőek a cirkóniumoxid kerámiákra?
 - a) köbös, tetragonális, monoklin (x)
 - b) köbös, tetragonális, triklin
 - c) köbös, ortorombos, monoklin
 - d) köbös, triklin, ortorombos

3. Milyen fázisátalakulás segíti megakadályoznia a cirkóniumoxid kerámiákban a repedések kialakulását?
 - a) köbös-triklin
 - b) monoklin-köbös
 - c) tetragonális-monoklin (x)
 - d) köbös-ortorombos

4. Milyen speciális alkalmazásnál lehet találkozni cirkóniumoxid kerámiákkal?
 - a) szenzorként, mérgező gázok érzékelésénél
 - b) szenzorként, benzinmotorok kipufogógázának szabályozásánál (x)
 - c) mérgező gázok szűrésénél
 - d) mérgező gázok közömbösítésénél
 - e) egyik sem

5. Milyen jelenséggel magyarázható az alumíniumtitanát kerámiák rendkívül erős hőszigetelési képessége?
 - a) kis porozitású szerkezet
 - b) anizotróp kristályszerkezet
 - c) a szerkezetre jellemző repedésrendszer bezáródása hőtágulás során (x)
 - d) magas hőmérsékleten kicsi hővezetési tényező

6. Mit tudunk a báriumtitanát kerámiák elektromos vezetési tulajdonságáról?
 - a) pozitív hőmérsékleti kitevőjű ohmos ellenállásuk van (x)
 - b) negatív hőmérsékleti kitevőjű ohmos ellenállásuk van
 - c) fémekkel azonos módon viselkednek
 - d) elektromos szigetelők

7. Mit nevezünk piezoelektromos jelenségnek?
 - a) a kristályszerkezet mechanikai deformációjának hatására mechanikai feszültség ébred az anyag határfelületei között, amely arányos a kristályszerkezet mechanikai deformációjával
 - b) a kristályszerkezet hőtechnikai deformációjának hatására elektromos feszültség ébred az anyag határfelületei között, amely arányos a kristályszerkezet mechanikai deformációjával
 - c) a kristályszerkezet mechanikai deformációjának hatására elektromos feszültség ébred az anyag határfelületei között, amely arányos a kristályszerkezet mechanikai deformációjával (x)

- d) a kristályszerkezet mechanikai deformációjának nyomáskülönbség ébred az anyag határfelületei között, amely arányos a kristályszerkezet mechanikai deformációjával
8. Mi az eredete a piezoelektromos viselkedésnek?
- a) A szerkezetben található monoklin szerkezetű szemcsékben elektromos feszültség hatására fázisátalakulás megy végbe
 - b) A szerkezetben található anizotróp kristályszerkezetű szemcsék orientációja elektromos feszültség hatására megváltozik
 - c) A szerkezetben található poláris szemcsék orientációja elektromos feszültség hatására megváltozik (x)
 - d) A szerkezetben található tetragonális kristályszerkezetű szemcsék orientációja elektromos feszültség hatására megváltozik
9. Milyen elrendezésű piezoelektromos aktuátorok képesek kifejteni nagy erőhatásokat kis feszültség mellett?
- a) piezoelektromos kerámia rétegek sorbakapcsolásával
 - b) piezoelektromos kerámia rétegek párhuzamos kapcsolásával (x)
 - c) semleges réteghez ragasztott piezoelektromos kerámia réteg
 - d) multimorf aktuátorok
10. Milyen tulajdonságot használnak ki a szinterezett szilikátok esetében?
- a) a szilíciumdioxid nagy hővezetési tényezőjének a megtartását tömbös méretekben
 - b) a szilíciumdioxid majdnem zérus hővezetési tényezőjének a megtartását tömbös méretekben
 - c) a szilíciumdioxid nagy hőtágulási tényezőjének a megtartását tömbös méretekben
 - d) a szilíciumdioxid majdnem zérus hőtágulási tényezőjének a megtartását tömbös méretekben (x)