



# HÍRADÁSTECHNIKA

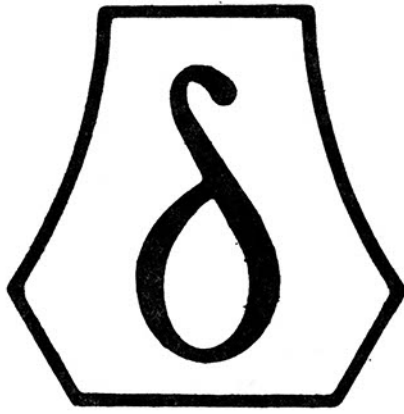
A HÍRADÁSTECHNIKAI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET  
FOLYÓIRATA

XXXIII. évfolyam  
BUDAPEST

1982

9





# KŐPORC

## ELEKTRONIKAI ALKATRÉSZ ÉS MŰSZAKI KERÁMIAGYÁRTÓ VÁLLALAT

1106 BUDAPEST, TÁRNA U. 4. \* TELEX: 22-5060

1982. július 1-e jelentős dátum a **KŐPORC** (Kőbányai Porcelángyár) életében. Ekkor vált önállóvá az 1963 óta a FIM keretében működő gyár. Július elsejétől nemcsak önálló vállalként működik, hanem tárcaváltás is bekövetkezett. Az eddig ÉVM-hez tartozó nagyvállalat felosztása után a **KŐPORC**-ot az Ipari Minisztérium felügyelete alá helyezték, ahova profilja szerint eddig is tartoznia kellett volna. A tárcaváltás következtében az Ipari Minisztériumhoz tartozó vállalatokkal való eddigi jó és eredményes együttműködés még szorosabbá, rugalmasabbá, hatékonyabbá válhat, miután egységes lesz az ipari vezetés koncepciója.

Napjainkban a híradástechnikai ágazat fokozatosan elektronikai iparrá alakul át. Az Elektronikai Központi Fejlesztési Program keretében a **KŐPORC** is kialakította az elektronikai alkatrészek beruházási programját, javaslatát. Összeállításánál általános piacpolitikai cél a belföldi igények mind teljesebb minőségi és mennyiségi kielégítése, amely egyrészt a népgazdasági érdeket szolgáló tőkés import visszaszorítása, másrészt a gazdaságos sorozatnagyság elérése miatt indokolt. E lap hasábjain továbbra is rendszeres tájékoztatást kívánunk nyújtani a fejlesztés alatt álló, a kifejlesztett, valamint a beruházás keretében kialakítandó új termékeinkről, a már folyamatos gyártásban levő gyártmányaink mellett.

## Piezoelektromos kerámiai alkatrészek

### Történeti áttekintés

A piezoelektromosság bizonyos anyagoknak az a tulajdonsága, hogy mechanikai feszültség hatására elektromos töltés keletkezik rajtuk. Ezt a jelenséget a Curie-fivérek fedezték fel 1880-ban. [1] Hamarosan felfedezték e jelenség fordítottját is: feszültség hatására ezeknek az anyagoknak a mérete megváltozik. A mechanikai energia átalakítását elektromos energiává direkt működésnek, az elektromos energia átalakítását mechanikaivá fordított (inverz, reciprok) működésnek nevezzük.

A piezoelektromosságra vonatkozó ismereteket Cady [2] foglalta össze monográfiájában. Ez a mű főként a kvarcra és a Seignette-(Rochelle-)sóra vonatkozóan közöl ismereteket, mivel megírásának idején ezek voltak a legismertebb piezoelektromos anyagok. A 40-es évek elején kezdték használni piezoelektromos célokra az ammónium-dihidrogén-foszfátot és a lítium-szulfátot. A 40-es években indultak meg az oxidokkal, illetve kerámiákkal kapcsolatos kutatások. Polarizált bárium-titán-trioxidra vonatkozóan 1947-ben jelent meg az első közlemény [3]. Ekkortájt kezdte a piezoelektromos bárium-titán-trioxidot alkalmazni a Sonoton Corporation lemezjátszó hangszedőkben. Piezoelektromos ólom-dinóbiium-hexoxidot 1952-ben készítettek [4], s ezt

számos más niobát követte. Nagy jelentőségű volt az ólom-titán-trioxid—ólom-cirkónium-trioxid szilárd oldat nagy piezoelektromos jellegének felfedezése [5,6]. Különböző adalékokkal azóta is az ólom-(cirkónium-, titán-) trioxid a leggyakrabban használt piezoelektromos kerámia.

### Piezoelektromos alapfogalmak

A piezoelektromosság mechanikai és elektromos tulajdonságok között jelent kapcsolatot, ezért a mechanikai és elektromos tulajdonságokkal együtt kell vizsgálni a megfelelő piezoelektromos jellemzőket, a piezoelektromos állandók is mechanikai és elektromos mennyiségek közötti kapcsolatot fejeznek ki. A piezoelektromosság vizsgálatakor a *mechanikai feszültség* ( $T$ ) és az *alakváltozás* ( $S$ ) a megfelelő mechanikai, az *elektromos térerősség* ( $E$ ) és az *elektromos ellátás* ( $D$ ) a megfelelő elektromos tulajdonságok. Legtöbbször olyan egyenletrendszerrel írjuk le a piezoelektromosságot, ahol a térerősség és a mechanikai feszültség a független változók:

$$S = sT + dE,$$

$$D = dT + \epsilon E,$$

### Megjegyzés:

A szövegben szögletes zárójelben található számok a szakirodalomra utalnak, lásd az irodalomjegyzéket.

ahol:  $s$  rugalmassági állandó,

$d$  piezoelektromos állandó (töltésállandó, piezomodul),

$\epsilon$  permittivitás.

A független változók más-más megválasztásával az  $e$ ,  $g$  és  $h$  piezoelektromos állandókhoz jutunk, közülük legfontosabbak a piezokerámián keletkező feszültség kiszámítására közvetlenül alkalmazható  $D$  és  $T$  független változókkal nyerhető  $g$  állandók.

A piezoelektromos állandók szokásos megadása katalógusokban: a polarizáló erőter konvencionálisan  $z$  tengely, azaz 3 irányú, az állandók első indexe az elektromos jellemző, a második a mechanikai jellemző irányára utal.

A piezoelektromos anyagok legjellemzőbb tulajdonsága a *csatolási tényező*. A csatolási tényező a nyerhető energia és a befektetett energia hányadosának a négyzetgyöke. Többféle csatolási tényezőt különböztethetünk meg, de ezekre most nem tudunk kitérni. Ezeket, valamint egyéb piezoelektromos alapfogalmakat részletesen tárgyal Berlincourt, Curran és Jaffe a Mason által szerkesztett monográfiában [7]. A katalógusokban leggyakrabban megadott *planár csatolási tényező* ( $k_p$ ) vékony tárcsa esetére adja meg a csatolást a 3 irányú (a tárcsa síkjára merőleges irány) elektromos tér és az 1 és 2 irányú mechanikai jellemzők között. Közelítő érték számítható a rezonancia- és antirezonancia-frekvenciából, illetve az impedanciaminimumhoz és maximumhoz tartozó frekvenciából:

$$k_p = \sqrt{2,5 \cdot \frac{f_n - f_m}{f_m}}$$

ahol:  $f_m$  az impedanciaminimum frekvenciája,

$f_n$  az impedanciamaximum frekvenciája.

Egy rugalmas test deformációjakor a betáplált energia nagyobb része rugalmassági energia formájában tárolódik, kisebb része pedig hővé alakul „molekuláris súrlódás” következtében. A mechanikai veszteségeket a *mechanikai jósági tényezővel* ( $Q_m$ ) lehet jellemezni.

Nagysága:

$$Q_m = \frac{f_n^2}{2 f_m Z_m C (f_n^2 - f_m^2)} \approx \frac{1}{4 C Z_m (f_n - f_m)}$$

ahol:  $C$  a piezoelektromos elem kapacitása,

$Z_m$  az impedanciaminimum.

A *frekvenciaállandó* a rezonanciafrekvencia és az ezt meghatározó méret szorzata. Irányfüggő mennyiség.

Fontos jellemző még a *Curie-pont*. A Curie-pont az a hőmérséklet, amely fölé melegítve a piezokerámia elveszti piezoelektromosságát. Gyakorlati tapasztalatok szerint ennek kb. feléig (°C-ban számolva) lehet a piezokerámiái alkatrészt tartósan üzemeltetni a piezoelektromos jellemzők romlása nélkül.

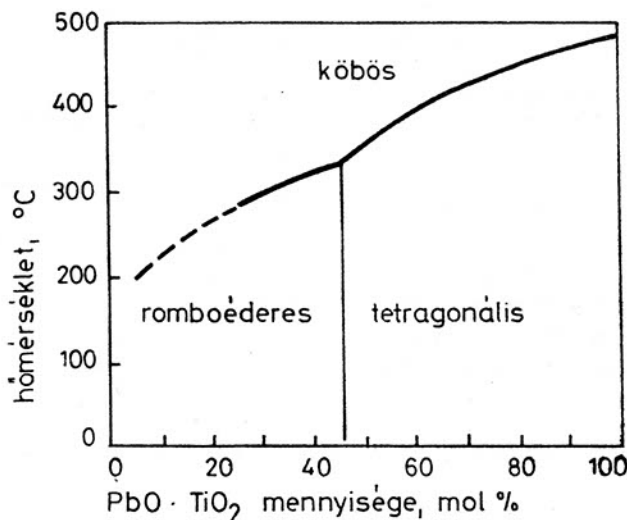
A piezoelektromos kerámiák anyagi állandóinak mérését összefoglalva megtalálhatjuk egy IRE előírásban [8].

## Piezoelektromos kerámiái anyagok és szerkezetük

A fontosabb piezokerámiái anyagok a bárium-titán-trioxid, az ólom-(cirkónium-, titán-)trioxid, az ólom-dinióbbium-hexoxid és a (nátrium-, kálium-)nióbbium-trioxid. Ezek a kerámiái anyagok az ólom-dinióbbium-hexoxid kivételével perovszkit szerkezetűek. Jellemző rájuk, hogy magas hőmérsékleten köbös szerkezetűek, hűléskor a kristályrács eltorzul (Curie-pont) és valamilyen kisebb szimmetriájú szerkezet jön létre. Ez az aszimmetria feltétele a piezoelektromosságnak.

Jelenleg legelterjedtebben az ólom-(cirkónium-, titán-)trioxid kerámiát gyártják. Ez a kerámia azért nagy jelentőségű, mert különböző adalékanyagokkal és a technológia megfelelő megváltoztatásával egyes fizikai tulajdonságokban jelentős eltéréseket lehet elérni, az alapjelenség viszont megmarad.

Az ólom-(cirkónium-, titán-)trioxid rendszert japán kutatók tanulmányozták nagy alaposítással. Az ólom-cirkónium-trioxid és az ólom-titán-trioxid egymással minden arányban szilárd oldatot képez. A rendszer fázisdiagramja az 1. ábrán látható. Az ábráról látható, hogy lehűléskor a köbös



1. ábra. A  $PbO \cdot TiO_2 - PbO \cdot ZrO_2$  rendszer fázisdiagramja

szerkezet az összetételtől függően tetragonálissá vagy romboéderessé alakul át. Nagy ólom-cirkónium-trioxid tartalomnál más fázisok is kialakulnak, ezeknek azonban piezokerámiái szempontból nincs jelentőségük. Piezoelektromos szempontból a romboéderes-tetragonális fázishatárnál levő összetételek kedvezőek. A fázishatár összetétele kis mértékben függ a hőmérséklettől.

A különböző alkalmazási céloknak megfelelően mindig más-más jellemző megfelelő értéke kerül előtérbe. A csatolási tényező illetve a piezoelektromos állandók nagy értéke például általában kedvező, de a szűrőknél a nagy stabilitás érdekében nem bánjuk, ha ezek az állandók kicsit kisebbek.

Adalékként a megfelelő tulajdonságok kialakítására ma már rendkívül sok anyagot használnak. Gyakori adalék a  $Nb_2O_5$ , ami javítja a csatolási

tényezőt, csökkenti a mechanikai jósági tényezőt, ezenkívül javítja a szinterelhetőséget és a polarizálhatóságot. Közismert a  $MnO_2$  stabilitást és a mechanikai jósági tényezőt növelő szerepe. Az anyag-tökéletesítési törekvések vezettek az ún. hármas rendszerek vizsgálatához és gyártásához is, ahol az ólom-titán-trioxid és az ólom-cirkónium-trioxid mellett még egy harmadik alapvető alkotója is van a kerámiának.

A piezokerámiák a polarizálás következtében egy végtelenértékű szimmetriatengellyel rendelkeznek, és ezért a  $C_{6v}$  (6 mm) kristályosztályba sorolhatók [7]. Ebből következik, hogy 5 egymástól független rugalmassági állandójuk, 3 piezoelektromos állandójuk ( $d_{33}$ ,  $d_{31}$  és  $d_{15}$ ) és 2 permittivitásuk van.

### A piezoelektromos anyagok és alkatrészek technológiája

A technológia ismertetésénél a leggyakoribb piezokerámia, az ólom-(cirkónium-, titán-)trioxid készítését tartjuk szem előtt.

A piezokerámiák nyersanyagai — mint a kerámiáknál általában — oxidok vagy karbonátok. A minőségi követelmények azonban nagyobbak, mint az a szilikát- illetve kerámiaparban szokásos. Az adalékokat leggyakrabban 0,1–2% mennyiségben szokták az anyaghoz adni a tulajdonságok kedvező irányban való befolyásolására, ebből következik, hogy kb. 0,1% az a mennyiség, ami károsan is hathat a termék tulajdonságaira. Veszélyes szennyezés a vas-oxid, a szilícium-dioxid és az alumínium-oxid, ezek az anyagok kis mennyiségben is jelentősen csökkentik a csatolási tényezőt. Más szennyezések — alkáli-, kén- és foszfor-oxidok — átütéseket okozhatnak a polarizálás folyamán.

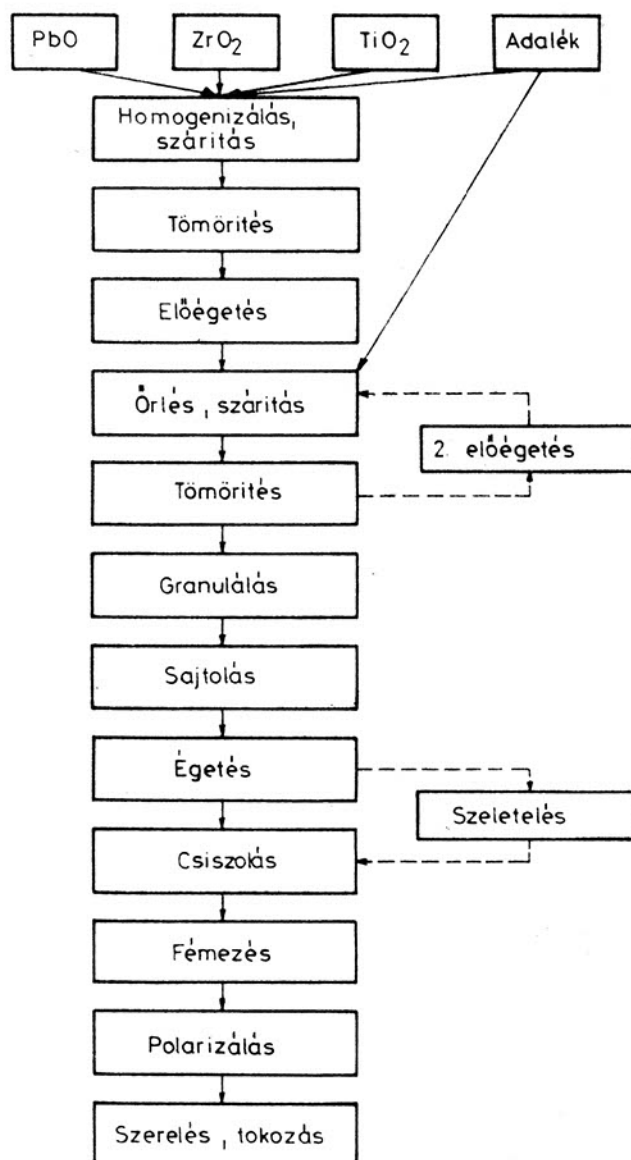
Nyilvánvaló, hogy nagy mennyiségű szennyezést a legfontosabb anyagokkal, vagyis az ólom-oxiddal, a cirkónium-dioxiddal és a titán-dioxiddal vihetünk be legkönnyebben a kerámiái masszába, vagyis ezek tisztasága alapvető a szennyezések elkerülése érdekében.

A nyersanyagok minősítésénél nemcsak azok kémiai összetételét kell vizsgálni, hanem fizikai tulajdonságaikat (módosulat, szemcseméret, szemcseeloszlás stb.) is. A nyersanyagok ilyen jellegű megváltozása technológiai változásokat tehet szükségessé.

A piezokerámiái alkatrészek gyártásának technológiai folyamata a 2. ábrán látható.

A továbbiakban csak néhány technológiai lépésre térünk ki. A homogenizálással és őrléssel kapcsolatban alapvető szempont a massa tisztasága. A szennyezés megakadályozására szolgálnak a szokásos porcelánmalomtól, valamint a porcelán illetve flintkő őrlőtesttől eltérő műszaki megoldások: gumibélésű malom, műanyag malom, cirkon-dioxid és achát őrlőtest.

Az előégetés célja, hogy azok a szilárdfázisú reakciók, amelyeknek során a kerámiaanyag kialakul, minél teljesebben lejátszódjanak. Előégetés után a szinterelésnél a zsugorodás kisebb, a végméreték könnyebben tarthatók. Az előégetés hőmérséklete 850–900 °C.



2. ábra. Piezokerámiái alkatrészek gyártása

A leggyakrabban alkalmazott formálási eljárás a sajtolás. Egyenletes szerkezet elérése érdekében izosztatikus sajtolást lehet alkalmazni. Ilyenkor a sajtolandó anyag egy belső tokban van, a nyomást folyadék vagy gáz közvetíti, a nyomóerő minden oldalról hat a sajtolandó anyagra, és a nyomáeloszlás így egyenletesebb az anyagon belül.

Az égetési folyamattal szükséges kicsit részletesebben foglalkozni [9]. Az ólom-(cirkónium-, titán-)trioxid már 900 °C körül bomlik.

$Pb(Zr, Ti)O_3 \rightarrow PbO + ZrO_2 + TiO_2$  a keletkező ólom-oxid illékony, eltávozása a termék összetételének megváltozását okozhatja. Ugyanakkor az anyag ilyen hőmérsékleten még nem egyenletes összetételű, csak magasabb hőmérsékleten (1260 °C) hosszabb idő (5 óra) alatt lesz azzá.

E szempontok alapján nyilvánvaló, hogy az égetés során a feladat a felszabaduló ólomoxid-gőz eltávozásának megakadályozása, illetve felszabadulásának visszaszorítása. Erre különféle módszerek alakultak ki: a kettős tokozás, a minta körülvétele inert anyag-



gal, ólom-oxidot tartalmazó anyagnak az égetési tokba tétele. Szokásos még ólom-oxid-feleslegű anyag bemérése is.

Nagyobb testsűrűség (kisebb pórustartalom) érhető el melegsajtolással [10]. Ez az eljárás nyomás alatti égetés.

A piezokerámiatárcsák és lapok közelítő végméretének beállítása történhet méretre sajtolással, kisebb darabok esetén azonban célszerű égetés után nagyobb tömbökből szeleteléssel kialakítani a darabokat. Szeletelésre a félvezetőeszköz-gyártó iparban használt gépek alkalmazhatók.

A következő fontos művelet a csiszolás. A vastagsági végméret beállítása síkcsiszolással történik. Különösen pontos csiszolás szükséges a MHz-es tartományban működő szűrők esetén, itt ugyanis a vastagsági méret szabja meg a rezonancia-frekvenciát. A 10,7 MHz-es sávszűrőknél a frekvenciatűrés  $\pm 1,8 \mu\text{m}$  vastagsági tűrést jelent. Ezeknek a szűrőknek a készítésére csak jó minőségű, két oldalon csiszoló, hordozótárcsás gépek alkalmasak.

Csiszolás után a munkadarabokat fémezni kell. Legtöbb célra megfelel a szitanyomás. Szitanyomással ezüstszuszpenziót viszünk fel a kerámiára, ezt a fémréteget kb. 600 °C-on be kell égetni.

Szitanyomással kb. 10  $\mu\text{m}$  vastagságú fémréteget szoktak készíteni. Az előbb említett MHz-es szűrőkhöz ez az eljárás nem megfelelő, mert az ezüst tömegét nehéz lenne figyelembe venni az átteresztő sáv kialakításánál, szórása bizonytalanná tenné a rezonancia-frekvenciát. Ezért vékonyabb fémréteg kialakítására van szükség. Ez vákuumpárolgatással vagy redukciós fémezéssel érhető el.

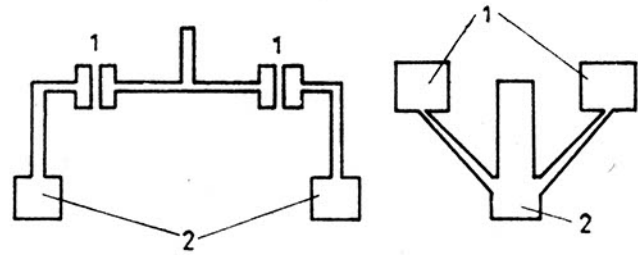
A fegyverzet formájának (3. ábra) kialakítása szintén ez utóbbi alkatrészeknél nehezebb. Elképzelhető valamilyen előzetes maszkolással, vagy a teljes felületen kialakított ezüstrétegen valamilyen védő lakk- vagy festék-maszk kialakítása után fém marással és a maszk leoldásával. Mi precíz szitanyomással festéket viszünk fel az ezüstrétegre, lemarjuk a fedetlen ezüstöt, azután pedig leoldjuk a festéket.

A felületi hullámú szűrőknél integrált áramkör gyártásnál szükséges pontossági fegyverzet kialakításra van szükség.

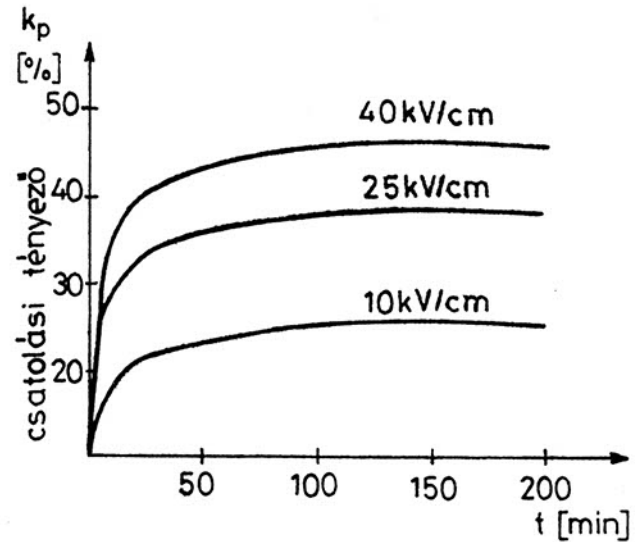
Jellegzetes technológiai folyamat a polarizálás. Ez nagy térerősségű elektromos kezelés. Itt szeretném felhívni arra a közkeletű tévedésre a figyelmet, hogy a Curie-pont felett kell polarizálni pl. [11]. Ezzel szemben a gyakorlatban mindig a Curie-hőmérséklet alatt polarizálunk. A hőmérsékletnek tényleg hatása van a polarizálódásra, ez a hatás azonban nagymértékben anyagfüggő. Vannak olyan anyagok, amelyeknél a hőmérséklet hatását nem tudjuk kimutatni, más anyagoknál ez a hatás jelentős.

Jelentős hatása van még a polarizálási időnek és a térerősségnek. Polarizálási jelleggörbéket mutatunk meg a 4. ábrán. Szokásos polarizálási térerősség 30–50 kV/cm. A polarizálást az átütések megakadályozása végett szilikonolajban végzik.

Sok piezokerámia-termék gyártása a polarizálással befejeződik, más termékek, pl. a szűrők utólagos szerelést, tokozást igényelnek. E művelet során azt



3. ábra. 6,5 MHz-es szűrők fegyverzete  
1) rezonátor  
2) a kivezetés felforrasztásának helye



4. ábra. A csatolási tényező növekedése a polarizálás folyamán

kell biztosítani, hogy az aktív kerámia részek szabadon mozoghassanak, a passzív részek pedig mozgásukban akadályozva legyenek. Elterjedtek az előre elkészített fröccsöntött műanyag (polikarbonát, polipropilén) tokok és a mártott (fenol-formaldehid műgyanta) tokok.

#### A piezokerámiai alkatrészek alkalmazása

A piezokerámiai alkatrészek felhasználása nagyon változatos, ezért megpróbálom a teljesség igénye nélkül valamilyen célszerű — természetesen vitatható — csoportosításban ismertetni a legfontosabbnak látszó felhasználási területeket.

#### MÉRÉSI ÉS ELLENŐRZÉSI ALKALMAZÁS

A passzív mérési módszereknél az átalakítók célja valamilyen fizikai mennyiség érzékelése, vagy nagyságának megállapítása elektromos jelen keresztül. Lényeges, hogy ezeknek az átalakítóknak nagy legyen a csatolási tényezője. Alkalmasak erő, nyomás, felületi érdesség, gyorsulás stb. érzékelésére és mérésére. Gyorsulásmérő elemek felhasználásával készülnek a rezgésmérő és rezgéselemző berendezések, amelyek alkalmasak például nagy értékű gépek működésének a nyomon követésére.

Érdekes mérési módszer az akusztikai emisszió mérése. Ez roncsolásmentes vizsgálati eljárás, amely azon alapul, hogy a legtöbb anyag feszítésekor hangot (általában ultrahangot) bocsát ki. A rövid, impulzus jellegű feszítési hullámokat aktív hibaforrás idézi elő. Ezzel az eljárással a hibák korai stádiumban megállapíthatók.

Az aktív mérési módszereknél a vizsgáló elektromos jelet is a mérés során hozzák létre.

A gerjesztett rezgés jellemzőinek megváltozását mérik a különféle konstrukciójú folyadékáramlási sebességmérők. Gerjesztésre és észlelésre egyaránt piezokerámiát használnak.

Nagy jelentősége van a következő hasonló elven alapuló víz alatti mérésekre alkalmazott eljárásnak: egy piezokerámiával hang, vagy ultrahang hullámot gerjesztenek, egy másikkal pedig észlelik az (általában visszavert) hangot (ún. „sonar”). Ez a módszer a radar víz alatti megfelelője. Gyakori a görbe felületű (cső, gömbhéj) átalakítók alkalmazása. Megmérhető így a vízmélység, észlelhetők halrajok, tengeraltjárók stb.

Hasonló eljárással kimutathatók anyagszerkezeti hibák is.

Az orvosi diagnosztikában is terjednek a piezokerámiát alkalmazó ultrahangos vizsgálati módszerek. Erre utal a „Diagnostic Sonar LTD” cég elnevezése is. Az ultrahangos módszereket legtöbb belső szerv vizsgálatára alkalmazzák. Sok kis piezoelemet tartalmazó mérőfejjel a televíziós képhez hasonló vizuális képet állítanak elő.

## ELEKTROAKUSZTIKAI ÁTALAKÍTÓK

A piezoelektromos alkatrészek elektroakusztikai eszközökben: mikrofonokban, fejhallgatókban, hangszórókban, lemezjátszóknak stb. jól alkalmazhatók.

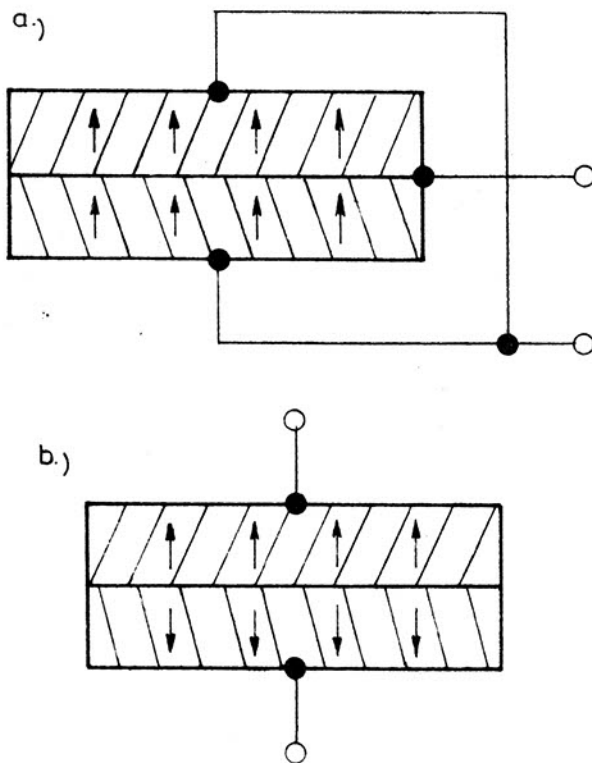
Elektroakusztikai alkatrészekben gyakori a bimorf elemek használata. A bimorf elemek két, valamilyen módon (pl. ragasztással) egymáshoz rögzített elemből állnak. A két elem úgy van egymáshoz illesztve (lásd 5. ábra), hogy amikor az egyik elem megnyúlik, a másik összehúzódik, ezáltal a bimorf elem meghajlik. Ennek a mozgásnak a rezonanciafrekvenciája jóval az egyedi elemek hossz ill. vastagsági sajátfrekvenciája alatt van, általában 10 kHz nagyságrendű. Jellemzője a bimorf elemeknek a nagy elmozdulás elektromos jel hatására, illetve kis erő hatására viszonylag nagy feszültség indukálódása.

Tulajdonságaik miatt a bimorf elemek használata kis akusztikus impedanciájú közegben — levegőben — célszerű.

Kör alakú bimorf elemek rezonanciafrekvenciája a következő képlettel számítható ki [12]:

$$f_r = k \frac{t}{d^2}, \quad \text{ahol}$$

$k \approx 5,6 \cdot 10^3$  Hzm peremén megfogott elem esetén,  
 $t$  az elem vastagsága,  
 $d$  az elem átmérője.



5. ábra. Bimorf piezokerámiakapcsolás  
 a) párhuzamos kapcsolás  
 b) soros kapcsolás  
 (A nyilak a polarizálás irányát jelzik)

A bimorf elemeken mérhető rezonanciafrekvencia nagymértékben függ az elem rögzítésétől.

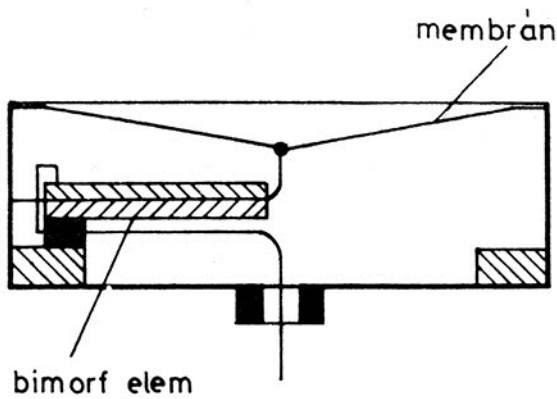
Bimorf elemet tartalmazó mikrofon vázlata látható a 6. ábrán.

Jó minőségű, közép és magas hangú hangszórázó készíthető piezokerámiából az 5/a ábra szerinti elrendezésben. Vékony (kb. 100–150  $\mu$ ) viszonylag nagy átmérőjű — (20 mm-nél nagyobb) két piezokerámiából és egy speciálisan kialakított fém fóliából állnak.

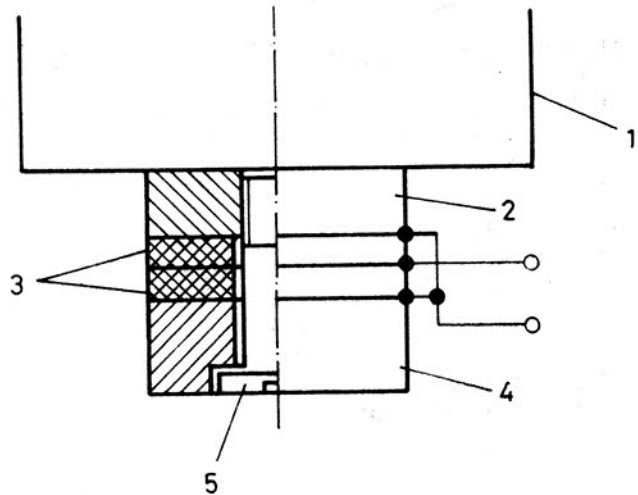
Bimorf szerkezetű ultrahangos adókat és vevőket készítenek változatos alkalmazási céllal (távvezérlés, Doppler-radar stb.).

Hasonló elem alakítható ki egy kerámiaplóból és egy passzív hordozólaplóból. (Használják az unimorf elnevezést erre a konstrukcióra). A passzív hordozó valamilyen fém illetve fémötvözet (rozsdamentes acél, sárgaréz, újzüst stb.). Erre az elemre a bimorfhoz hasonlóan szintén az alacsony rezonanciafrekvencia jellemző. Legelterjedtebb alkalmazása a zümmögő (buzzer).

A zümmögőknek maguknak is nagyon kiterjedt alkalmazása van [13]. A zümmögők hangját a hangerővel, a hang magasságával, a hang minőségével és a hang időtartamával lehet jellemezni. Természetesen ugyanannak a hangjellemzőnek az optimális értéke mindig az alkalmazástól függ. Egy riasztóberendezésnél például minél erősebb a hang annál jobb, egy óránál sokkal gyengébb hang is elegendő. A zümmögők felhasználhatók betörésjelző készülékekben, tűzriasztókban, számoló- és számítógépekben, füst- és gázdetektorokban, mérő- és szabályozókészülékekben, játékokban stb.



6. ábra. Bimorf elem alkalmazása mikrofonban



7. ábra. Ultrahangos tisztítóberendezés  
 1) tisztítóedény,  
 2) könnyűfémhársa,  
 3) piezokerámiatárcsák,  
 4) reakció tömeg,  
 5) csavar

## PIEZOREZONÁTOROK

A piezokerámia felhasználható mikroprocesszorok óragenerátorába, ahol nem szükséges a hagyományos kvarc rezonátorok frekvencia-pontossága.

A piezokerámia kvarchoz viszonyított kisebb ára miatt terjed a következő megoldás is: oszcillátorokban (pl. órákban) a rezgőelem piezokerámia, amelyet a frekvenciastabilitást biztosító hangvillához rögzítenek.

## PIEZOKERÁMIA ÁTALAKÍTÓK FELHASZNÁLÁSA NAGYOBB ENERGIÁT IGÉNYLŐ BERENDEZÉSEKBE

Elterjedt fizikai gyógy mód az ultrahangos terápia. A terápiás készülékek kezelőfejében az ultrahangot piezokerámia átalakító biztosítja.

Nagyméretű, esetleg közepükön furattal ellátott tárcsákat használnak ultrahangos tisztításra. Egy gyakori megoldás látható a 7. ábrán. Két piezokerámiatárcsát egy könnyűfém és egy viszonylag nagy tömegű fémtárcsa (reakció tömeg) közé szorítanak. A könnyű fémtárcsán keresztül ezt az egységet a tisztítóedényhez rögzítik. A rendszert rezonancia-frekvenciájával megegyező frekvenciájú váltóárammal hajtják meg. A nagy ellensúly miatt elsősorban az edény kezd erőteljesen rezegni és a benne levő folyadék keveredik.

Felhasználják a gerjesztett ultrahangos energiát mechanikai megmunkálásra, és hegesztésre.

Terjed a piezokerámia alkalmazása folyadék porlasztásra is.

Kis elmozdulások létrehozása szükséges például az elektronikai technológiában. Az erre a célra készített pozicionáló berendezések fordított piezo-effektussal működnek. A szükséges pontosságú és mértékű pozicionálás piezokerámia oszloppal, vagy bimorf elemmel valósítható meg, utóbbi azonban kevésbé terhelhető. A piezokerámiaoszlopot alkotó tárcsák mechanikusan sorba, elektromosan párhuzamosan vannak kapcsolva. Nagyobb elmozdulás valósítható meg a piezoelektromos léptető motorral.

Nagy nyomással vagy ütéssel 10 000 V nagyságrendű feszültséget lehet gerjeszteni piezokerámiákkal. A keletkezett feszültség szikra vagy folyamatos szikrázás formájában kisül és különösen gáz megújítására kiválóan alkalmas.

## KÉTSZERES ÁTALAKÍTÁSSAL MŰKÖDŐ ELEKTRONIKAI ALKATRÉSZEK

Késleltető művonalaknak az elektromos jelet hanggá alakító adóját illetve a hangátbocsátó közegből kilépéskor alkalmazott vevőjét is szokták piezokerámiából készíteni. Ilyen késleltető művonalakat alkalmaznak színes televíziókészülékekben.

A piezoelektromos transzformátornál az egyik elemre érkezik be a primer elektromos jel, azt megereszeti, a hozzá mechanikailag szorosan csatolt (rendszerint a két elem egy kerámialapon van kialakítva) másik elem a rezgést átveszi és ennek hatására indukálódik a szekunder feszültség. Nagyfeszültség előállítására alkalmas, de csak kis teljesítményt képes leadni. Felhasználható például katód-sugár csöveknél és Geiger—Müller számláló csöveknél.

A piezokerámiai szűrők egyéb előnyeik mellett kis méretük következtében is jól beilleszkednek a berendezésgyártó ipar miniatürizálási törekvéseibe. A sávközép frekvenciát valamilyen jellemző méret szabja meg 0,1—1 MHz tartományban a hosszúság, 1—10 MHz között (legtöbb 10,7 MHz-es típus is ide sorolható) a lap vastagsága, e fölött a felületi akusztikai hullámú szűrőknél a fegyverzetek távolsága. A 455 kHz-es szűrőket rádiókészülékek AM KF fokozat céljaira alkalmazzák. Az 5,5 és 6,5 MHz-es szűrők televíziós készülékekben hang KF fokozat céljából alkalmazhatók. A 10,7 MHz-es szűrők rádiókészülékekben FM KF fokozatokban használhatók.

Dr. Kámory Lajos