

Oxidkerámiák

ETO 666.651

Szervetlen nem fémes anyagok új változatos csoportját fejlesztették ki az elmúlt néhány évtizedben, az oxidkerámiákat. Ezek sokoldalú tulajdonságokkal rendelkező kerámia anyagok s ma már nagy számban kerülnek felhasználásra: a híradástechnikában, az elektromos iparban, a gépiparban, valamint a kémiai iparban, de sorolhatnánk számos új alkalmazásukat, mint az atom- és rakétatechnikát.

E sokféle oxidkerámia anyag típus az ipari kutatás eredményeként jött létre — megfigyelések és kísérletek sokoldalú adatainak újra történő megfogalmazása során. — A szilárdtest-kutatás mindenkori célkitűzése különböző anyagok új kristályszerkezeti struktúráknak a felismerése, amelyek új anyagi összetételek előállításához vezetnek. Ennek a törekvésnek az oxidkerámiák messzemenően megfeleltek. Ebben a tanulmányban az oxidkerámiaira vonatkozó legújabb eredményeket ismertetem, különös tekintettel a híradástechnika hazai eredményeire.

Az oxidkerámia anyagok az elmúlt évtizedben jelentősfejlődésen mentek keresztül. Nem egyszer ellentmondó tulajdonságokat követeltünk meg az oxidkerámiáktól. Pl. legyenek jó elektromos szigetelők, nagyfrekvenciás térben kis veszteségűek, rendelkezzenek nagy dielektromos állandóval, legyen nagy mechanikai szilárdságuk, kemények és kopásállóak, tűzállók és kémiai korróziós hatással szemben ellenállóak. Fémekkel vákuumzáróan összeforraszthatók, ha felmerül a kívánság, úgy optikailag áttetszők vagy éppen átlátszóak legyenek, felületi simaságuk pedig az üvegfelülettel legyen azonos egyes esetekben.

A fenti sokoldalú tulajdonságokkal ma már rendelkeznek a modern oxidkerámiák. Kémia, szilárdtestfizika, kristallográfia és híradástechnikai tudományok együttesével oldhatók meg a felsorolt tulajdonságok, ezzel érvényesülnek az új tudományos interdiszciplináris törekvések.

Ezen bevezetés után jogosan feltehető a kérdés, mi mindent kell ma érteni műszaki oxidkerámiák alatt? — mert kerámiának nevezzük az elektromos ipar nagyfeszültségű mázsás szigetelőit, a kémiai ipar reaktorendényeit, de ide soroljuk a híradástechnika nagyfrekvenciás szigetelőit, a kerámia kondenzátorokat, a ferromágneses anyagokat, a kerámia mágneseket, a piezó-kerámiákat, a félvezető kerámiákat. Sorolhatók továbbá a vákuumipar fémkerámia rövidhullámú adócsövei, a mikrohullámú kerámia elektroncsövek vagy a nátriumlámpák áttetsző alumíniumoxid burái, a gépipari szálvezetők és dróthúzógyűrűk vagy éppen az üvegkerámiák. Az 1. táblázatban összefoglaltuk a különböző kerámiaanyag-típusokat és azok felhasználását.

A felsorolt sokféle oxidkerámia-terméknél azonban felismerhető egy közös jellemvonás: az alkalmazott gyártástechnológia azonossága.

Tudományos definíció szerint a különféle oxidkerámia-anyagok, leírhatók egzakt módon a kémiai összetétel és a gyártástechnológia módjával. Ez az általános definíció azonban oxidkerámiáknál nem teljes, mert nem tartalmazza a kristályszerkezet nagyságát, rendezett vagy rendezetlenségét és orientációját. Nem foglalja magába a különböző kristályfázisokat, az üvegfázis jelenlétét arányát vagy hiányát.

Az oxidkerámiák a gyakorlatban szintetikus összetételű polykristályos anyagok, kristályszerkezetük struktúrája döntő hatással van a felsorolt tulajdonságok megvalósulásánál. Különféle elemek atomjai és molekulái elemi kristályokká rendeződve idézik elő végső fokon e sokféle tulajdonság kialakulását.

1. táblázat

Oxidkerámiák

Jellemző tulajdonságok	Kerámia anyagok	Alkalmazások
Műszaki kerámiák	Alumíniumoxid kerámiák 75%—99,85% Al ₂ O ₃	Híradástechnika Vákuumtechnika Gépipari kerámiák Atomreakortecnika
Dielektromos kerámiák	Bárium-titanát Steatit-titanát Alumínium-titanát	Nagy permitivitású kapacitások Hőmérséklet-stabil kapacitások Dielektromos-rezonát
Ferritek mágneses kerámiák	Spinel-ferritek Gránát-ferritek Hexa-ferritek	Indukciós magok Mikrohull. eszközök Mágneses memóriák Permanens mágnesek
Ferroelektromos Piezó-kerámiák	Titanátok Zirkonátok Niobátok	Ultrahang-generátor detektor Sávszűrők Nagyfeszültségű transzformátor
Ionvezető kerámiák	Mn, Co, Ni, Fe dopolt-titanátok Zirkonátok Niobátok	Thermisztorok Negatív ellenállások Tűzélőcellák, -telepek
Szilícium-karbid kerámiák	SiC + Al ₂ O ₃ — MgO	Tűzálló kerámiák
Üvegkerámiák	Alumínium-magnézium-cink boroszilikátok	Híradástechnika Rakétatechnika

Ásványi alapanyagú oxidkerámiák

Oxidkerámiák leírásánál kiindulunk a tradicionális kerámia anyagokból, amelyek magas szilikát tartalmúak. Példa erre a porcelán, ennek alapanyaga az ásványi eredetű kaolin (Al_2O_3 , SiO_2 , $2\text{H}_2\text{O}$). valamint az alkáliföldpát (K_2O , Al_2O_3 , SiO_2). A porcelánföld őrölt poranyagából nedves, képlékeny masszát készítenek és megformálás után kiszáritják, majd $1300\text{ }^\circ\text{C}$ hőmérsékleten égetéssel nagy szilárdságú tömör anyaggá zsugorítják.

Már korán felismerték a porcelán különféle műszaki alkalmazhatóságát, mert jó elektromos szigetelőnek bizonyult. Később több páraméterét sikeresen megtudták változtatni adalékanyagok hozzáadásával, ill. mások elhagyásával. Növelhető a porcelán mechanikai szilárdsága, ha további alumíniumoxidot adagolunk hozzá. Megjavítható az elektromos szigetelése, ha az alkálioxidokat helyettesítjük alumínium, zirkon vagy magnéziumoxid hozzáadásával. A felső hőmérsékleti határt növelhetjük és korrózióval szemben ellenállóvá tehetjük a szilikáttartalom csökkentésével. Ezeket a porcelán változatokat ultraporcelánnak nevezték el, de továbbra is ásványi eredetű alapanyagok képezték fő összetételüket.

Híradástechnikai Steatit Kerámiák

A legáltalánosabban alkalmazott híradástechnikai oxidkerámia a Steatit és a Forsterit, melyek mint kitűnő nagyfrekvenciás szigetelők kerülnek felhasználásra.

A steatit ásványi eredetű zsrírkő, már az ókorban is ismerték. A Mohs-skála szerint egyes keménységű zsrírkőből használati tárgyakat és edényeket faragtak, ha utána kiégették $1100\text{ }^\circ\text{C}$ hőmérsékleten nagy szilárdságú kerámia tárgyakat nyertek, amelyek az acélnál is keményebbnek bizonyultak.

A steatit kerámiák szöveti szerkezetét magnézium-metaszilikát kristályok alkotják, a természetben két módosulata fordul elő, az enstatit és a clinoenstatit módosulat.

A tiszta válogatott és porított zsrírkő más néven talcum $800\text{--}900\text{ }^\circ\text{C}$ -on hevítve elbomlik és átalakul a természetben elő nem forduló protoenstatit módosulattá, amelynek alacsony op.-ja megközelíti a szinterelés hőmérsékletét, ezért önmagában nem alkalmazható. Ezen átalakulás megakadályozására a kerámiaiparban stabilizáló anyagokat adnak hozzá.

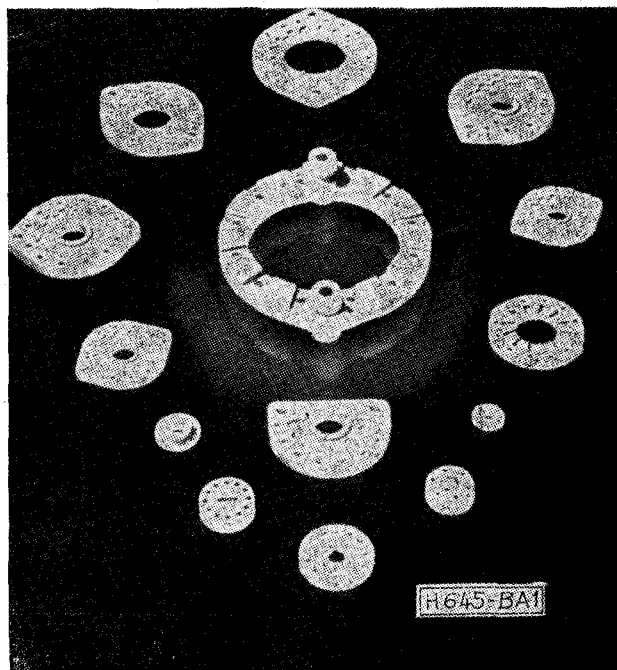
A híradástechnikai steatit kerámiák túlnyomó részben talcumból és képlékeny agyagból készülnek, 30% agyag hozzáadásával eutektikumot képez, amelynek op.-ja $1280\text{ }^\circ\text{C}$. Azonban minél alacsonyabban szinterel a steatit kerámia, annál közelebb kerül a szinterelés, ill. a rekristalizáció hőmérséklete az op.-hoz, 20% agyag hozzáadásával már az égetés folyamán pontos méreteket és alakot tartani lehetetlen. Azonban biztosítani lehet a statit típusú kerámiák formatartását és elektromos tulajdonságait, ha elérjük a clinoenstatit finom kristályos struktúra képződését. Ez pedig elérhető, ha további adalékanyagokat adunk hozzá, mint pl. bárium calcium vagy magnéziumkarbonátok néhány százalékát, amelyek finom kristályos szerkezet képződéséhez vezetnek,

másrészt az op.-t és a szinterelési hőmérséklet egymástól történő eltávolodását eredményezik.

Jól bevált híradástechnikai steatit kerámia összetétel a Calit és a Frekventa elnevezésűek, példaként látható e két típus összetétele:

Calit = talcum	82,0%
kaolin	4,5%
Al_2O_3	2,4%
BaCO_3	11,1%
Frekventa = talcum	84,0%
kaolin	7,0%
bentonit	1,0%
BaCO_3	6,0%

A Calitra jellemzők a jó elektromos és nagyfrekvenciás tulajdonságok, könnyű préseléses formázás, az égetés során kielégítő mérettartás, kristályszerkezete főleg clinoenstatit. A híradástechnika majd minden területén felhasználják: tekercstestek, csőfoglatok, hullámkapcsolók, kondenzátor tengelyek és antenaszigetelők, melyek az 1. ábrán láthatók.



1. ábra. Híradástechnikai Steatit alapú kerámiák

A Calit hőtágulási tényezője a vas és vasötvetetekhez áll közel, ezért előfémzés után lágy és kemény forrasztással hermetikus fémkerámia kötések, ill. átvetések készíthetők. A magyar ipar Elizolit néven gyártja a Calitnak megfelelő minőségű híradástechnikai kerámiákat.

A forsterit típusú más néven Frekventa elnevezésű kerámiákat jellemzi a rendkívül alacsony veszteségi tényező, kitűnő nagyfrekvenciás szigetelő, azonban növekvő hőmérséklet hatására veszteségi tényezője rohamosan leromlik, csak kis teljesítményű berendezésekben alkalmazható.

A Steatit és Forsterit kerámia típusok főbb mechanikai és elektromos paraméterei a 2. táblázatban vannak összefoglalva.

2. táblázat Alumíniumoxid típusú oxidkerámiák

Steatit alapú kerámiák
Főleg clinoenstatit kristályok

Jellemző tulajdonságok	Mértékegységek	Calit MgO SiO ₂	Alsimag 645 MgO SiO ₂	Forsterit 2MgO SiO ₂
Sűrűség	g/cm ³	2,6	2,7	2,8
Keménység	Mohs-skála	7,5	7,5	7,5
Lineáris hőtágulás	25—300 °C között/°C	8 × 10 ⁻⁶	8,9 × 10 ⁻⁶	10 × 10 ⁻⁶
Hajlítószilárdság	Kp/cm ²	1800	1960	2200
Nyomószilárdság	Kp/cm ²	17 000	17 000	22 000
Hővezetőképesség	$\frac{\text{gCal} \times \text{cm}}{\text{cm}^2 \times \text{sec} \times ^\circ\text{C}}$	0,006	0,006	0,008
Dielektromos konstans	$\epsilon_{100 \text{ Mc}}$	5,7	5,6	6,3
Nagyfrekvenciás veszteség	tg = δ	0,016	0,008	0,002

Kémiailag tiszta oxidkerámiák

Időközben az ásványi eredetű kerámia alapanyagokat felváltották a kémiailag tiszta és vegyi úton előállított fénoxidokból készült kerámiák, amelyek növekvő műszaki követelmények hatására kerültek előtérbe. Megbízhatóbb elektromos paraméterek, nagyobb mechanikai szilárdság, a veszteségtényező állandósága és az égetés során megkövetelt nagyobb méretpontosság, már nem volt tartható a változó ásványi szennyezettséget tartalmazó steatit típusú kerámiáknál.

A közös porkohászati technológia megtartásával főleg a híradástechnika és az ezzel kapcsolatos vákuumipar, valamint az atomipar ösztönzésére kifejlesztették a nagy tisztaságú fénoxidokból és adalékoxidokból készült oxidkerámiák számos típusát.

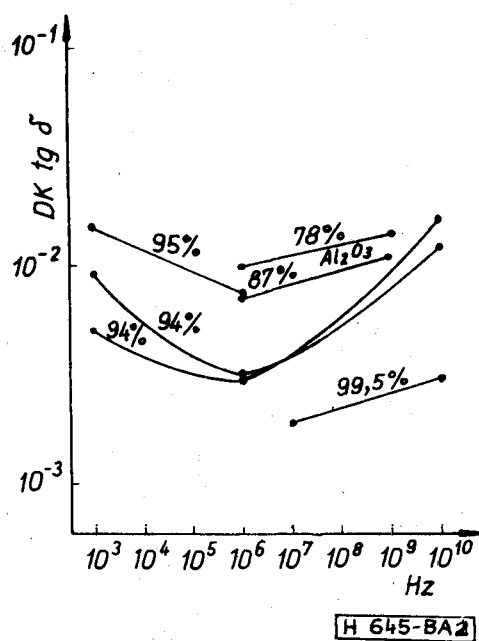
A porkohászati technológia adta lehetőségek alkalmazásával, különféle fénoxidporok elegyítésével, különféle tulajdonságú oxidkerámia komponálható meg. Ezen új módszer bevezetésével hasonlóan alakulnak a tulajdonságok, mint a szénacélok ötvözésénél, a mechanikai hajlító- és szakítószilárdság, és elektromos tulajdonságok megváltoznak. Példaként nézzük mi történik, ha nagy tisztaságú alumíniumoxidhoz egy-két százalék Cr₂O₃-at adagolunk. Több óras égetés után 1600 °C-on a króm-ionok bediffundálnak az alumíniumoxid szemcsék kristályrácsaiba és szintetikus polykristályos rubint képeznek. Ezeknek a kerámiáknak megnövekszik a mechanikai szilárdsága és kopásállóvá válnak, továbbra is megtartva jó elektromos és nagyfrekvenciás tulajdonságukat. Egyidejűleg csökken a szinterelési hőmérséklet is 1800-ról 1600 °C-ra és tömör 3,85 g/cm³ sűrűségű kerámiákat nyerünk, melyek meggypiros színűkkel a rubinra emlékeztetnek.

A fejlesztés folyamán a számos különleges követelmény a kutatófizikusok figyelmét súlyal az alumíniumoxid kerámiák felé irányította. Indokolta ezt ama érdeklődése is, amelyet a híradástechnikai vákuumipar támasztott a fémkerámia vákuumcsövek irányába, mint pl. a fémkerámia klisztronok, magnetronok, ultrarövid-hullámú adócsövek, valamint a tiszta és porózus Al₂O₃ belső szerkezeti vákuumkerámiák. Hasonló volt az atomipar kívánsága, nagy tisztaságú és alacsony neutron abszorbens szerkezeti reaktor kerámiák iránt. A repülőipar is igényelt magas hőmérsékleten szigetelő megbízható műszerkerámiákat. A gépipar sem marad el nagy szilárdságú kopásálló textilipari szálvezetők és fonógyűrűk iránt, melyek nélkülözhetetlenek a nagy teljesítményű műszálszövő gépeknél. Mind ezeket a sokirányú tulajdonságokat a kutatók a Mohs-skála szerinti 9-es keménységű alfa-korund kristály módosulatú alumíniumoxid kerámiaféleségekben találták meg.

Az alumíniumoxid kerámiákra jellemző az Al₂O₃ tartalom és az alfa-korund kristályszerkezet, amely nagy tisztaságban 99,85%-ban fehér színével megfelel a polykristályos zafir kémiai összetételnek. A tiszta alumíniumoxid kerámiák op.-ja 2030 °C a szinterelés, ill. a rekristalizáció hőmérséklete 1800 °C, az égetéskor fellépő zsugorodás a szokásos 14—20%. A 2. ábrán a különböző Al₂O₃ tartalmú kerámiák tg δ -ja látható.

Alumíniumoxid kerámiák kitűnnek nagy keménységükkel mechanikai szilárdságukkal és nagyfrekvenciás térben kis veszteségükkel, e tulajdonságok magas hőmérsékleten is megmaradnak. Üzemi hőmérséklete elérheti az 1200 °C-t, nagy feszültségű átütő szilárdsága nagymértékben függ az anyag tisztaságától és a pórushibáktól, felületi tisztaságuk megőrzésére kemény védőmázakat alkalmaznak.

A szennyezések alacsony szinten tartása viszont nagyfokú üzemi és alapanyag-tisztaságot követel

2. ábra. Nagyfrekvenciás veszteség változása az Al₂O₃ tartalommal

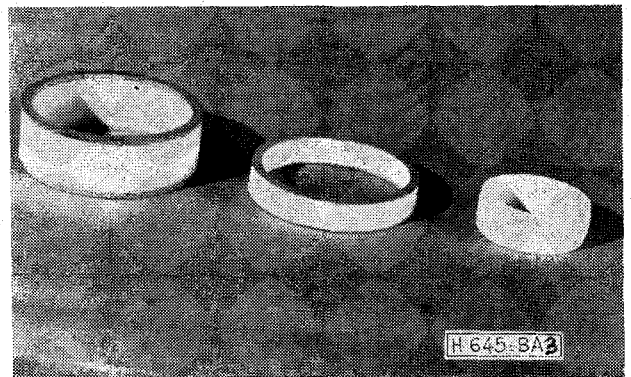
meg. Ha eléri a gyártás folyamán a 99,85–99,90% Al_2O_3 tartalmat, akkor elkerülhetetlenül megnövekszik a szinterelés hőmérséklete és eléri az 1800 °C-t, ennél alacsonyabb hőmérsékleten tömör 3,87 g/cm³ fajsúlyú tiszta alumíniumoxid kerámiákat nem nyerhetünk. Ezzel az égetés problémái is megszorodnak, általában magas op-tu molibdén fűtőtestű és hidrogénöblítésű kályhákat alkalmaznak, ami a tiszta alumíniumoxid kerámiák gyártási költségeit rohamosan megnöveli és gazdasági problémákat von maga után.

Azonban a tapasztalat azt mutatta, hogy egyes kivételektől eltekintve nem minden esetben van szükség nagy tisztaságú alumíniumoxid kerámiákra. Sőt a változó követelmények újabb és újabb tulajdonságok kiemelését kívánják meg, ilyen pl. a hőtágulási tényező fémötvözetekhez való illesztése, melyek csak különféle adalékanyagok hozzáadásával oldhatók meg. Ismert, hogy a tiszta oxidok szinterelése, ill. rekristalizációja már minimális adalékanyagok jelenlétében is csökken, igaz, hogy a fizikai és elektromos paraméterek az adalékanyagok minőségétől és mennyiségétől függően változnak, részben előnyösen részben károsan.

Ilyen adalékanyagok az üvegfázist képző szilikátok, borátok, manganátok, valamint az alumínium-fluoridok és foszfátok, amelyek erős olvasztóanyagok és már néhány százalékuk is a szinterelés hőmérsékletét kb. 1500 °C-ra csökkenti. Ezzel arányosan megváltoznak a mechanikai szilárdságuk, korróziós ellenállásuk, a bárium, kalcium és titánoxidok az elektromos tulajdonságokra vannak hatással. A gyakorlatban az alumíniumoxid kerámiáknak több típusa alakult ki, amelyeket az Al_2O_3 tartalom szerint osztályoznak. A bevált alumíniumoxid kerámiák főbb típusait és paramétereit a 3. táblázatban foglaltam össze.

A következőkben néhány a gyakorlatban jól bevált alumíniumoxid kerámiatípust és tulajdonságait mutatom be.

75% Al_2O_3 tartalmú + magnéziumszilikát és bárium-karbonát előégetett és örölt frit poranyagának hozzáadásával készült alapanyag, mely formázás után



3. ábra. Fémezett alumíniumoxid kerámiák 85% Al_2O_3 tartalommal

1400 °C-on tömör porozitásmentes kerámiává égethető. A steatitnál háromszor nagyobb szilárdságú kerámiák nyerhetők. Nagyfrekvenciás tulajdonságát 300 °C-ig megtartja. További előnye, hogy alapanyaga tiszta oxidokat tartalmaz, ezáltal egyenletes gyártás és pontos mérettartás biztosítható. Általános híradástechnikai, elektromos, gépipari és műszeripari alkatrészeket készítenek belőle. Nikkel vagy réz előfémzés után lágyforraszk alkalmazásával hermetikus szigetelő átvezetők tömeggyártásban készülnek, színük fehér, felületük védelmére kemény mázt is alkalmaznak (3. ábra).

85% Al_2O_3 tartalmú megnövelt mechanikai szilárdságú kerámia, elektromos és nagyfrekvenciás tulajdonsága megegyező a fenti kerámiatípus paramétereivel. Hőlkékeknek inkább ellenáll, szinterelési hőmérséklete 1500 °C. Főleg tűzálló gépipari alkatrészeket, nagy szilárdságú kondenzátor tengelyeket és repülőműszer-alkatrészeket készítenek belőle.

92% Al_2O_3 tartalmú + frit adalékanyagot tartalmazó, általánosan bevált vákuumkerámia, hőtágulási együtthatója megegyezik a ferniko ötvözetével. Mo-Mn előfémzés után vákuumzáró kemény forrasztások készíthetők. Ezek a kerámiák hőlkékekkel szemben nagymértékben ellenállóak, nagyfrekvenciás veszteségük igen jó a tg = 0,002, 10 Kmc-on szinterelési

Alumíniumoxid kerámiák
Főleg α korund kristályok

3. táblázat

Jellemző tulajdonságok	Mértékegységek	75% Al_2O_3	85% Al_2O_3	92% Al_2O_3	99,85% Al_2O_3
Sűrűség	g/cm ³	3,2	3,4	3,75	3,98
Keménység	Mohs-skála	8,5	9,0	9,0	9,0
Lineáris hőtágulás	25–300 °C között/°C	6,6 · 10 ⁻⁶	6,8 · 10 ⁻⁶	7,3 · 10 ⁻⁶	7,6 · 10 ⁻⁶
Hajlítási szilárdság	Kp/cm ²	2800	2950	3800	4500
Nyomási szilárdság	Kp/cm ²	12,500	17,00	21,000	31,000
Hővezetőképesség	$\frac{\text{gcal} \times \text{cm}}{\text{cm}^2 \times \text{sec} \times ^\circ\text{C}}$	0,01	0,04	0,045	0,05
Dielektromos konstans	$\epsilon_{100 \text{ Mc}}$	7,5	8,1	8,15	9,9
Nagyfrekvenciás veszteség	tg = δ	0,004	0,006	0,0008	0,000025

hőmérséklete 1550 °C, színük fehér. A 2. ábrán előfémezett kerámiák láthatók. A 4. ábrán egy fémkerámia hangolható mikrohullámú magnetron mutatott be.

92% Al_2O_3 tartalmú, Cr_2O_3 és frit adalékkal készítenek kopásálló nagy szilárdságú kerámiákat, főleg a textilipar számára bonyolult formai kiképzésben, szálvezetőket, fonálfeszítőket, fonógyűrűket és a drótygyártás számára húzógyűrűket. Kémiai összetétele megfelel a polykristályos rubin összetételének, finomszemcsés kristályszerkezete magas polírozását teszi lehetővé. Szinterelési hőmérséklete 1600 °C, színe meggyipiros.

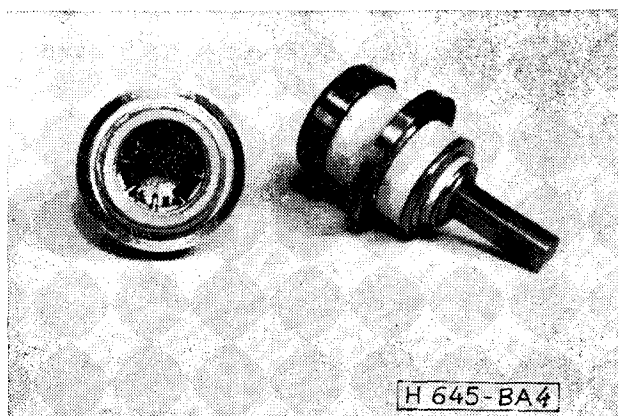
99,9% Al_2O_3 tartalmú nagy tisztaságú kerámiák készítésénél hasznos adalékanyagként tekinthető az amely kedvező irányba befolyásolja az alumíniumoxid kerámiák szinterelését. Ismert, hogy a rekristalizáció alatt a szemcseméret az eredeti 5–10-szeresére is megnövekednek, ha azt akarjuk, hogy a kiindulási kristályszemcseméret megmaradjon a jelen esetben a 0,2–0,5 μm nagyságúak, akkor elegendő ha 0,02% magnéziumoxid épül be a kristályrécsba. A preparálás gyakorlata szerint a nagy nyomással 6–8 t/cm² préselt formadarabok és csövek 500 °C-on előégetik és ezután 0,02% MgNO_3 oldatban áztatják, majd újból oxidáló atmoszférában 1100 °C-on alfa-korunddá alakítják. A végleges szinterelés 1725 °C-on hidrogénben vagy formáló gázban 15–20 órás égetéssel fejeződik be.

A finom kristályos és mikropórusmentes struktúra áttetszőséghez vezet és a legmagasabb követelményeket is kielégíti, ezek a kerámiák látható fényben opalizálnak addig az infravörös tartományban 3 és 6 μm között teljesen átlátszóak. Megtaláljuk a nagy energiájú klisztronok, magnetronok mikrohullámú energiakicsatoló ablakoknál, infradetektoroknál, nukleáris reaktorművekben. Jellemző tulajdonságuk, hogy alkálizóknek ellenállnak, üzemi hőmérsékletük eléri az 1200 °C-t, elektromos ellenállásuk 1000 °C-on még 2,10⁶ Ω/cm . Lucalox néven ismertek, kémiai összetételük megfelel a polykristályos zafirnak, hővezető képességük eléri a rozsdamentes acélokét, mikor a fajsúlyuk eléri a 3,97 g/cm³ értéket. Színük áttetsző fehér.

A tiszta oxidkerámiáknál figyelemre méltók a berilliumoxid kerámiák, amelyek nagy számban kerülnek felhasználásra neutron moderátorként atomreaktorokban. Hővezető képességük az ismert kerámiák között a legjobb, 2,80 g/cm³ sűrűségnél eléri a sárgaréz hővezetését. A berilliumoxid op-já 2550 °C tűzállósága és hőlökésekkel szemben ellenállósága alkalmas teszi tűzálló téglék, csövek, csónakok és kályhaelemek készítésére.

Oxidkerámiáknál megfigyelhető a zéró hőtágulási együttható, hasonlóan mint a fémötvezeteknél pl. az invarnál, megfelelő összetételben a lítium-alumínium-szilikát oxidkerámiák mutatnak zérus hőtágulási együtthatót. Ezekre a kerámiákra jellemző a nagyfokú hőstabilitás. Felhasználják mérőműszerek alkatrészeinél, mikrohullámú üregeknél és mikrohullámú integrált áramköröknél, mérőerősítőknél valamint asztronómiai tükröknél.

Oxidkerámia alkatrészek főbb méreteit és felületi tükrösítését (leppolását) utóköszörüléssel, polírozás-



4. ábra. Alumíniumoxid fém kerámia. Hangolható külső üregű kerámia magnetron

sal végzik. Az elérhető pontosság 0,5 μm -ig növelhető. Felületi kikészítésükhöz kemény porcelánmázakat is alkalmaznak vagy vibrációs gépen csiszolótestekkel fényesítik, felületi érdességük eléri a 0,2–0,4 μm -t.

Dielektromos kerámiák

Ferroelektromos oxidkristályok dielektromos állandója igen nagy a 10⁴-en nagyságrendet is meghaladja. Jellemzően ferroelektromos kristályszerkezetű anyag a BaTiO_3 , melynek ferroelektromosságát a Ba és Ti atomok együttes polarizálhatósága okozza. Egyes szigetelőkben a ferroelektromosság akkor lép fel, ha a molekulákban a pozitív és negatív töltések súlypontja nem esik egybe, ezért az ilyen dipólus molekulából álló kristályrácsban a molekulák többékevésbé rendezetlenül helyezkednek el. Ezáltal a kristályok egyik lapja pozitív, a másik a vele ellentétes lapja negatív töltésű lesz.

A keramikus kondenzátoroknál nagy áteresztési, kis veszteséget és jó hőmérsékleti stabilitást követünk meg. A nagy dielektromos állandójú anyagok veszteségi tényezője kedvezőnek mondható 1 Mc-on a tg. $\delta=0,01$ azonban gyenge a hőmérsékleti stabilitásuk.

Jelentősen megjavítható a hőmérsékleti stabilitás, ha a dielektromos kerámiák alapanyagának szemcseméreteit szűk határok között tartjuk és megakadályozzuk az égetés folyamata alatt a kristályszemcsék egyenlőtlen növekedését. Például jónak mondható a 3500 ± 200 dielektromos állandójú kerámia, melynek 0 °C és +50 °C-on van stabilitása, vagy a –50 °C-tól +200 °C-ig az 1000 ± 100 dielektromos állandójú.

Keramikus kondenzátorokat nagy számban alkalmaznak a frekvenciasáv minden tartományában, hangoló és szűrőköröknél, leválasztó és csatoló kapacitásokként, a kis veszteség jelentős szerepet játszik és jó átütési szilárdság, valamint a jó hőmérsékleti stabilitás.

Növekvő érdeklődés tapasztalható a mikrohullámú kommunikációs rendszerek részéről, mint mikrohullámú rezonátorok, hangolható szűrőkörök és mikrohullámú integrált áramkörök hordozói iránt, melyektől még különleges dielektromos és felületi tulajdonsá-

gokat is megkövetelünk. Mikrohullámú rezonátoroknak különböző összetételben alumínium-titanátokat alkalmaznak.

Ferritek és mágneses kerámiák

Keramikus tulajdonságuk és a közös technológia folytán a ferritek is a kerámiák közé sorolhatók.

Ferrielektromosság olyan anyagok mágneses saját-sága, amelyek elemi kristályrácsában a különböző molekulák mágneses momentuma páronként ellen-tétes irányú, de nem egyenlő nagyságú. Tipikus ferritek a Mn-Zn és a Ni-Zn ferritek, melyek elsősorban magas permeabilitásuk, kis veszteségük és jó stabilitásuk folytán jutnak jelentős szerephez távközlési berendezésekben, mint indukciós tekercsmagok, sáv-szűrők és hangolóegységek. Ferriteket nagy tömeg-ben használnak fel a rádió és televízió és elektronikus készülékekben ezt alacsony áruk is igazolja.

Jelentősek még a mikrohullámú technikában, radarrendszerekben a Mg-Mn ferritek és a Ni-ferritek, melyek magas Q-val és ferromágneses rezonanciával, alacsony dielektromos veszteséggel rendelkeznek. Sokcsatornás mikrohullámú rádióösszeköttetések-nél passzív nonreciprok elemekként használják. A ritka-földfém gránát ferritek, mint fázistolók, rezonanciás izolátorok és cirkulátorok.

Ezenkívül nagy számban alkalmaznak négyzet hiszterézisű toroid ferritgyűrűket számítógépek mágneses memóriagyégeiben. Felhasználásukat a 4. táblázatban foglaltuk össze.

A hexaferrit permanens mágneses kerámia anyagok igen nagy koercitív erővel bírnak, hasonlóan az ötvözött mágneses anyagokhoz. Sok szempontból mégis előnyösebbek, mert alacsonyabb a demagnetizáció után a remanens mágnesességük és kedvezőbbek a hossz- és átmérőarányuk. A ritkafém ötvözőanya-gok pedig növelik az ötvözött fémmágnesek gyártási

költségeit, addig a hexaferrit kerámia mágnesek olcsóságuknál fogva széles területen terjedtek el és egyre újabb területeket hódítanak meg. Alkalmazásra kerülnek a mikrohullámú technikában, mint radar magnetron mágnesek, haladóhullámú erősítők perio-dikus fókuszáló mágnesek. A vákuumtechnikában iongetter szivattyúknál, egyenáramú motoroknál és a széles körűen elterjedt mágneses záráknál.

Piezoelektromos kerámiák

Piezoelektromos effektus korábban csak az egy-kristályoknál volt ismeretes, mint a kvarc, a Seig-nett-só vagy az ammonium-dihidrogénphoszfát (A. D. P.) és az ethylen-diamintartarát (E. D. T.). Össze-hasonlítva a polykristályos kerámiákkal, sokkal drá-gábbak, mert megkövetelik az egykristály-növesztés bonyolult technológiáját, továbbá a felhasználásra kerülő darabokat különböző formáknak megfelelően kell kivágni, azonban a kivágásnak pontosan a szük-seges kristályorientáció síkjában kell történnie.

A polykristályos ferroelektromos kerámia anyagok, mint a BaTiO₃-ok rendelkeznek piezókristály struk-túrával, mivel számos egyedi egymással szembe orientált kristály piezóhatása megsemmisíti egymást és nem mutat piezóeffektust. Azonban a ferroelektromos kristályok orientációja kellő magas elektromos térrel megváltozhat, ha a ferroelektromos bárium-titanát kerámiát felmelegítjük a Curie-pont határáig és egyidejűleg néhány ezer volt nagyságú elektromos térbe helyezzük, akkor a polarizálódott elemi kris-tályok a tér elektromos síkjának megfelelően elfor-dulnak. A zérus piezoelektromos érték helyett 1/2 P_s-nek megfelelően piezoelektromos tulajdonságot vesz-nek fel és az orientált báriumtitanát kerámiakristá-lyok piezóhatása összegeződik. Ha azt akarjuk, hogy meg is maradjon, akkor lassú lehűtéssel az elektromos tér hatása alatt befagyasztható a piezóeffektus.

A jó piezóhatás eléréséhez egyforma méretű kris-tályszemcsékre van szükség 10 és 50 μm közötti nagyságrendben. A piezóhatás tovább növelhető az anyagi összetétel, pl. PbTiO₂ vagy ZrTiO₂ hozzá-adásával.

A piezókerámia-kutatás már több évtizedre tekint vissza, újabban felfedezték, hogy több tantanát és niobát összetétel is alkalmas piezókerámia anyagok-nak.

A piezoelektromos oxidkerámia anyagokat főleg a híradástechnika alkalmazza, pl. ultrahang keltő rezgő fejekhez és detektorokhoz, tv-távhangoló eszközökhöz, víz alatti távolságmérőkhöz, orvosi ultrahang-gyógyászati és vizsgálóberendezésekben vagy roncsolásmentes anyagvizsgálatokhoz, lemez-játszó pik-up-hoz, nagy feszültségű transzformátor-nak és még számos egyéb célra.

Ionos vezető kerámiák

Számos kerámia rendelkezik félvezető tulajdon-sággal, ha adalékként hozzáadunk félvezető oxidokat, mint pl. Mn, Co, Ni, Fe, s ezzel megváltoznak normá-

4. táblázat

Ferritanyagok és alkalmazása

Alkalmazás	Tulajdonságok	Ferritanyagok
Rádió- és tv-ferritek	Nagy permeabilitású és kis veszteségű ferritek	MnZn ferritek
Tekercsmagok és szűrők	Nagy permeabilitású kis veszteségű és jó hőstabilitású ferritek	MnZn ferritek NiZn ferritek
Mikrohullámú eszközök és rezonátorok	Nagy — Q ferro-mágneses rezonanciájú és alacsony dielektromos veszteségű	MgMn hexaferrit Ni és ritkaföldfém Vas gránát ferrit a)
Memória-gyűrűk	Négyzög hiszterézisű ferritek Gyorskapcsolók	MgMn ferritek Li ferritek b)
Permanens kerámia-mágnesek	Nagy koercitív erő Nagy BH	Ba, Sr vagy Pb hexaferritek

a) és b) MgMn ferritek különböző összetételben.

lis oxidkerámia-tulajdonságuk és szilárd elektrolitokat képeznek. A félvezető adalékanyagok hatására az ionvezető kerámiák elektromos ellenállása a hőmérséklet változására élesen letörök, s ezzel a hőmérséklet-változásra érzékeny kerámia-anyagot nyerünk. Az ionvezető kerámiák Termisztor néven váltak ismertté. Ugyanis a $BaTiO_3$ kerámiák hőmérsékleti együtthatója nagy és negatív értékű, amely visszavezethető a bárium és a titánok elektromos vezetősére, ezek a szokásosnál nagyobb valenciájú ionok és a hőmérséklet növekedésével számuk gyorsan növekszik (három-négy nagyságrenddel), ennek megfelelően ellenállásuk is gyorsan változik.

Az ionvezető kerámiák alkalmasak elektronikus készülékek hőszabályozására, megvédhetünk vele elektronikus berendezéseket a túlmelegedéstől, nagy érzékenysége folytán alkalmas mikrohullámok teljesítménymérésére, és számos helyen negatív ellenállásként is felhasználják.

Ismerték az iparban az ionvezető oxidkerámia elektródákat, melyeket magas hőmérsékletű üvegolvasztó elektromos kemencék fűtőelektródjaként alkalmaznak.

Az ionvezető kerámiák alkalmazása a jövőben sokat ígérő lehet, pl. az elektromosenergia-termelő tüzelőcelláknál vagy a nátriumsulfid akkumulátoroknál. A nátriumsulfid telepeket az elektroautóhoz tervezik. Az olvadt fémnátriumot és ugyancsak olvadt ként mint elektródákat szeparálva külön-külön edénybe helyezik, amelyet egy béta fázisú nátrium-aluminát kerámia diafragma választ két részre. A nátrium-aluminát — $Na_2O \cdot 11 Al_2O_3$ összetételű kerámia, amely 800–1000 °C-on ionvezetővé válik és nagy áramsűrűségek érhetőek el, mert a kerámia diafragmán keresztül nagyszámú ion vándorol át. A cella hőmérséklete azonban igen magas, ezért a fajlagos vezetőképesség növelhető, ha zirkonoxid adalékot is adunk hozzá, ekkor az üzemi hőmérséklete a cellának 300 °C-ra lecsökkenthető. Ez még mindig magas hőmérséklet, mely várhatóan tovább csökkenthető. A kutatások e területen várhatóan az üvegfázis növelésével és az ionmozgékonyosság változásával máris eredményes irányzatnak értékelhető, amit ritkaföld-fémoxidok hozzáadásával remélnek csökkenteni. A hőmérséklet csökkentésével a korróziós hatások is nagymértékben kiküszöbölhetőek.

Szilícium-karbid kerámiák

Ismeretes, hogy a szilícium-karbid SiC kristálystruktúrája olyan mint a gyémánté, minden szénatom egy tetraéderben egy szilíciumatomot vesz körül és minden szilíciumatom egy szénatom mellett helyezkedik el. A szilícium-karbid kristályokban ezáltal egy szorosan csomagolt kristályrácsszerkezet alakul ki, amelyben az atomok kovalens kötésbe vannak. A szilícium-karbid rácsponjaiban mindig két atom foglal helyet, ezért nagy a keménysége és eléri a Knoop-skála szerint a 2480-at. Hasonló és egyedülálló keménységgel bír a köbösrácsú alumínium-borid, a bór-karbid, és a bór-nitrid, ezek a gyémántnál is keményebbek 4700-tól 7000-ig terjedő keménységükkel, az ismert anyagok közül a legkeményebbek.

A szilícium-karbamidnak a keménysége mellett még jellemző jó tulajdonsága a nagyfokú tűzállóság, normál nyomáson nincs olvadáspontja, hanem 2700 °C-nál szublimál és elbomlik. Ennek megfelelően a mechanikai szilárdsága izzítás közben 1500 és 1600 °C-ig gyakorlatilag nem változik. Mindezek felett kémiai anyagokkal szemben nagyfokú rezisztenciával bír és a korróziós elváltozásokat nem mutat. A szilícium-karbid viszonylag jó hővezető és elektromos vezető, ezért fűtőelemeket készítenek belőle, pl. kerámiaégető kemencékhez, 1500 °C-ig kielégítő élettartammal alkalmazhatók.

Szilícium-karbidból alumíniumoxid, magnéziumoxid, zirkonoxid és más fémoxidok házzáadásával keramikus anyagokat is készítenek, ha még 1% bór-adalékot is adunk hozzá, ez megnöveji a szilícium-karbid kerámiák keménységét, mechanikai szilárdságát. A törési szilárdsága eléri a 8000 kp/cm² értéket. Ezen kiváló tulajdonságok folytán a szilícium-karbid kerámiák alkalmasak gázturbina-lapátok és folyékonyfém-szivattyúk készítésére, melyek nagy szerepet játszanak a modern fémkohászatban. Gyártanak még égetőlapokat, tégelyeket, csöveket és különleges alkatrészeket az űrtechnológia számára. A szilícium-karbid kerámiák, számos speciális alkalmazásán, kívül jelentősek a csiszolóporok és -korongok gyártásánál.

Üvegkerámiák

Az üvegkerámiák csak néhány éve ismertek, mint új kerámia anyagot a rakétatechnika során fejlesztették ki és a rakéták orrrészeit készítik belőle. Az első haditechnikai alkalmazása után kevés érdeklődéssel fogadták a műszaki szakemberek, pedig ezek a gyakorlatban egyedülálló tulajdonságokkal rendelkező kerámia anyagoknak mutatkoznak.

Régen megfigyelték, hogy a közönséges üveg hosszú idő után kristályosodási folyamaton megy keresztül és elszürkül. A kristályok növekedése a felületen levő kristályképző magokból indultak ki és a felületre merőlegesen befelé növekedtek. Ha a kristallizáció képes további magokat indukálni, akkor a kristallizáció sebessége relatíve növekszik és az üvegben minden irányú orientációban finom hálószerű kristályos mikrostruktúra képződik. A kristallizáció nagymértékben felgyorsul, ha a hőmérsékletet növeljük vagy az üveg olvasztásakor finom szemcsés fémoxidokat adagolunk hozzá, mert ez elősegíti a nukleáció képződését az üvegkerámiákban.

Valamely bóroszilikát keményüveg összetételhez finomszemcsés fémoxidadalékot adunk pl. főleg alumíniumoxidot vagy magnéziumoxidot, akkor a gyártás folyamán egy kontrolált kristallizáció megy végbe, amely nem más, mint egy hőkezelésen alapuló technológiai eljárás. Eredménye egy polikristályos kerámia anyag, amely rendkívül finom térhálós szerkezetű kristálystruktúrával rendelkezik.

A hőkezelés folytán kialakuló mikrokristályos textúra magas követelményeknek tesz eleget. Az üvegből képződő kerámia nagy mechanikai szilárdsággal rendelkezik, pl. az üvegkerámiák hajlítási szilárdsága elérheti a 4500 kp/cm² értéket és ez jobb, mint a leg-

jobb tiszta alumínium-oxid kerámiáké 3500 kp/cm²-el szemben.

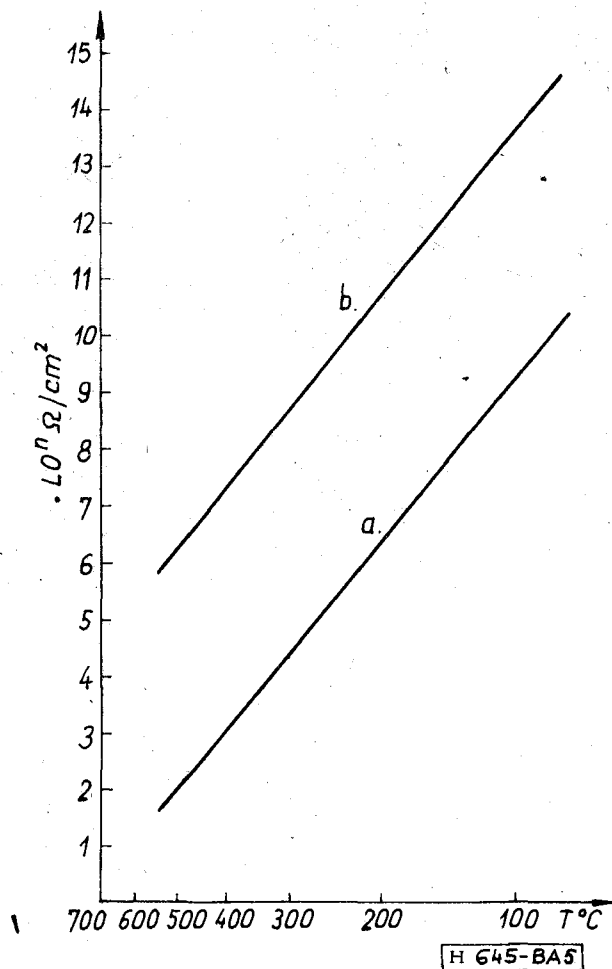
A finom polikristályos struktúra a látható fényben áttetsző opalizáló külsőt ad az üvegkerámiáknak, mely a kristályfelületekről szórt fénynek tulajdonítható. Ha a kristályszemcsék elég kicsik, akkor a refrakciós index szorosan összefügg a maradék üvegfázis arányával, ezáltal az üvegkerámiák áttetsző megjelenésűek. Az üvegkerámiáknál érdekes optikai hatás is tapasztalható, míg a látható fényben opalizálnak addig az infravörös tartományban nagyfokú átlátszóságot mutatnak az 1 és 5 μm tartományban.

Az üvegkerámiák elektromos átütési szilárdsága kiválóan mondható. Az elektromos vezetés folyamata üvegkerámiáknál sokkal komplexebb, mint a félvezető üvegeknél, mert nagyszámú kristály van az üvegfázis mellett. A félvezető üvegek és kerámiák ismert elmélete, hogy a vezetést elektronok és lyukak vakanciája okozza. A megfigyelések mégis azt mutatják, hogy az üvegkerámiáknál általánosabb az ionvezetés, mely függ az alkálifém ionok mozgékonyaságától és növekszik az alkáloxidok tartalmával. Az alkálifém ionok koncentrációja és mobilitása jelentős tényező az üvegkerámiákban, viszont a mobilitást erősen befolyásolja a fázisok aránya, amely meghatározza az ionok migrációját. Az ionok a kristályokban egy közbenső energiaállapotban vannak és a mozgásuk rendezett. Ha viszont növeljük a hőmérsékletet egyes ionok elegendő hőenergiára tesznek szert, legyőzve az energiagátat egy szűk sávban rendezetlenül elmozdulnak.

Az elektromos vezetés tovább csökkenthető azáltal, hogy csökkentjük a mozgékony alkáli-ionok számát a kristályfázisban. Jelentős a fázisok közötti kötés szerepe, mert megakadályozza az ionok mozgását ez szintén csökkenti az elektromos vezetést. Az elektromos vezetés változása a kristalizáció folyamán látható az 5. ábrán ahol „a” az üveg és „b” az üvegkerámia görbéje. Az anyagok térfogati ellenállását leolvashatjuk a görbékről. Az üvegben 300 °C-on 10⁴ Ω/cm az üvegkerámiában pedig 10⁹ Ω/cm a differencia kb. 5 nagyságrend. Az üvegkerámiák elektromos ellenállása függ a kémiai összetételtől és a kristályfázis arányától, ami széles skálán változhat: pl. 300 °C-on 10⁶ Ω/cm-től 10¹² Ω/cm-ig. A cink-alumínium-szilikát üvegkerámia mely mentes az alkáli ionoktól az ellenállása 300 °C-on 2,10¹² Ω/cm tehát nagyobb, mint az ömlesztett kvarcé, amely közismerten a legjobb szigetelők egyike, 300 °C-on 10¹¹ Ω/cm, azonban az üvegkerámiák ellenállása már kis mennyiségű alkálifém oxidtartalomnál csökken, az ellenállás pl. 1% Na₂O-nál 300 °C-on 6,5·10⁶ Ω/cm-re, 2% pedig azonos hőmérsékleten 1,3·10⁶ Ω/cm-re.

Az üvegkerámiák nagyfrekvenciás tulajdonsága is kiváló, veszteségi tényezője jónak mondható, pl. 10 000 MHz-en a tg δ=1,5·10⁻³, alkálimentes üvegkerámiáknál, a tg δ=1,8·10⁻⁴-re csökken. A Li₂O-ZnO-SiO₂ összetételű üvegkerámia dielektromos tényezője: ε=5–6 között változik a ZnO tartalomtól függően. A Li₂O-Al₂O₃-SiO₂ pedig: ε=6–7. Az üvegkerámiák átütési szilárdsága minden eddigi ismert értéket túllépi. A német standard előírás szerint vizsgált mintadarabon 50 Hz-en és 1,5 mm vastag mintákon 30–50 Kv/mm, nagy feszültségű por-

celán hasonló körülmények között 25 Kv/mm és 95% Al₂O₃ tartalmú kerámiák 20 Kv/mm átütési értéket mutattak. A gyengébb átütési szilárdságot a porcelán és az alumíniumoxid kerámiák porózus hibahelyei okozzák az üvegkerámiák homogénebb struktúrájával szemben.



5. ábra. Üveg és üvegkerámia ellenállásgörbéje, a) üveg, b) üvegkerámia

Az üvegkerámiák híradástechnikai alkalmazása még nem elég elterjedt, le kell győzni azt a hiedelmet, amely az üvegekkel szemben a szakkörökben elterjedt, mert már nem üvegről, hanem egy nagy szilárdságú kerámia anyagról van szó és a hagyományos kerámia technológia is bővül egy új eljárással, mely lehet gazdaságosabb az ismert kerámiatechnológiánál.

Alkalmazhatók az üvegkerámiák integrált áramkörök hordozóinak, nagy feszültségű átvezetőknek, fém-üvegkerámia kötéseknek, valamint a híradástechnika számos területén.

A fent elmondottakat összegezve, az üvegkerámiákban a kristályhálók keletkezését, kialakulását, a két-féle fázis közötti kötési energiák keletkezésének feltételeit ma az üvegkerámia-kutatás elsődleges feladatának tekintjük.

Új irányzatok az oxidkerámia technológiában

Az oxidkerámia-gyártás a legősibb porkohászati eljárás. Azonban, ha egy új tulajdonságokkal rendelkező oxidkerámia-anyagot akarunk előállítani, melynek alkalmazása eltér a szokásos használatától, akkor annak előállítása is szükség szerint megmutatkozik a gyártástechnológiában.

Az elmúlt években az oxidkerámia-kutatás érdekes felismeréshez jutott, célul tűzték a General Electric kutatói a tiszta szennyezésmentes polykristályos zafir előállítását. Indokolták ezt az egykristály előállításának magas költségei és a megmunkálás nehézségei a 9-es keménység miatt. Szükség mutatkozott mikrohullámú nagy teljesítményű klisztronok és magnetronok energiakicsatoló ablakainál, továbbá az infravörös technikában, a napfénylámpák korróziómentes buráihoz fényáttetsző csöveihez.

Egy oxidkerámia-terméket jellemezhetünk az alapanyag tisztaságával, összetételével, a szennyezettség mértékével és a kiindulási poranyag szemcseméreteivel, végül a kész égetett kerámia kialakult kristálystruktúrájával.

A legtöbb oxidkerámia kiindulási poranyaga az 5 és 50 μm szemcseméretetek között van. Kivételt képeznek a ferritek, titanátok, és zirkonátok, amelyek kristályszerkezetük kialakításához finomabb szemcseméretetek szükségesek. Ha nagy tisztaságú Al_2O_3 kerámia-terméket akarunk előállítani 99,85% tisztaságban és az elméletileg számított sűrűséggel 3,86 g/cm^3 , akkor az áttetszőség érdekében rendkívül finom szemcseméretre van szükség, amelyet a kellő tisztaságban már őrléssel elérni nem lehet. Ezen feltételek megvalósítása csak új technológiai eljárás bevezetése szükséges. Az új eljárás előtérbe hozta a hidroxid és oxalát porok mint kiindulási anyagok alkalmazását. Finomszemcsés egy μm alatti Al_2O_3 oxidport nyerhetünk, ha vizes oldatból $\text{Al}(\text{OH})_3$ alakban csapjuk ki és egy hőkezeléssel alakítjuk alfa-korunddá, anélkül, hogy a szemcseméretetek közben változnának.

Az eljárás szerint: a dekantált és szárított port egy golyósmalomban szárazon őrljük olyan kis mennyiségű anyagok jelenlétében, melyek hidrofozbizálják, azaz víztaszítóvá teszik a szemcséket egymástól. Az így nyert finom porból isostatikus eljárással lemezeket, formadarabokat és vékony falú csöveket préselnek 6–8 t/cm^2 nyomással. Ezt követi egy 500 °C-on történő előégetés, mikor az alumíniumoxid gamma fázissá alakul át, ekkor még a szemcseméretetek változatlanok. Ahhoz, hogy a további égetés folyamán a 0,1–0,5 μm nagyságú kristályszemcsék megmaradjanak, az előégetett kerámiákat impregnáljuk híg 0,02 normál magnézium-nitrát oldatban. Az erősen aktív alumíniumoxid szemcséken adszorbeálódnak a magnézium-nitrát molekulák. Ezt egy újabb előégetés követi, mikor az elbomlás után 0,02% MgO marad vissza, egyenletes eloszlásban a kristályszemcsék felületén. Az oxidáló atmoszférában a kerámiatestek először delta alumíniumoxid fázison keresztül 1100 °C-on alfa-korund módosulatba mennek át. A különböző fázismódosulatokon történő átmenetek során a finomszemcse-méretetek változatlanul megmaradtak, a jelenséget a kristályszemcsék

felületén adszorbeált magnéziumoxid molekulák hatásának tulajdonítják egyes szerzők.

A végső szinterelés Wolfram fűtőttestű kályhában formálógáz atmoszférában történik, 1725 °C-on, kb. 15–20 óra égetés után éri el a 3,96 g/cm^3 sűrűséget a tiszta alumíniumoxid-kerámia, amikor a teljes fény áteresztése eléri a 90%-ot. A rendkívül finomszemcse-méretetek egy relatív alacsonyabb szinterelési hőmérsékletet is jelent. A fent leírt eljárással készült tiszta alumíniumoxid kerámiákat Lukalox néven hozzák forgalomba, anyaguk polykristályos zafir, fényáteresztésük az infravörös tartományban az 1 és 5 μm hullámhosszon 100%.

Az oldatokból kicsapott hidroxid és oxalát porok a normál eljárástól költségesebbek, bár ez később részben visszatérül a fritelés és a hosszan tartó őrlések elmaradásával, nem utolsósorban az alacsonyabb hőmérsékleten történő égetéssel.

Az oldatokból nyert porok nagy előnye, hogy nagy tisztaságban, egyenletes kristályszemcse-méretetekben ellenőrzött feltételek között reaktorberendezésekben állítható elő 0,1 és 0,5 μm méretetekben. Az adalékanyagokat is tartalmazó kerámiák esetében az együttesen kicsapott porok összetétele nem minden esetben tartalmazza az egyes komponenseket a kívánt összetételben. Sok esetben előnyösebb az újabb alkalmazott eljárás: az oldat-kolloid gél módszer, mikor vízben feloldják az egyes fémnitrát sókat és külön-külön kicsapják ammónium-hidroxiddal. A keletkezett csapadékot salétromsavval peptizálják kolloiddá, majd az egyes kolloid oldatokat keverik a megfelelő arányban, ezután leszűrik és szárítják és őrlik finom porrá. A port előégetéssel 500 °C-on oxidokká alakítják, majd az összetapadt szemcséket újabb őrléssel finom porrá alakítják. Az ily módon előállított alapanyagból kerámia tárgyakat formáznak és égetés után végleges formát nyernek. Az eljárás gazdasági értékelése még folyamatban van, csak olyan esetekben indokolt az eljárás alkalmazása, ahol a műszaki követelmények ezt meg is követelik.

Összefoglalás

Oxidkerámiák nagy mechanikai szilárdságukkal, jó elektromos szigetelőképességükkel, valamint kristályszerkezetükből eredő változatos tulajdonságaikkal jutottak jelentős szerephez a híradástechnikai berendezésekben, érteve ez alatt a hullámtartományok széles skáláját.

A műszaki igények növekedésével az ásványi alapanyagú steatit kerámiákat lassan felváltják a tiszta oxidokból készült oxidkerámia-termékek. Végül is a sokfajta oxidkerámia termékeket a közös gyártástechnológia fogja össze, mert funkciójuk és változó kristályszerkezetük oly mértékben térnek el egymástól, hogy vitatható hovatartozásuk.

Az oxidkerámiák között a ferro-ferri és piezoelektromos, valamint a dielektromos kerámiák külön családot képeznek. A tiszta és adalékanyagokat tartalmazó alumíniumoxid-kerámiák számos híradástechnikai problémát oldanak meg, mint a vákuumzáró fémkerámia elektroncsöveket vagy a hermetikusan forrasztható elektromos átvezetőket.

Nagy mechanikai szilárdságuk, keménységük és kopásállóságuk folytán jelentős szerephez jutnak a gépiparban is, mint a textiliparban a kerámia szálvezetők és fonógyűrűk vagy mint meleg gépalkatrészek. Magas hőállóságuk és korróziós ellenállásuk számos újabb alkalmazási területeket jelentenek, amit a tömeggyártásra alkalmas technológia tesz általánossá. A felsorolt sokirányú felhasználás igazolja az oxidkerámia stabil megbízhatóságát, amely a híradástechnikai berendezések élettartamát az alkatrészek keramizáltsága jellemző mértékben bizonyítja. Az oxidkerámia változatos összetételük és változatos kristálystruktúrájuk folytán újabb alkalmazási területeket nyitnak meg, mint pl. az infravörös átlátszóságuk, mely jelentős szerepet kap a rakétaelhárítás terén. A nagy tisztaságú alumíniumoxid és berilliumoxid kerámia az atomtechnikában, az üvegkerámia pedig az űrtechnikában jutnak jelentős szerephez.

Megmutattam az oxidkerámia változatos felhasználását a híradástechnikában, a modern iparban és tudományban. A gyártástechnológia újabb irányzatait, melyek a kutatás jövő feladatai és eddig nem ismert kristálystruktúrák felismeréséhez vezetnek.

IRODALOM

- [1] Kingery W. D.: Introduction to Ceramics John Wiley New York, 1960.
- [2] Rigby C. R.: The Application of Crystal Chemistry to Ceramic Materials Transact. Brit. Ceram. Soc. 48, I—67, 1949.
- [3] Popper P.: Ceramic dielectrics and their application to capacitors for use in electronic equipment. Proc. I. E. E. 100 Pt. 11A 3. 1953. 229.
- [4] Kell R. C.: Properties of niobate high-temperature piezoelectric ceramics. Proc. I. E. E. 22, 1962. 369—373.
- [5] Kell R. C.: High-quality Ceramics For Use In The Electrical Industry. Journal of Science & Technology Vol. No. 3 1969.
- [6] Mac Kee W. D.—Alfeshin E.: Aluminium Oxide — Titanium Oxide Solidum Solution. Journal of the Amer. Cer. Soc. 1957. ápr.
- [7] Mae Millan P. W.: Electrical properties of glass-ceramics. Journal of Science & Technology Vol. 37 No. 1. 1970.
- [8] Albert M. J.: An Evaluation Of The Voltage-Current Rating Characteristics of Miniature Monolithic R. F. Ceramic Capacitors. Electrocomponent Science and Technology Vol. 1 1978.
- [9] Budincsevič A.: Oxidkerámia és anyagok ipari alkalmazása. Mérés és Automatika 1962. I. sz. 8—11. o.
- [10] Herczog A.: Mikrocrystalline BaTiO₃ by crystallization from glass. J. Am. Cer. Soc. 47. 1964. 107—115.
- [11] Soohoo R. R.: Mikrowave ferrite materials and devices I. E. E. E. Trans. Mag. 4 june 1968.
- [12] Economos G.: Magnetic ceramics Evaluation of some methods of nickel ferrite formation. J. Amer. Ceram. Soc. 42. 1959. 628.
- [13] Fletcher J. M.: Application of Sol. Gel Processes to Industrial Oxides. Chem. and Ind. 13 january 1968.
- [14] Glaeson J. M.: Steatite for High-frequency Insulation. J. Brit. Inst. Rad. Eng. 6. 1946.
- [15] Jenkins D. E. P.: Ceramic to Metal Sealing. Electronic Eng. july. 1955. 290.
- [16] Szombathy Z.: Alumíniumoxid kerámia. Elektronikai Közlemények 1970. 7. sz.

(Folytatás a 134. oldalról)

sára is. Érdekesebb a P 430-as egység. Ez egyszerre 7 munkállomást képes kiszolgálni. Központi egysége 32 KB-tól 128 KB-ig kiépíthető, két lemez meghajtó egységet csatlakoztathatnak hozzá. Adatátviteli csatornája lehetővé teszi, hogy a P 430-as elosztott adatfeldolgozó rendszerben is üzemeltethető legyen. A Philips mind a két rendszerhez új software-t is kifejlesztett. Az új software könnyen alakítható a felhasználó kívánságainak megfelelően, így a rendszerek elemzése egyszerűvé válik, s a felhasználó időt és pénzt tud megtakarítani. A két új rendszer eredményesen vizsgázott az észak-amerikai alkalmazások során. (Data Processing, 1978. máj. [564])

Új alakú, teljesen zárt fémtokozású nagyfrekvenciás transzformátorokat és felületáteresztő szűrőket készített a Philips cég. Ezek a nagy árnyékoltású elemek kielégítik a rádió- és vevő-antennaberendezések igen szigorú műszaki előírásait is. A Hf/Tr 7104-es leválasztó transzformátort és a HP 7104 felületáteresztő szűrőt azonos tokban helyezték el. Szabványos, koaxiális csatlakozók lehetővé teszik, hogy minden átalakítás nélkül a tv-vevőkészülékek antennabemenetére és az antenna kábelére kapcsolhatók legyenek. A Hf/Tr 7104-es leválasztó transzformátor biztosítja, hogy a tv-műsor vételét a közeli rövidhullámú adók, amatőr-adók, az antenna vezetékek áramai 800 MHz-ig ne zavarhassák. Megakadályozza, hogy a közös antennán levő tv-készülékeknek más készülékek sorfrekvenciáinak felharmonikusai vagy más kisugárzásai a vételt zavarni tudják. A nagyfrekvenciás felületáteresztő szűrő alsó határfrekvenciája 40 MHz. Alkalmazásával az antennák által felszedett hosszú-, közép- és rövidhullámú zavarójelek, valamint a rövidhullámú sávban adó amatőrök zavaró jelei nyomhatók el. (Funkschau, 1978. máj. [566])

A telexen továbbításra váró, napról napra növekedő mennyiségű információ a legtöbb vállalatnál hamarosan kezelhetetlen tömegűvé válik, illetve annak továbbítását a berendezések és a vonalak által határolt lehetőségek korlátozzák. Egyik megfelelő megoldása ennek a problémának a gépielt szövegek közvetlen számítógépes olvasása és gépi kódban való továbbítása. A gép által jól olvasható pontmátrixnak megfelelő karakterkészletet már cirill betűkhöz, de az arab ABC-hez is kialakították. A mai karakterfelismerő gépek akár 20 írógép által kibocsátott adatmennyiséget is fel tudnak dolgozni. Ha a gép rosszul olvasható karaktert talál, az operátor beavatkozását kéri. Például a Compuscan Alpha készülék hibaaránya 50 000/1, tehát a hírközlő rendszerben a továbbítási hiba helyett az eredeti szöveg helyessége a mérvadó. Utólagos beszúrák helyett „ismeretlen karakter” beiktatásával lehet jelölni, ahol a gép megáll, itt a szöveg javítandó, kiegészíthető szükség szerint. A berendezéssel jól használható rövidítve kódolt szövegek. Általában elmondható, hogy telexberendezések bővítése helyett karakterfelismerésen alapuló rendszer bevezetésének költségei 2—3 év alatt megtérülnek, de ha szem előtt tartjuk a távközlési tarifák kedvezményei kihasználásának új lehetőségeit és a karakterfelismerő rendszer rendkívül nagy kapacitását, úgy érthető, hogy az olyan jelentések, melyek szerint fél-éves megtérülési idők is előfordulhatnak. (Communications International, 1978. jún. [567])

A SAS Development Ltd. (Victoria House, Vernon Place, London WC1B 4DF) lézeres adó-vevő készülékével 8—16 km-es távolságra lehet hírosszekötést létesíteni. Az SA 13 készülék a nem látható fénytartományba eső impulzus-kódolt lézersugárral működik, a sugár információtartalma más számára nem hozzáférhető. Az ellenállomást a készülékre szerelt teleszkóppal lehet megkeresni. Nagyobb hatótávolságot (16 km) a vevőben layina-fotódióda használatával lehet elérni. Átjátszó állomásokkal a hatótávolság tovább növelhető. A készüléknek a légköri viszonyoktól függő hatótávolság-változása kisebb, mint a láthatóság változása, a 8 km-es hatókörzetig. Nagyobb távolságban a forgalmazás lehetősége a láthatósággal hasonló mértékben változik. (Communications International, 1978. júl. [568])