

FUNKCIONÁLIS KERÁMIÁK

Cél

- funkcionális kerámiák különböző típusainak áttekintése,
- a ferroelektromos, más néven piezoelektromos kerámiák szerkezetének, tulajdonságainak, a piezoelektromos viselkedés okainak, az alkalmazási elveknek megismerése.

Követelmények

Ön akkor sajátította el a tananyagot, ha képes:

- felsorolni a különböző funkcionális kerámiafajtákat,
- felvázolni a piezoelektromos kerámiákra jellemző kristályszerkezeteket,
- megfogalmazni a piezoelektromos viselkedés okait,
- felsorolni a piezoelektromosság különböző működési módjait,
- felsorolni néhány jellemző alkalmazási elvet

Időszükséglet:

A tananyag elsajátításához körülbelül 120 percre lesz szüksége.

Kulcsfogalmak

- funkcionális kerámia
- ferritek
- szupravezető kerámiák
- gázérzékelőkben alkalmazott kerámiák
- nedvességérzékelőkben alkalmazott kerámiák
- hőérzékelőkben alkalmazott kerámiák
- ferroelektromos kerámiák
- ferroelektromos kerámiák Curie-hőmérséklete
- spontán polaritás
- báriumtitanát
- ólomtitanát
- ólomcirkonát-titanát
- közvetlen piezoelektromos jelenség
- inverz piezoelektromos jelenség
- rezgéses működési mód piezoelektromos kerámiákban
- ultrahang keltés, detektálás
- polarizálás

- piezoelektromos aktuátor
- piezocsöves mozgató

1. FUNKCIONÁLIS KERÁMIÁK KÜLÖNBÖZŐ TÍPUSAI

Tevékenység: Az alábbi felsorolás alapján jegyeztesse ki a különböző funkcionális kerámiák fajtáit, és azt, hogy a funkcionális viselkedés milyen fizikai jelenségek egymásrahatásán alapszik.

Funkcionális anyagoknak nevezzük azokat az anyagokat, amelyek felhasználói szempontból előnyösen reagálnak a környezetből származó hatásokra. A kerámiák körében többféle funkcionális viselkedés előfordul, ezek a következők:

- **Ferromágneses kerámiák, ferritek:** a ferromágneses kerámiák oxidkerámiák (oxidok keverékei), amelyek valamilyen arányban tartalmaznak vasoxidot (Fe_2O_3 -at). Ezek a kerámiák hasonlóan viselkednek a ferromágneses fémekhez (Fe, Co, Ni) annyiban, hogy külső mágneses térre erősen reagálnak, a mágneses hiszterézis ciklusban nagy telítési indukcióra mágnesezhetők fel. Különbözik is a viselkedésük a ferromágneses fémektől: mivel oxidkerámiák, ezért elektromosan szigetelők, ugyanakkor a fém ferromágnesek jól vezetik az elektromos áramot. E különbség miatt a „ferrit” elnevezéssel különböztetik meg a ferromágneses kerámiákat a fém ferromágneses anyagoktól.
- **Szupravezető kerámiák:** különböző hőmérsékleteken alapvetően eltérő az elektromos viselkedésük. A hőmérséklettől függően vagy szigetelőként viselkednek, vagy zérus ellenállással, veszteségek nélkül vezetnek az áramot. A kétféle állapot közötti átmenet az ún. kritikus hőmérsékleten történik meg. A kritikus hőmérséklet felett találkozunk a szigetelőként való viselkedéssel, míg a kritikus, vagy annál alacsonyabb hőmérsékleten áll elő a zérus ellenállással, veszteségek nélküli áramvezetés. A legmagasabb kritikus hőmérséklet (kb. 125K) a ma ismert kerámiák között a $\text{Tl}_2\text{Ba}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ összetételű kerámiáknál adódik.
- **Gázok jelenlétére való érzékenység:** a gázérzékelőkben alkalmazott félvezető kerámiák elektromos vezetőképesség-változással reagálnak valamely gáz jelenlétére. A gépjárművekben is használatos oxigénszenzorokban a ZrO_2 (cirkóniumoxid) kerámiákat alkalmazzák. Általában gázérzékelőkben lehet találkozni még SnO_2 , ZnO , Fe_2O_3 kerámiákkal.
- **Nedvességre való érzékenység:** A nedvességérzékelő szenzorokban alkalmazott kerámiák (pl. $\text{Si-Na}_2\text{O-V}_2\text{O}_5$, vagy $\text{ZnO-Li}_2\text{O-V}_2\text{O}_5$) elektromos permittivitása érzékenyen változik a nedvességtartalom változásaival.
- **Hőre való érzékenység:** A hőérzékelő szenzorokban alkalmazott kerámiák félvezető kerámiák, amelyeknek az elektromos ellenállása rendkívül érzékenyen változik a hőmérséklet szerint. Ez a tulajdonság az elektromos ellenállásnak néhány $^{\circ}\text{C}$ hőmérsékletnövekedés hatására való nagyon erős (több nagyságrenddel való) változását jelenti. A kerámiák körében előfordulnak ún. pozitív, vagy negatív

hőmérsékleti tényezőjű ohmos ellenállások. A pozitív hőmérsékleti tényezőjű ohmos ellenállások esetében ellenállás növekedést, míg a negatív hőmérsékleti tényezőjű ohmos ellenállások esetében ellenállás csökkenést tapasztalunk a hőmérséklet növekedésével. A legfontosabb pozitív hőmérsékleti tényezőjű ohmos ellenállások a báriumtitanát (BaTiO_3) kerámiák.

- **Mechanikai terhelésre, nyomásra való érzékenység:** Az ún. ferroelektromos kerámiák érzékenyek a mechanikai terhelésekre, nyomásváltozásra, amelyre válaszként a határoló felületük között indukálódó villamos feszültség keletkezik. Ezeket a kerámiákat másképpen piezoelektromos kerámiáknak nevezik.

Mivel a gépészeti alkalmazásokban a legnagyobb jelentősége az utolsó esetnek van, ezért a továbbiakban részletesen megnézzük a piezoelektromos anyagok funkcionális viselkedését a báriumtitanát és az ólomcirkonát-titanát kerámiák példáján.

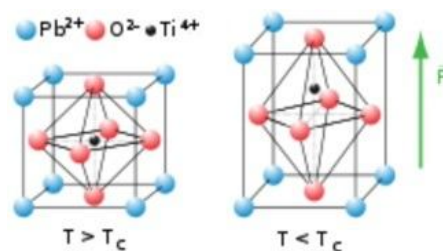
2. PIEZOELEKTROMOS KERÁMIÁK KRISTÁLYSZERKEZETE, SPONTÁN POLARIZÁCIÓ

Tevékenység: Jegyzetelje ki az alábbiakat

- Curie-hőmérséklet definíciója,
- Spontán polarizáció definíciója kristálymodell vázlattal,
- Ólomcirkonát-titanát kerámiák piezoelektromos viselkedésének feltételei.

A ferromágneses anyagokhoz hasonlóan a ferroelektromos anyagok esetében is beszélhetünk ún. Curie-hőmérsékletről (T_c). Ezek az anyagok a **Curie-hőmérsékletüknél alacsonyabb hőmérsékleten spontán polarizációval rendelkeznek**, piezoelektromosan viselkednek, míg a Curie-hőmérsékletükre, vagy az fölé melegítve elveszítik spontán polarizációjukat, ezzel együtt piezoelektromos tulajdonságukat. Piezoelektromos viselkedést mutatnak: a kvarc, néhány kerámia és néhány polimer.

A piezoelektromosság okát, a **spontán polarizáció** jelenséget az 1. ábra alapján érthetjük meg. Az ábrán az egyik legismertebb piezoelektromos kerámia, az ólomtitanát (PbTiO_3) kristályszerkezetét mutatjuk. Figyeljük meg, hogy a kristályszerkezet a T_c alatti hőmérsékleten tetragonális (lásd 1. ábra jobboldali modell), ahol az elemi cella központi kationja (Ti^{4+} , az ábrán fekete gömb) nem a cella szimmetriacentrumában helyezkedik el, ez az eltolódás az 1. ábrán \vec{P} -vel jelölt dipólusmomentumot eredményez. A kerámiát melegítve, a Curie-hőmérsékletét elérve térben centrált köbös kristályszerkezetű módosulattá alakul át (lásd 1. ábra baloldali modell), amelynek már nincs dipólusmomentuma, ezzel együtt piezoelektromos viselkedése sem.



1. ábra: Spontán polarizáció, dipólusmomentum kialakulása az ólomtitanát kristályszerkezetében a Curie-hőmérséklet alatt

(fig_2_1_1.jpg)

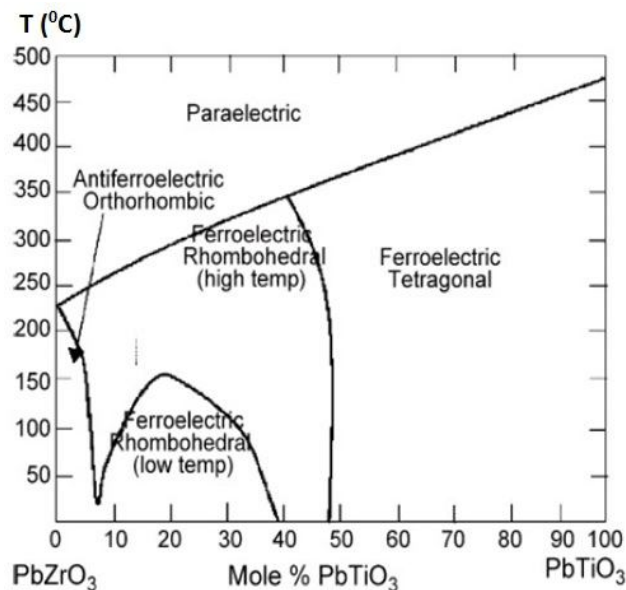
Az alábbi táblázatban két ferroelektromos kerámia Curie-hőmérsékletét tüntettük fel:

Kerámia	Összetétel	T_c ($^{\circ}\text{C}$)
báriumtitanát	BaTiO_3	120
ólomtitanát	PbTiO_3	490

Az ólomcirkonát-titanát jelenleg a legfontosabb piezoelektromos kerámia-család. 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. Ebben a keverék szerkezetben a dielektromos tulajdonságok széles határok között módosíthatók.

A 2. ábrán az ólomcirkonát-titanát rendszer fázisdiagramját látjuk. Figyeljük meg a diagram jobboldalán található tetragonális kristályszerkezetű tartományt, amely esetében fennáll a ferroelektromos tulajdonság: az ábrán ez a „Ferroelectric, Tetragonal” elnevezésű tartomány. Ez a tartomány kb. az 50%-os összetétel értéktől jobbra helyezkedik el, tehát akkor áll fenn a ferroelektromos viselkedés, amikor a keverékrendszerben az ólomtitanát aránya legalább 50%. A Curie-hőmérsékleteket a tartomány felső határoló vonala jelzi, ennek mentén a legalacsonyabb Curie-hőmérséklet kb. 350°C (a tartomány bal felső pontjában leolvasott hőmérséklet).



2. ábra Az ólomcirkonát (PbZrO_3) és az ólomtitanát (PbTiO_3) keverékrendszer fázisdiagramja (fig_2_1_2.jpg)

3. A PIEZOELEKTROMOS JELENSÉG

Tevékenység: Jegyzetelje ki az alábbiakat

- Közvetlen piezoelektromos jelenség definíciója, alkalmazási lehetőségei,
- Inverz piezoelektromos jelenség definíciója, alkalmazási lehetőségei,

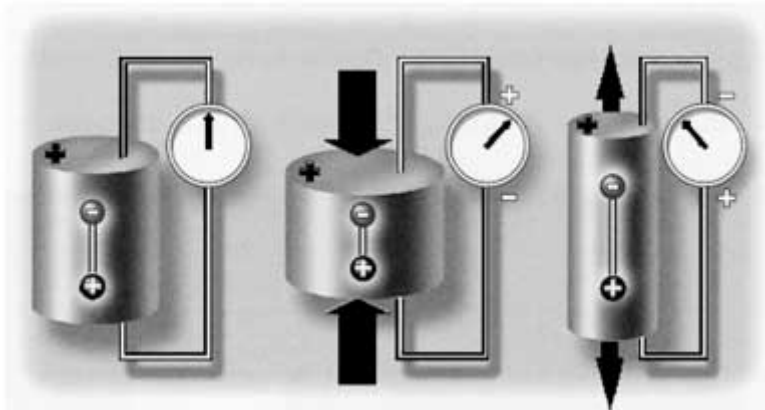
- Rezgéses működési mód definíciója,
- Ultrahang keltés és detektálás piezoelektromos kerámia segítségével.

A piezoelektromos jelenség elektromos és mechanikai tulajdonságok egymásra hatását jelenti, piezoelektromos anyagok esetében.

A *közvetlen piezoelektromos jelenség* során a kristályszerkezet mechanikai deformációjának hatására elektromos feszültség ébred az anyag határfelületei között, amely arányos a kristályszerkezet mechanikai deformációjával. A közvetlen piezoelektromos jelenséget a 3. ábrán szemléltetjük. Figyeljük meg az ábrán a piezoelektromos hengeres próbatest három különböző állapotát:

- A baloldali részen a próbatest terheletlen állapotban van, nincs elektromos jel, a feszültségmérő műszer zérus elektromos feszültséget mutat.
- A középső részen a próbatestre függőleges irányú nyomóerők hatnak, a feszültségmérő műszer mutatója jobbra tér ki: a mechanikai nyomó igénybevétel hatására elektromos feszültség ébred a próbatest határoló felületei között.
- A jobboldali részen a próbatestre függőleges irányú húzóerők hatnak, a feszültségmérő műszer mutatója balra tér ki. A mechanikai húzó igénybevétel hatására elektromos feszültség ébred a próbatest határoló felületei között, amelynek iránya ellentétes a nyomó igénybevétel esetében ébredő feszültséggel.

A közvetlen piezoelektromos jelenséget a műszaki gyakorlatban erő, nyomás, elmozdulás, vagy hosszváltozás elektromos elven történő detektálására lehet felhasználni.



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

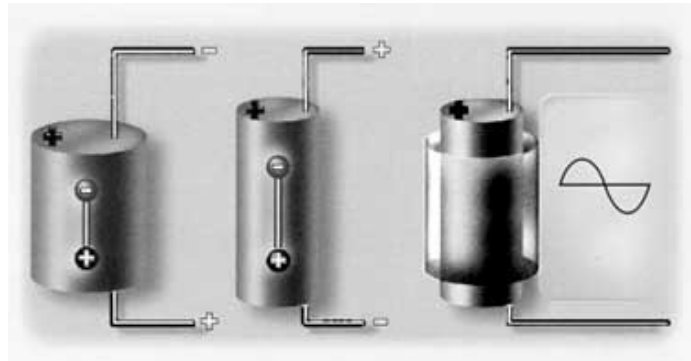
(fig_2_1_3.jpg)

A közvetlen piezoelektromos jelenség fordítottját *reciprok* vagy *inverz piezoelektromos jelenségnek* nevezzük. Ennek során elektromos feszültség hatására mechanikai deformációt detektálunk, amelynek mértéke arányos a feszültséggel. Az inverz piezoelektromos jelenséget a 4. ábrán szemléltetjük. Figyeljük meg az ábrán a piezoelektromos hengeres próbatest két különböző állapotát:

- A baloldali részen a próbatestre elektromos feszültséget kapcsolunk. Ennek hatására a próbatest alakja megváltozott: hossza csökkent, átmérője nagyobb lett.

- A középső részen a próbatestre ismét elektromos feszültséget kapcsolunk, itt azonban a katód és az anód éppen ellentétes oldalakra van kapcsolva. Ennek hatására a próbatest alakja ismét megváltozott: megnyúlt, kisebb átmérőjű henger lett.

Az inverz piezoelektromos jelenséggel kiváltott alakváltozással a próbatest nyomás, erő kifejtésére képes, ezt a képességet elsősorban aktuátorokban szokás kihasználni.



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

(fig_2_1_4.jpg)

A 4. ábra jobboldali részén a próbatestre váltakozó feszültséget kapcsolunk, ezzel ún. *rezgéses működési módot* váltottunk ki: a feszültség polaritásának megfelelően a kiváltott alakváltozás is periodikusan változó lesz. A 4. ábra jobboldali részén a próbatest két különböző alakja egymás takarásában van feltüntetve, ezzel szemléltetjük, hogy a próbatest a hosszát periodikusan változtatja a feszültség irányváltásának megfelelően.

Az ultrahangot piezoelektromos kristályra adott váltakozó feszültséggel állítjuk elő. Az ilyen kristály a feszültség változásának ütemére változtatja alakját a rezgéses működési módnak megfelelően. A piezoelektromos kristályt másik közeghez, vagy testhez érintve annak átadja rezgéseit, abban egy hanghullám indul el. A hanghullám nem a szokásos emberi füllel hallható tartományba (10-20000 Hz), hanem sokkal magasabb frekvenciatartományba (1-15 MHz) esik.

A rezgéses működési módnak is megvan a közvetlen és az inverz változata. Az ultrahang detektálás is piezoelektromos kristállyal történik, a hangkeltéssel éppen ellentétes folyamat eredményeképpen. Valamely közegben, vagy testben terjedő hang rezgése periodikusan változtatja a hozzáértett kristály alakját, ami a kristály két szemközti határoló felülete között váltakozó előjelű potenciálkülönbséget eredményez.

A piezoelektromos kerámiákat széles körben alkalmazzák ultrahangkeltésre és detektálásra anyagvizsgáló, gyógyászati technikai ultrahangos berendezésekben.

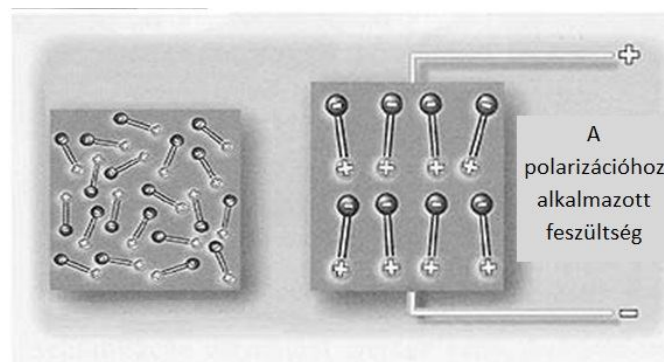
4. A PIEZOELEKTROMOSSÁG EREDETE

Tevékenység: Jegyzetelje ki az alábbiakat

- Dipólusok elrendeződése a piezoelektromos anyag szerkezetében feszültségre kapcsolás előtt és után,
- Maradó anizotrópia, azaz a polarizálás folyamata.

A piezoelektromosság a ferroelektromos anyagoknak a jellemzője. A kristályszerkezet modellel korábban ismertetett elektromos dipólusok (spontán polarizáció) jelenlétéből ered, amelyeknek az orientációja elektromos feszültség hatására megváltozik. A feszültség és a hosszváltozás között lineáris függvénykapcsolat van.

A piezoelektromos anyagban az elektromos dipólusok viselkedését az 5. ábrán szemléltetjük. Figyeljük meg az ábrán a dipólusok orientációját. A baloldali szerkezetre nem kapcsoltunk elektromos feszültséget, a dipólusok orientációja rendezetlen, véletlenszerű, amely a piezoelektromos kerámia szemcsés szerkezetében a szemcsék véletlenszerű, rendezetlen kristályorientációjából adódik. A jobboldali szerkezetre elektromos feszültséget kapcsoltunk, a dipólusok a feszültség pólusai által meghatározott irányba igyekeznek beállni. A dipólusok rendeződésével egyidejűleg a szerkezet hossza megváltozik.



5. ábra: A piezoelektromos anyagban található elektromos dipólusok polarizáció előtt (baloldal) és után (jobboldal).
(fig_2_1_5.jpg)

Az ólomcirkonát-titanát kerámiákat $\text{Pb}(\text{Zr}_x \text{Ti}_{(1-x)})\text{O}_3$ polikristályos szerkezetben állítják elő. A leggyakoribb alakító eljárások a préseles és az általában szálakba való öntés. A zöld színt égetés után nyeri el a kerámia.

A műszakilag hasznosítható piezoelektromosság érdekében a gyártás során a kerámiai anyagot *polarizálják*, más szóval *maradandó elektromos anizotrópiát* alakítanak ki a szerkezetében. A polarizálás megfelelően nagy (az átütési szilárdságot megközelítő) elektromos térrel történik, amelynek hatására a véletlenszerűen elhelyezkedő kristályszemcsék polarizációvektorai többé-kevésbé rendeződnek, és így az anyagban makroszkopikus elektromos polarizáció alakul ki.

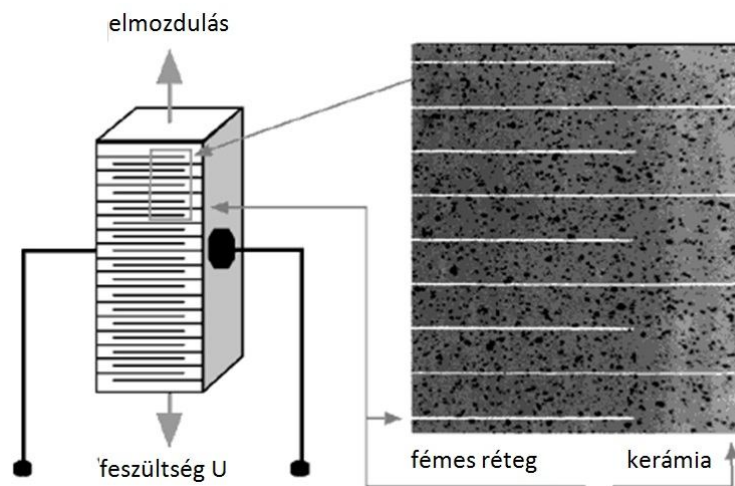
5. AKTUÁTOROKBAN, MOZGATÓKBAN VALÓ ALKALMAZÁSOK ELVEI

Tevékenység: Jegyeztesse ki, milyen szerkezeteket, elveket találunk a piezoelektromos anyagoknak különböző aktuátorokban, mozgatókban való alkalmazásainál.

A jellemzően kialakított piezo-kerámia termékformák: lapkák, alátétek, gyűrűk, kupakok, kis csövek. Ezekből a formákból készülnek az egy-, vagy többrétegű aktuátorok.

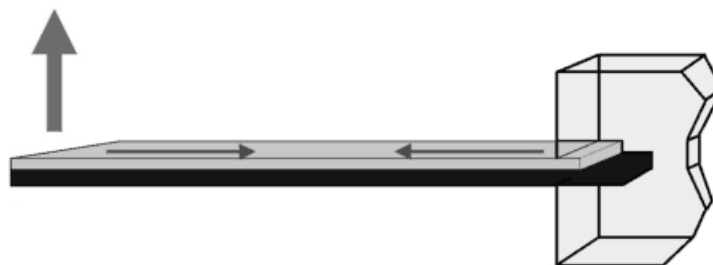
A piezo-kerámia átalakítók mint aktuátorok kis helyet foglalnak el. Az egyrétegű piezo-kerámiák párhuzamos kapcsolásával kis feszültségigényű, nagy hatóerőt produkáló többrétegű átalakítókat lehet építeni. A 6. ábrán figyeljük meg a réteges szerkezetet, a rétegek párhuzamos kapcsolását. Gondoljuk végig, hogy az egyes rétegek elmozdulásai a szerkezet

egészére nézve függőleges irányban összegződnek, és így adódik a nagy hatóerő kifejtésére képes átalakító.



6. ábra: Többrétegű piezo-kerámia aktuátor felépítése és keresztmetszeti vázlata
(fig_2_1_6.jpg)

Érdekes variációja a piezo-kerámiás aktuátoroknak a hajlító átalakító. Ezt úgy készítik, hogy a piezo-kerámia lapkát egy semleges tulajdonságú tartólaphoz ragasztják, ezzel kétrétegű kompozitot hoznak létre, a két réteget a 7. ábrán szürke és fekete színnel szemléltetjük. Elektromos feszültség hatására a piezo-kerámia hosszváltozással reagál, a 7. ábrán a felső, piezoelektromos kerámia réteg megrövidül. Az eredmény - a bimetál szálhoz hasonlóan - a kompozit anyag nagymértékű elhajlásában nyilvánul meg, amelynek mértéke függ a feszültségtől, iránya pedig annak polaritásától.

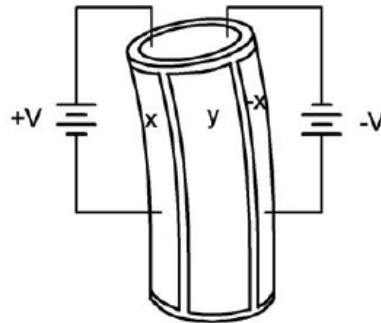


7. ábra: Elektromos feszültség hatására a piezo-kerámia megrövidül, a lapkapár elhajlik.
(fig_2_1_7.jpg)

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

A 8. ábrán egy piezoelektromos elven működő mozgatónak, a piezocsöves szkennerek a vázlatos rajzát mutatjuk. Az eszköz egy piezoelektromos kerámia cső, amelynek külső palástját fémes, elektromosan vezető réteggel vonják be. A fémes réteg nem folytonos, 4 alkotó mentén megszakításokkal, 4 szegmensre van osztva. A szemközti szegmensekre ellentétes irányú feszültséget kapcsolva a szkennerek elhajlik. Az egyik szemközti

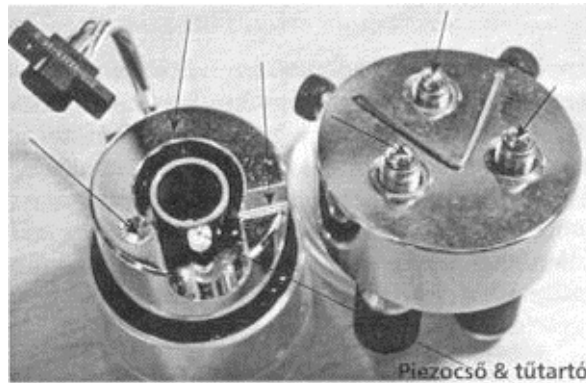
szegmenspárra kapcsolt feszültséggel (az ábrán „x” és „-x” jelű szegmensek) a mozgatónak az „x” irányú elmozdulását oldják meg. A másik szemközti szegmenspárra kapcsolt feszültséggel (az ábrán „y” jelű szegmens és a vele szemközti szegmens) a mozgatónak az „y” irányú elmozdulását oldják meg. A cső tengelyére merőleges irányú pásztázás az „x” és „y” irányú elmozdulások kombinációján alapul. A mozgató süllyesztése és emelése mind a négy szegmensre azonos irányú feszültség kapcsolásával történik, ekkor ugyanis a cső hossza (magassága) csökken vagy növekszik a feszültség polaritásától függően.



8. ábra: Piezocsöves szkener.
(fig_2_1_8.jpg)

A piezocsöves mozgatóknak az érdekessége, hogy nagyon kicsi elmozdulásokat lehet velük megoldani. A nanométeres nagyságrendnél kisebb, anström, tizedangström, sőt, századangström nagyságrendű elmozdulások is kivitelezhetők ezzel az eszközzel. Ez a nagyságrend már az atomos mérettartományba esik. Ezért válhatott a piezocsöves szkener a korszerű nanotechnológiai pásztázó tűszondás mikroszkópoknak a mozgató eszközévé, és ezért lehetséges ezen mikroszkópokkal felületek atomi felbontású leképezése. A mikroszkópokban vagy a tűszondát, vagy a vizsgált mintát rögzítik a szkenerhez. Az előbbi esetben a szkener segítségével mozgatják a tűszondát a minta felett, az utóbbi esetben a tűszonda a piezocső fölött van rögzítve, és alatta a piezocsöves szkenerre helyezett mintát mozgatják.

A 9. ábrán egy pásztázó tűszondás alagútmikroszkóp fotója látható. A mikroszkóp alsó és felső részét egymás mellett mutatja az ábra. A piezocsövet a baloldali részben látjuk, ehhez van rögzítve a tűszonda.



9. ábra: Nanotechnológiai pásztázó tűszondás mikroszkóp alsó (jobboldal) és felső (baloldal) része egymás mellett.
 (fig_2_1_9.jpg)

Felhasznált irodalom:

Verband der Keramischen Industrie: Technical Ceramics
http://www.keramverband.de/brevier_engl/brevier.htm

Önellenőrző kérdések

1. Az alábbi táblázatban található üres mezőkbe írja be a táblázat alatti felsorolásban szereplő kifejezések betűjelét úgy, hogy a táblázat egyes soraiban egy-egy funkcionális kerámia típus jellemzői szerepeljenek:

Funkcionális kerámia típusa	Példa	funkcionális viselkedést kiváltó jelenség	kiváltó jelenségre adott válasz
Ferritek	a	f	nagy telítési indukció
h	Tl ₂ Ba ₂ Ca ₂ Cu ₃ O ₁₀	kritikus hőmérséklet alatti vagy feletti állapot	g
Gázérzékelők kerámiái	m	k	b
d	Si-Na ₂ O-V ₂ O ₅	c	elektromos permittivitás változása
Hőérzékelők kerámiái	l	i	elektromos ellenállás változás
n	l PbTiO ₃	e, j	j, e

- a) Fe₂O₃ tartalmú kerámiák
- b) elektromos vezetőképesség-változás

- c) nedvességtartalom változása
- d) Nedvességérzékelők kerámiái
- e) elektromos feszültségváltozás
- f) külső mágneses tér
- g) zérus elektromos ellenállás, vagy szigetelőként viselkedés
- h) Szupravezető kerámiák
- i) hőmérsékletváltozás
- j) mechanikai deformáció
- k) különböző gázok jelenléte
- l) BaTiO_3
- m) ZrO_2
- n) Ferroelektromos kerámiák

2. Az alábbi megfogalmazást egészítse ki a hiányzó kifejezésekkel, hogy a ferroelektromos anyagok Curie-hőmérsékletére vonatkozó leírást helyesen jellemezze:

A **ferromágneses** anyagokhoz hasonlóan a ferroelektromos anyagok esetében is beszélhetünk ún. Curie-hőmérsékletről (T_c). Ezek az anyagok a Curie-hőmérsékletüknél **alacsonyabb** hőmérsékleten **spontán polarizáció**val rendelkeznek, **piezoelektromosan** viselkednek, míg a Curie-hőmérsékletükön, vagy annál **magasabb** hőmérsékleten elveszítik **spontán polarizációjukat**, ezzel együtt **piezoelektromos** tulajdonságukat. Piezoelektromos viselkedést mutatnak: a **kvarc**, néhány **kerámia** és néhány **polimer**.

3. Az alábbi táblázat soraiban „X” jelzéssel jelezze, hogy az ólomtitanát kerámiára vonatkozó jellemzők a „kübös kristályszerkezet” vagy a „tetragonális kristályszerkezet” esetén igazak-e.

	kübös kristályszerkezetnél igaz	tetragonális kristályszerkezetnél igaz
Curie-hőmérséklet alatti hőmérsékleten ilyen a kristályszerkezet		X
Curie-hőmérséklet feletti hőmérsékleten ilyen a kristályszerkezet	X	
Spontán polarizáció alakul ki		X
A Ti kation a cella középpontjában helyezkedik el	X	
piezoelektromos viselkedés		X

4. Az alábbi felsorolásból válassza ki, mely jellemzők írják le helyesen az ólomcirkonát-titanát kerámia család piezoelektromos viselkedésének feltételeit:

- a keverékrendszerben az ólomtitanát aránya legalább 50%
- a keverékrendszerben az ólomtitanát aránya legfeljebb 50%
- a dielektromos állandó értéke függ az ólomcirkonát és ólomtitanát arányától
- a dielektromos állandó értéke függ a BaTiO₃ és PbZrO₃ arányától
- 490 °C alatt az ólomcirkonát-titanát kerámiák kristályszerkezete tetragonális
- 350 °C alatt a legalább fele arányban ólomtitanátot tartalmazó ólomcirkonát-titanát kerámiák kristályszerkezete tetragonális
- 120 °C alatt a legalább fele arányban ólomtitanátot tartalmazó ólomcirkonát-titanát kerámiák kristályszerkezete tetragonális

5. Az alábbi felsorolásból válassza ki, milyen anyagok a báriumtitanátok és az ólomtitanátok?

- vegyület
- ötvözet
- kerámia
- báriumnak és az ólomnak a titánnal alkotott kétalkotós vegyülete
- báriumnak és az ólomnak a titánnal alkotott kétalkotós vegyülete
- oxidok

6. Az alábbi megfogalmazást egészítse ki a hiányzó kifejezésekkel úgy, hogy a közvetlen piezoelektromos jelenségre vonatkozó leírást helyesen jellemezze:

A közvetlen piezoelektromos jelenséget a műszaki gyakorlatban **erő**, **nyomás**, **elmozdulás**, vagy **hosszváltozás elektromos** elven történő detektálására lehet felhasználni. Mivel a piezoelektromos anyagokban **mechanikai nyomó** igénybevétel hatására **elektromos feszültség** ébred az anyag határoló felületei között.

7. Az alábbi megfogalmazást egészítse ki a hiányzó kifejezésekkel úgy, hogy az inverz piezoelektromos jelenségre vonatkozó leírást helyesen jellemezze:

Inverz piezoelektromos jelenség esetén a piezoelektromos anyagra **elektromos feszültséget** kapcsolva az anyag **hossza** megváltozik. Az inverz piezoelektromos jelenséggel kiváltott **alak**változással a próbatest **nyomás**, **erő** kifejtésére képes, ezt a képességet elsősorban **aktuátorokban** szokás kihasználni.

8. Az alábbi megfogalmazást egészítse ki a hiányzó kifejezésekkel úgy, hogy a piezoelektromos jelenség rezgéses működési módjára vonatkozó leírást helyesen jellemezze:

Az **ultrahangot** piezoelektromos kristályra adott **váltakozó feszültséggel** állítjuk elő. Az ilyen kristály a **feszültség** változásának ütemére változtatja **alakját** a rezgéses működési módnak megfelelően. A piezoelektromos kristályt másik közeghez, vagy testhez érintve annak átadja **rezgéseit**, abban egy hanghullám indul el. A hanghullám **magas** frekvenciatartományba (1-15 MHz) esik.

A rezgéses működési módnak is megvan a **közvetlen** és az **inverz** változata.

A piezoelektromos kerámiákat széles körben alkalmazzák **ultrahangkeltésre** és detektálásra **anyagvizsgáló** és **gyógyászattechnikai** berendezésekben.

9. Az alábbi felsorolásból válassza ki, milyen változások játszódnak le a piezoelektromos anyag szerkezetében a polarizálás folyamatában?

- az elektromos dipólusok a feszültség pólusai által meghatározott irányba igyekeznek beállni
- az elektromos dipólusok a feszültség megszüntetésével teljesen véletlenszerű elrendeződést mutatnak
- a dipólusok rendeződésével egyidejűleg a szerkezet hossza és elektromos ellenállása számottevően megváltozik
- a dipólusok rendeződésével egyidejűleg a szerkezet hossza és keresztmetszete megváltozik
- a feszültség és a hosszváltozás között lineáris függvénykapcsolat van
- a feszültség és a hosszváltozás közötti kapcsolatot fordított arányosság írja le
- a polarizálást nagy, az átütési szilárdságot megközelítő elektromos térrel végzik
- a polarizálást nagy, az átütési szilárdságot meghaladó elektromos térrel végzik

10. Az alábbi felsorolásból válassza ki, milyen elvek érvényesülnek a többrétegű piezoelektromos szerkezettel megvalósított aktuátorokban?

- egyrétegű piezo-kerámiák soros kapcsolása
- egyrétegű piezo-kerámiák párhuzamos kapcsolása
- kis feszültségigény a párhuzamos kapcsolat miatt
- kis feszültségigény a soros kapcsolat miatt
- az egyes rétegek elmozdulásai a szerkezet egészére nézve kiátlagolódnak
- az egyes rétegek elmozdulásai a szerkezet egészére nézve összegződnek
- nagy hatóerő kifejtésére képesek
- erő hatására megváltozik az elektromos ellenállásuk

11. Az alábbi felsorolásból válassza ki, milyen elvek érvényesülnek a piezoelektromos szerkezettel megvalósított hajlító átalakítóknak?

- a piezo-kerámia lapkát egy semleges tulajdonságú tartólaphoz ragasztják

- többrétegű piezo-kerámia és semleges tulajdonságú anyagból álló kompozitot hoznak létre
- elektromos feszültség hatására a piezo-kerámia hosszváltozással reagál
- elektromos feszültség hatására a piezo-kerámia elhajlik
- elektromos feszültség hatására a kompozit anyag nagymértékben elhajlik
- elektromos feszültség hatására a kompozit anyag hosszváltozással reagál

12. Az alábbi felsorolásból válassza ki, milyen elvek érvényesülnek a piezoelektromos szerkezettel megvalósított mozgatókban?

- piezoelektromos kerámia tömböt használnak mozgatóként
- piezoelektromos kerámia csövet használnak mozgatóként
- külső palástját fémes, elektromosan vezető réteggel vonják be, 4 szegmensre osztva
- külső palástját fémes, elektromosan vezető réteggel vonják be, 6 szegmensre osztva
- az „x” irányú elmozdulásokat a szemközti szegmensekre kapcsolt ellentétes irányú feszültséggel valósítják meg
- az „y” irányú elmozdulásokat a szomszédos szegmensekre kapcsolt ellentétes irányú feszültséggel valósítják meg
- az „z” irányú elmozdulások megvalósítása az összes szegmensre azonos irányú feszültség kapcsolásával történik
- az „z” irányú elmozdulások megvalósítása az összes szegmensre, a szomszédoknál ellentétes irányú feszültség kapcsolásával történik
- piezokerámiás szkennelrel a legkisebb elmozgatás nagyságrendje nm-es
- piezokerámiás szkennelrel a legkisebb elmozgatás nagyságrendje 1 angström tört része is lehet