

# Kerámiai kondenzátorok

DR. BALÁZS LÁSZLÓ—ELEK KÁROLY  
KŐPÖRC

## ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk bemutatja a KŐPÖRC-ban fejlesztett 1., 2. és 3. típusú kondenzátorokat. Kiemeli az anyagszerkezet, a technológia és a főbb elektromos paraméterek közötti összefüggéseket.

A fegyverzetek között alkalmazott anyagok szerint megkülönböztetünk lég-, csillám-, papír-, műanyag, kerámiai, elektrolit és tantálkondenzátorokat. E kondenzátorok legfontosabb tulajdonságait elsősorban az alkalmazott dielektrikum anyaga határozza meg.

Jelen cikkünkben a kerámiai dielektrikumú kondenzátorok kutatása, fejlesztése és gyártása során a KŐPÖRC-ban elért eredményeket foglaljuk össze. Igyekszünk bemutatni a teljesség igénye nélkül azokat az összefüggéseket, melyek az anyagszerkezet és előállítási mód, valamint a kondenzátorok kívánt paraméterei között fennállnak.

A kerámiai alapú dielektrikumok olyan, elsősorban fémoxidokból álló anyagok, melyek hevítés során a megolvadás előtt zsugorodnak, tömör állapotot vesznek fel. Ez a tulajdonság sok előnnyel jár, de egyúttal nagyon sok technológiai probléma forrása is. A kerámiai kondenzátorok főbb jellemzői: kapacitás, dielektromos veszteségi tényező ( $tg \delta$ ), szigetelési ellenállás, kapacitás hőmérsékletfüggése ( $TK$ ). Az alkalmazás támasztotta követelmény a miniatürizálás, a minél kisebb veszteségi tényező és a kapacitás hőmérsékletfüggésének meghatározott értékre történő beállítása.

A kerámiai kondenzátorok többféle szempont szerint osztályozhatók.

1. típusba soroljuk azokat a kondenzátorokat, melyek a következő jellemzőkkel bírnak: viszonylag kis fajlagos kapacitásérték, a kapacitás hőmérsékleti tényezője lineáris és jól definiált, kis dielektromos veszteségi tényező ( $tg \delta < 10 \cdot 10^{-4}$ ), nagy fajlagos térfogati ellenállás. A paraméterek feszültség- és térerő függése nem számottevő, időbeli stabilitásuk nagy, öregedéssel nem kell számolni.  $RC$  és  $LC$  elemek kapacitív tagjaként alkalmazhatók magasabb frekvenciákig.

2. típusú kondenzátorok jellemző tulajdonsága a nagy térfogategységre eső fajlagos kapacitás. A kapacitás nemlineáris módon nagymértékben függ a hőmérséklettől, a frekvenciától, a feszültségtől, illetve



DR. BALÁZS  
LÁSZLÓ

Vegyészmérnöki oklevelét 1963-ban szerezte a Veszprémi Vegyipari Egyetemen. Ugyanitt elektrokerámiai szakmérnöki diplomát és doktori fokozatot szerzett 1975-ben. 1963-tól a Kőbányai Porcelángyár beosztott

technológusaként, majd üzemvezetőként a kerámiai gyártástechnológia kérdéseivel foglalkozott. 1977-től a fejlesztési főosztály vezetője. Kutatómunkát a báriumtitanát alapú kondenzátor dielektrikumok tulajdonságainak tanulmányozásában fejtett ki.



ELEK KÁROLY

1965 óta dolgozik a Kőbányai Porcelángyár

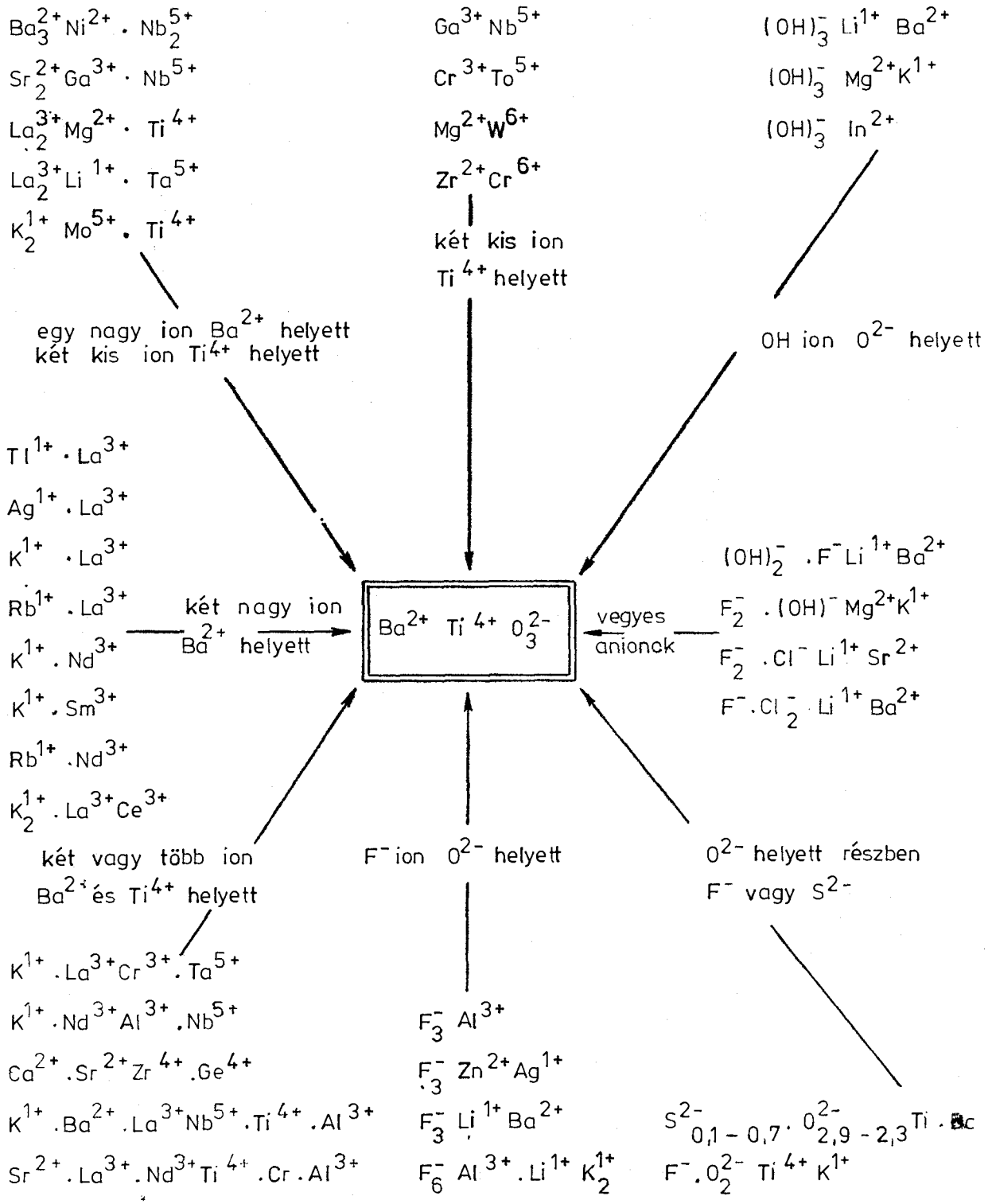
fejlesztési osztályán. 1970-ben villamosmérnöki oklevelét szerzett a Budapesti Műszaki Egyetemen. 1974-től a fejlesztési főosztály műszer- és mérés-technikai osztályát vezeti, amelynek feladata a KŐPÖRC-ban kifejlesztett új termékek minősítése, mérési módszereinek kidolgozása és az alkalmazási kérdések vizsgálata.

térerőtől és ennek függvényében hiszterézise van. A dielektromos veszteségi tényező az 1. típusú kondenzátorokhoz képest nagyobb ( $tg \delta < 250 \cdot 10^{-4}$ ), hőmérséklet-, feszültség- és frekvenciafüggő, nagy a fajlagos térfogati ellenállás. A 2. típusba tartozó kondenzátorok paramétereinek időbeli stabilitása lényegesen kisebb, mint az 1. típusoké. Öregedéssel kell számolni.

3. típusú kondenzátorok a legújabban kifejlesztett típusok. Jellemző rájuk az igen nagy fajlagos kapacitás, melyet félvezető kerámia felületen vagy szemcseközi tartományban, a kristályszemcsék felületén létrehozott zárórétteg kialakításával érnek el. A kapacitás nemlineáris módon függ a hőmérséklettől, a feszültségtől és a frekvenciától, de a hőmérsékletfüggés nem rosszabb a 2. típusok közepes hőmérsékletfüggésénél. Nagyobb a dielektromos veszteségi tényezője ( $tg \delta < 500 \cdot 10^{-4}$ ), kisebb a szigetelési ellenállása. A kerámiai kondenzátorok dielektrikumát felépítő anyagok rendkívül sokfélék.

A fenti felosztásnak megfelelően dielektrikumuk anyaga az elektromos térben bekövetkezett polarizá-

Beérkezett: 1984. VI. 6. ( $\Delta$ )



H978-1

1. ábra. Többszörös ionhelyettesítés a perowszkit rácspan. Roy szerint

ció mértékének függvényében csoportosítható. A dielektromos anyagok polarizációjának három típusát különböztetjük meg, úm.

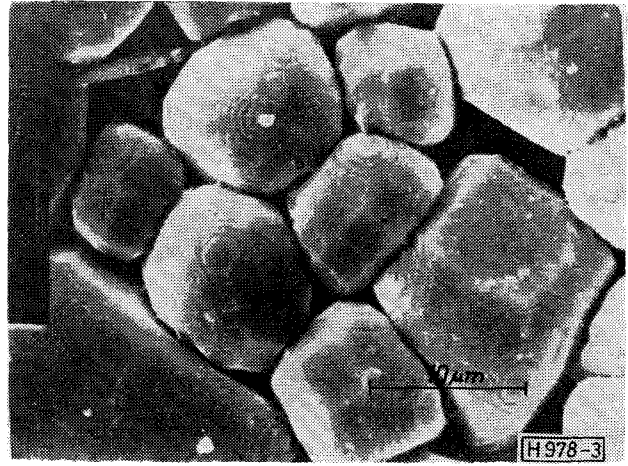
- elektronpolarizáció,
- ion- és mol-polarizáció,
- tértöltési polarizáció.

Bizonyos elektronpolarizációval minden anyag rendelkezik. Ez a jelenség az elektromos tér hatására az anyag elektronjainak deformációjára vezethető vissza. Az ilyen típusú anyagoknál érvényes az összefüggés, mely szerint a permittivitás egyenlő a törésmutató négyzetével. Az ebbe a kategóriába tartozó anyagok permittivitása 5–15 között van. Ezek az anyagrendszerek használhatók szigetelők céljára, illetve dielektrikumként a magasabb frekvenciákon, több GHz-es frekvenciatartományban. A KŐPORC ebbe a kategóriába tartozó anyagai:  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgSiO}_3$ ,  $\text{MgTiO}_3$ .

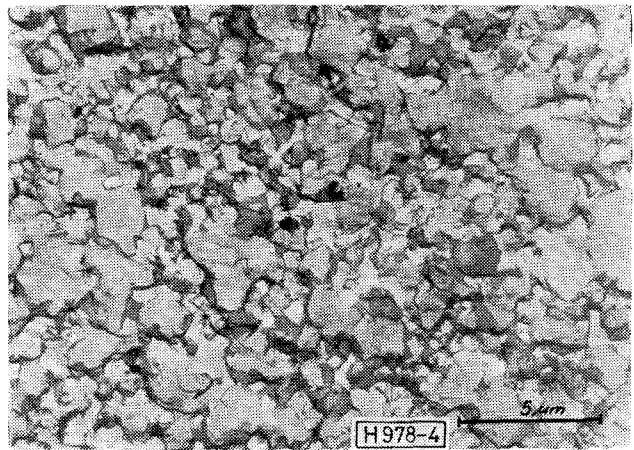
A fenti anyagok  $TK_\varepsilon$ -ja pozitív és lineáris  $+100 \cdot 10^{-6}$  nagyságrendű. Kondenzátor dielektrikumként az 1. típushoz tartoznak. A miniatürizálási törekvések az anyagszerkezet-kutatásokat a permittivitás növelésére ösztönözték. Így kerültek kifejlesztésre azok az anyagrendszerek, ahol az ionpolarizáció és az anyag elektronpolarizáció együttesen okozója a permittitásnak. Ezen anyagok fő képviselője a  $\text{TiO}_2$ . Permittenitása száz-as nagyságrendű. Ezen anyag típusoknál már nem érvényes a törésmutató és permittivitás között az elektron polarizációnál fennálló négyzetes összefüggés. A permittitás hőmérsékletfüggése negatív ( $-1000 \cdot 10^{-6}$  nagyságrendű). A  $\text{TiO}_2$  az 1. típusú kondenzátorok családjának alapvető oxidja anatóz és rutil kristály módosulatban fordul elő. Stabil forma a rutil, mely hőkezeléssel állítható elő. A  $\text{TiO}_2$  permittitásának növelésére és a permittitás hőmérsékletfüggésének befolyásolására több mód van. Az egyik a  $\text{TiO}_2$  rácsában a Ti helyettesítése, elsősorban 4 vegyértékű ionokkal, mint pl.  $\text{Sn}^{4+}$  és  $\text{Zr}^{4+}$ . Természetesen figyelembe véve azokat a korlátokat és szabályokat, melyek a szilárd oldat (szubsztitúció) képződés feltételei [5].

A másik mód a  $\text{TiO}_2$  és kétvegyértékű, főleg alkáliföldfém titanátokkal alkotta szilárd oldatok létrehozása szilárd fázisú reakciókkal. 1. típusú dielektrikumok kialakításához leggyakrabban alkalmazott titanátok:  $\text{MgTiO}_3$ ,  $\text{CaTiO}_3$ ,  $\text{ZnTiO}_3$ ,  $\text{SrTiO}_3$  és  $\text{BaTi}_4\text{O}_9$ .

A fenti titanátok és oxidok megfelelő arányának megválasztásával kialakítható az alkalmazás igé-



3. ábra. Belső záróréteg kondenzátor kristályszerkezete

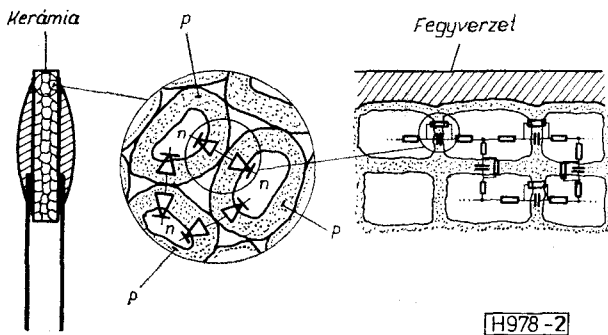


4. ábra. 2. típusú kondenzátor dielektrikum kristályszerkezete

nyeit kielégítő  $TK_c$  sor. A KŐPORC a nemzetközi gyakorlat szerint kifejlesztette és gyártja a következő  $TK_c$  sornak megfelelő kondenzátorokat: P100, P33, NPO, N47, N150, N470, N750, N1500, N2200, N3300. Részletesebben katalógusunk tartalmazza a paramétereiket.

Az alkalmazás egyik nagy csoportjába tartoznak azok a kondenzátorok, melyek szűrési célokat szolgálnak és a 2. típusba tartoznak. A legfontosabb követelmény a nagy kapacitásérték, minél kisebb méretben. Ezeket a követelményeket a Seignette-elektromos (más néven ferroelektromos) anyagok nagy családja elégíti ki [2], [3], [4]. Ezen anyagok jellemzője: olyan kristályszerkezettel rendelkeznek, mely elektromos tér hatása nélkül is polarizált állapotot mutat. Ez az ún. tértöltési polarizáció. Ezen anyag típus képviselője a  $\text{BaTiO}_3$ , melynek permittivitása több ezer. Jellemző, hogy a permittitás hőmérsékletfüggése adott görbe szerint változik, viszonylag szűkebb hőmérséklet tartományban. A  $\text{BaTiO}_3$  alapú kerámiák a legszélesebb körben kutatót anyagrendszerek [6], [7], [8].

Számos kísérletet végeztek mind a Ba-, mind a Ti-ion, sőt az O-ion helyettesítésére és ezen keresztül tulajdonságainak módosítására. A részletek tag-



2. ábra. Belső záróréteg kondenzátorok felépítése

lalása nélkül bemutatjuk az 1. ábrán azokat a helyettesítési kombinációkat, melyeket Rustum Roy [1] gyűjtött össze 1954-ig végzett kutatások alapján.

A KŐPORC-ban gyártott 2. típusú anyagok: T1000, T2000, T4000, T10 000, T30 000. Részletesen a gyár katalógusa mutatja be ezen anyagokból gyártott kondenzátorokat. Az 1. és 2. típusú anyag kifejlesztése és gyártásba vétele után a kutatómunka tovább folyt a már kifejlesztett anyag típusok tökéletesítése irányába, elsősorban a permittivitás növelése volt a fő cél; majd bizonyos 1. típusú kondenzátorok veszteségi tényezőjét csökkentettük abból a célból, hogy az alkalmazási frekvencia felső határát növelni tudjuk. Az anyagszerkezeti kutatások során eljutottunk addig, hogy a 2. típusú anyagok permittivitásának növelése különböző ionok helyettesítésével és azok kombinációjával már lényegesen nem növelhető. Így a kutatások a kristályszemcsék belsejének és felületének megváltoztatására irányultak. Kifejlesztésre kerültek a záróréteg elven felépülő kondenzátorok [9]. Ezek  $\text{BaTiO}_3$  alapúak. Speciális technológiával és adalékolással a  $\text{BaTiO}_3$  kristály szemcse belsejét  $n$  vezetővé tesszük, majd olyan adalékot alkalmazunk, mely a kristályszemcse felületén  $p$  vezetőréteget hoz létre. A kerámia teljes keresztmetszetét átszövő  $n-p$  átmenetek kis elemi kondenzátorokként foghatók fel. A sematikus felépítést a 2. ábra szemlélteti. Az ilyen módon felépített kondenzátorok permittivitása 50–100 000-es nagyságrendű. A 3. típusba tartozó kondenzátor a T50 000-es néven került kifejlesztésre, illetve gyártásra a KŐPORC-ban. A záróréteg kondenzátorok kristályszerkezete nagyszemcsés, lényegesen különbözik az 1. és 2. típusú kondenzátor dielektrikumok finom kristályszerkezetétől. A különbségek érzékelésére a 3. ábrán bemutatjuk a záróréteg, a 4. ábrán pedig a 2. típusba tartozó kondenzátorok kristályszerkezetét.

A kondenzátor kapacitásának növelése három paramétertől függ. Első a permittivitás, mely anyagi jellemző és ennek növelési módját a fentiekben bemutatottuk. Marad két tényező, a dielektrikum vastagságának csökkentése és a fegyverzetek területének növelése. A kondenzátorgyártás technológiájának kifejlesztése során a cső- és tárcsakondenzátorok falvastagságának méreteit csökkentettük. A még elfogadható gyártási kihozatal mellett csőgyártásnál 0,2 mm, tárcsagyártásnál 0,3–0,4 mm a min. vastagság, mely extrudálással, ill. sajtolással gyártható. A dielektrikum falvastagságának további csökken-

tése érdekében kifejlesztésre került a fóliaöntési eljárás, mely 100–200  $\mu\text{m}$  vastagságú dielektrikum előállításával tovább bővítette a KŐPORC gyártmányválasztékát a fólia kondenzátorokkal, növelve az egységnyi térfogatban előállítható kapacitás nagyságát. A fejlesztés nem állt meg a fólia kondenzátor gyártásba vételével. A kerámia öntési technológiájának tovább fejlesztésével a fólia vastagságának min. értéke 25–50  $\mu\text{m}$  lett, és az egyes fóliarétegek laminálásával az egyedi fólia kondenzátorokat párhuzamosan kapcsolva növelhető a fegyverzetek területe anélkül, hogy a kondenzátorok mérete számottevően növekedne. Ezek a legnagyobb fajlagos kapacitással rendelkező ún. monolit kondenzátorok.

A KŐPORC kondenzátor gyártásának fejlesztése elsősorban a két legkorszerűbb kondenzátortípus, a monolit- és a záróréteg kondenzátorokra irányul. A monolitikondenzátor-gyártás fejlesztése nagy gépesítési-technológia igénye miatt elsősorban az EKFP keretében történő licenc, know-how vásárlással valósul meg. A főleg kerámiai technológiai munkát kívánó záróréteg kondenzátorok fejlesztése viszont elsősorban saját erőből történik.

A monolit kondenzátorok fejlesztésében jelentős szerepet kap a növekvő népszerűségű kivezetés nélküli (chip) kondenzátorok választékának bővítése. Alacsonyabb hőfokon égethető kerámia anyagrendszerek bevezetése révén, kisebb nemesfém tartalmú fegyverzetek alkalmazásával a gazdaságosság is növelhető lesz, ami az igények miatt a jelenleginél jóval nagyobb gyártási volument követel.

#### I R O D A L O M

- [1] *Boy, R.*: Journ. Am. Ceram. Soc. 37 581 (1954).
- [2] *Wul, B. M. — Goldman, I. M.*: Doki. Akad. Nauk. SSSR 46 154 (1945).
- [3] *Szkanavi, G. I.*: Dielektrikumok fizikája. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1953.
- [4] *Dr. Déri M.*: Seignette-elektromos kerámiai anyagok. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1963.
- [5] *Náray-Szabó I.*: Kristálykémia. Budapest, 1944.
- [6] *Baxler, P. — Hellicar, N. J.*: Journ. Am. Ceram. Soc. 42 456 (1959).
- [7] *Subarao, E. C. — Shirane, G.*: Journ. Am. Ceram. Soc. 42 279 (1959).
- [8] *Toshiaki Murakami — Tadashi Miyashita — Motohiro Nakahara — Eiji Sekine*: Journ. Am. Ceram. Soc. 56 294 (1973).
- [9] *L. Hanke*: Siemens For u Entwickl Ber. 8 209/1979.