

Az integrált áramkörök fém-kerámia tokozásának technológiai problémái és perspektívái

ETO 621.3.049.77—213.3—033.78

1. Bevezetés

A félvezető eszközök tokozására, egészen a hatvanas évek közepéig (az IC gyártás megjelenéséig) döntő módon a fém-üveg vagy a műanyag tokozást alkalmazták.

A klasszikus fém-kerámia tokozás előnyei csak kivételes esetekben, elsősorban az erősáramú félvezető eszközök egy részénél egyenlítették ki a felmerülő költségtöbbletet. Tokonként 20–30 kivezető felett azonban ez a helyzet megváltozott, mert ilyen esetben a kerámia tokozás adta előnyök ma már kompenzálják az anyagi hátrányokat.

A fém-kerámia tok szerkezetek időközben az elektronikai ipar más területein is (vastagréteg áramkörök, vékonyréteg áramkörök, hibrid áramkörök stb.) rendkívül elterjedtek. Tanulmányunkban ezért összefoglalóan áttekintjük az ilyen célra alkalmazott szerkezetek előállítási technológiájának helyzetét és alkalmazási területét különös tekintettel az IC gyártásban alkalmazott fém-kerámia szerkezetekre.

2. Alapkonstrukciók

A legegyszerűbb fém-kerámia tokozásnak az általánosan ismert *DIP tokozást* tekinthetjük, melynél a felső határt a tokonként kb. 20 kivezetőben és tokonként egy chip-ben jelölhetjük meg. Az ennél bonyolultabb félvezető elemeknél (20–50 kivezetőig) a *fémezett síktokozást* használjuk, mely még nem

kívánja meg a kerámiahártya technológia alkalmazását, csupán a fém-kerámia kötésben való jártasságot.

Ennek elvét az 1. ábra mutatja.

Maga a tok itt egy olyan sík (rendszerint már tömörre szinterelt) kerámia lapra van felépítve (ezért síktokozás), melyre valamilyen alkalmas eljárással fémezett kivezetőket visznek fel, azt ráégetik, majd a felületet a belső és külső részek szabadon hagyásával üvegzománccal fedik be.

A félvezető morzsát (chip-et) a középső üregbe arannyal vagy üvegzománccal ragasztják be. Az áramkör végeit a kivezetőkkel összekötik, ezek külső végéhez pedig fémhuzalokat forrasztanak. A tokot rendszerint KOVAR-gyűrűvel és lappal zárják le.

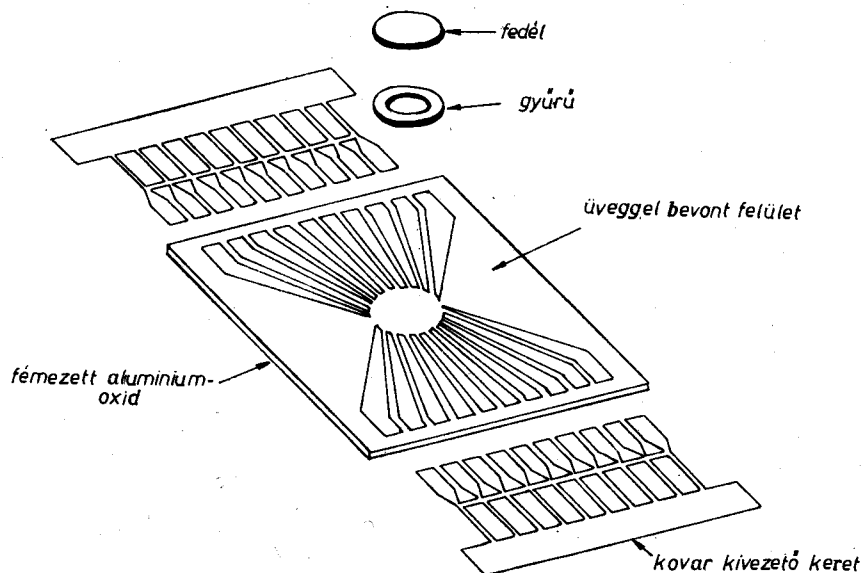
Az ún. *rétegtokozás* (többrétegű tokozás), háromdimenziós szerkezetű.

A *legegyszerűbb rétegtoknál* (1) az egyedi funkciójú rétegeket egymást követő lépésben építik fel a szinterelt kerámia lapra (2. ábra) a vastagréteg-technológiában szokásos módszerekkel.

Az ilyen tokozás folyamatábráját a 3. ábrán tüntettük fel.

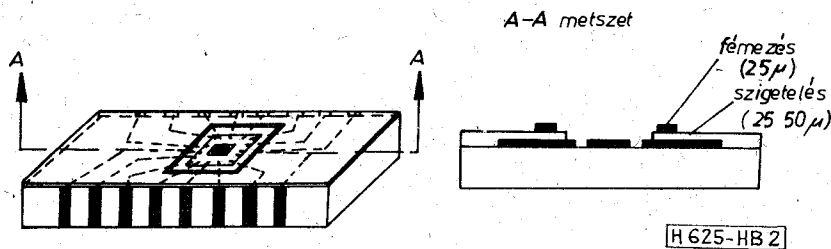
Szigetelőként általában 1000 °C alatt beégethető üveget vagy más szigetelőanyagot (vitrokerámiát, alumíniumoxidot stb.) alkalmaznak.

Az eljárás alkalmazhatósága korlátozott, mert szilíciummal 25–50 μ-nál vastagabb réteg nehezen készíthető, és az egymás felett levő rétegek száma sem növelhető 3–4 réteg fölé.

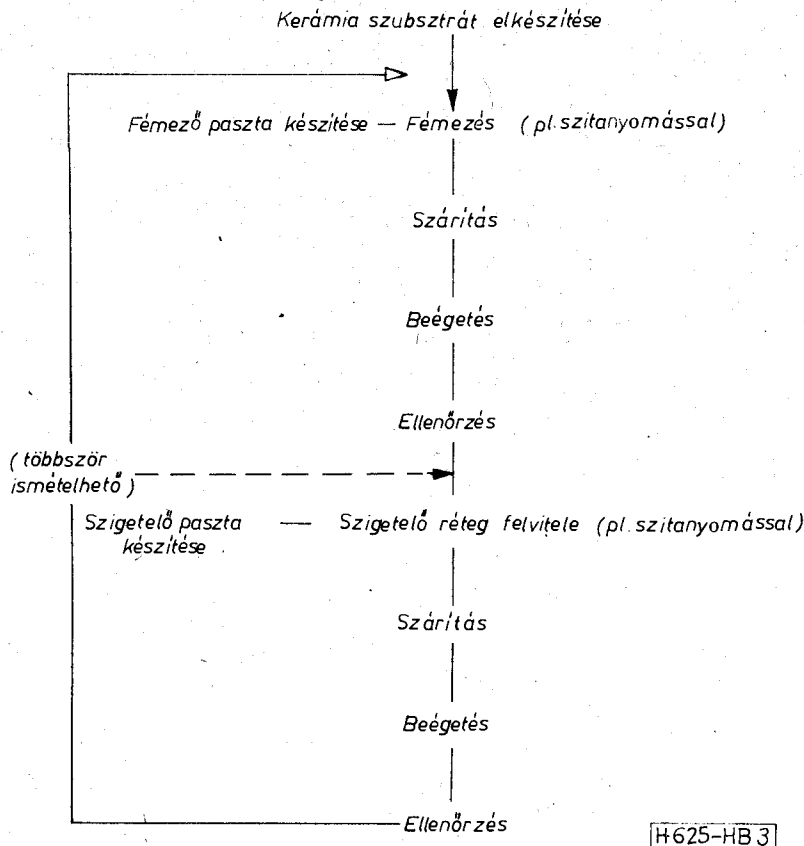


1. ábra

H625-HB 1



2. ábra. Az egyszerű rétegtok felépítése



3. ábra. Az egyszerű rétegtok készítésének folyamatábrája

A laminált rétegtokok alkalmazása esetén az alapvető különbség az, hogy a szerkezetet színterelés előtt fémzett nyers rétegek egymásra rétegzésével alakítják ki.

Így olyan egységes szerkezet alakul ki, melyben a végső izzítás után az egyes rétegek már nem különböztethetők meg egymástól, ahogy azt a 4. ábra mutatja.

A technológiai folyamat lépései a következők:

- kerámiahártya készítése,
- méretrevágás,
- fémkivezetések elkészítése szitanyomással az egyes rétegeken,
- laminálás (a rétegek összeillesztése és adhéziójának biztosítása) és színterelés.

A színterelési folyamat helyes véghezvitele ezen eljárásnál egyszerre több kérdést old meg:

- a fémzőpaszta és a hártvakészítéshez alkalmazott szerves anyagok eltávoznak,
- a kerámia zsugorodik, a pórusok eltűnnek,
- a fémzőpaszta vezetővé válik és
- a kerámia—fém kötés kialakul.

A kerámiaanyag kiválasztásánál lényeges szempont (2), hogy az egységnyi térfogatra eső fémkivezetések számának növelésével a hőleadás, a hőelvezetési sajátosságok, a szerkezet mechanikai szilárdsága, valamint az elektromos tulajdonságok egyre fontosabbá válnak. A gazdaságossági, technológiai és egyéb szempontokat is figyelembe véve a követelményeknek legjobban a magas (90—97%) alumíniumoxid tartalmú kerámiaanyagok felelnek meg.

A felhasználható fémzőanyagok minőségét alapvetően az a tény határozza meg, hogy a fémzés és a kerámia azonos hőkezelésnek van alávetve. Ez a hőmérséklet általában 1400 °C felett van. Emiatt csak magas olvadáspontú fémek használhatók, melyek

hővezető képessége azonban kisebb, mint az ezüst, arany vagy réz hővezető képessége.

A rétegtok készítmény technológia folyamatábráját az 5. ábrán mutatjuk be (3).

Az egyszerű síktokok készítésekor a 3. ábrán felüntetett technikai folyamatok közül csak egyeseket alkalmazunk, másokra nincs szükség.

3. Technológiai problémák

3.1. A kerámiahártya-készítés és laminálás problémái

A rétegtokkészítéshez szükséges 0,001–2 mm vastag kerámiahártyákat a kerámiaparban korábban szokásos préselési eljárással technológiai okok miatt már nem lehetett előállítani. Vékony kerámiahártyák előállítása esetén viszont nem szükséges költséges présszerszám készítése és így a kis darabszámú, s különböző méretű szinterelt lapkák készítése ezen eljárással lényegesen egyszerűbb és olcsóbb, így a hártvakészítést ma már olyan esetekben is alkalmazzák, ahol a kerámialapka megformázását más eljárással is elvégezhetjük, de kis darabszám mellett ez a nagy szerszámköltség miatt nem kifizetődő (1. később).

A hártvakészítési folyamat részleteiről viszonylag kevés publikáció jelent meg, a legtöbb ezek közül is szabadalom (5–20). A legegyszerűbb kötőanyag-rendszerekről és követelményekről Thompson (19) ad átfogó ismertetést, míg Shanefield és Mister (21–22) a hártvakészítési folyamat részleteit tekinti át. Ez utóbbi szerzők megállapították, hogy a folyamatban

nagyon fontos az egyes paraméterek közti helyes egyensúlyt megtalálni, ezért minden egyes fázis ellenőrzésére figyelmet kell fordítani. A hártvakészítési folyamatábrája a 6. ábrán látható.

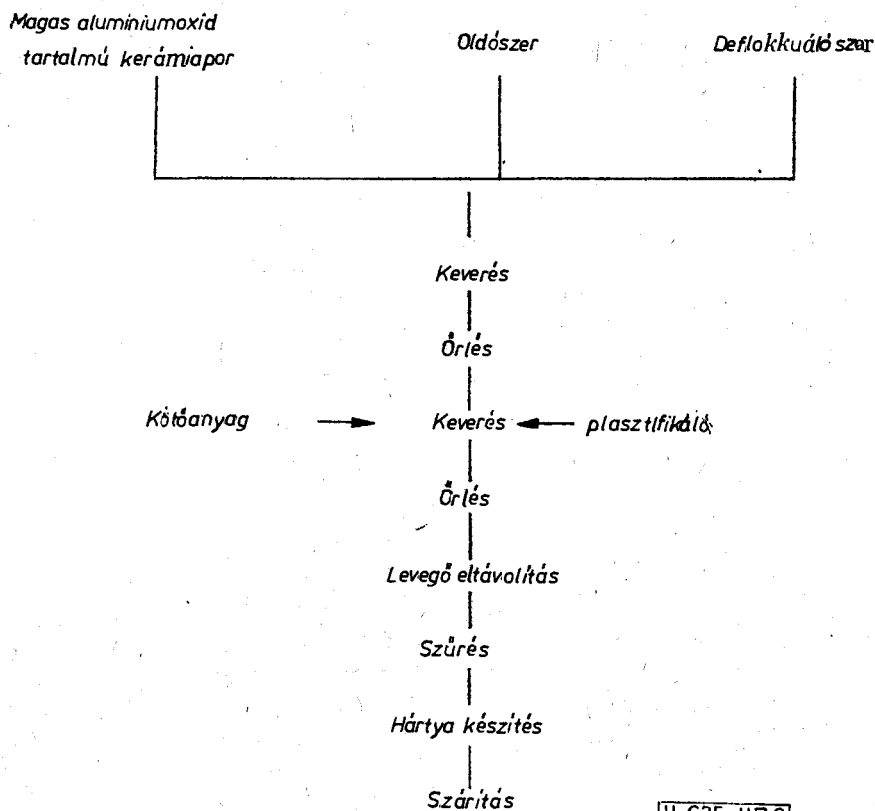
A folyamat első lépéseként kerámiamasszát kell készíteni, mely kerámiaporból és segédanyagokból (oldószer, deflokkualószer, kötőanyag, plasztifikáló anyag) álló, sűrű szuszpenzió. A segédanyagok a hártvakészítéshez nélkülözhetetlenek, azonban a szárítási és égetési ciklus alatt eltávoznak a rendszerből.

Az égetett szubsztrát tulajdonságai (elektromos, mechanikai, felületi stb.) így elsősorban a kiindulási kerámiaportól függenek.

A segédanyagokat — oldhatóságukat figyelembe véve — két csoportra osztják: vizes és szerves bázisú adalékrendszerek.

Egyes irodalmi adatok szerint a vizes adalékrendszerek különösen alumíniumoxid alapú kerámiapor esetén nem adnak megbízható eredményeket (4), más adatok szerint a vizes közeg is mindenfajta kerámiapor esetén ajánlható.

A vizes rendszerekben a kötőanyagok koncentrációja általában 1–6%, a plasztifikáló anyagoké 2–10%, nedvesítő és/vagy deflokkualó ágensé, 0,001–2% és az oldószeré 8–20% (19). A kötőanyag és oldószer arányát a kerámiaanyag tulajdonságai, szemcse-eloszlása és a hártva vastagsága szabják meg. A szárítás egyszerű, mivel a gőzök a szabadba vezethetők. A kiszáradt, kész nyers hártva elég öntartó és plasztikus ahhoz, hogy nagyobb lepedőkbe feltekereselve, egymástól szűrőpapírral vagy védőfilmmel elválasztva akár tartósan is tárolják.



H 625-HB 6

6. ábra. A kerámiahártyák készítésének folyamatábrája

Szerves rendszerek esetén csupán a kötőanyag-plasztifikáló arány módosul, a többi alkatrész nagyjából azonos a vizes rendszerrel. Ebben az esetben azonban az elkészített hárttyát mindig két indifferens műanyag hárttya közé kell rétegezni. A legfontosabb *segédanyagok* a deflokkuáló szerek, a plasztifikáló anyagok, a különböző oldószerek és a nedvesítést elősegítő anyagok.

A deflokkuálás elmélete még nem teljes mélységében kidolgozott, ezért nincs kellő alap a deflokkuáló szer biztonságos elméleti kiválasztásához. Ez ma elsősorban kísérletek alapján dönthető el.

A deflokkuáló szer abszorbeálódik az alumínium-oxid felületén, megakadályozza a részecskék agglomerációját, elősegíti a szilárd por diszpergálódását, ezáltal a szuszpenzió kevésbé viszkózus és könnyen kezelhetővé válik.

Shanefield és Mister (21) szerint a deflokkuáló hatást szterikus gátlás, más elméletek szerint töltéstartás okozza. Többféle deflokkuáló szert összehasonlítva megállapították, hogy a szén—szén kettős-kötés és észtercsoport jelenléte, valamint legalább 360-as molekulaszám szükséges a kielégítő eredményhez. Irodalmi adatok szerint szerves közegben a természetes halolajok, elsősorban a menhaden halolaj hatásos, vizes közegben viszont ammónium-poliakrilát (Darwan C) alkalmazható a legelőnyösebben. A deflokkuáló szert az őrlési folyamat kezdetén kis részletekben kell adagolni, túladagolása nem kívánatos. A megfelelő mennyiségű deflokkuáló szer kevesebb oldószer adagolása mellett is önthetővé teszi a masszát, s ezzel a zsugorodást és repedést csökkenti a szárítási folyamat alatt.

A kötő- és plasztifikáló anyagok alkalmazásának célja, hogy az oldószer elpárolgása után a még ki nem égetett hárttya szilárd és flexibilis legyen. Optimális koncentrációjuk általában 8—11%, de legjobb a 3%. Hosszú szénláncokat tartalmazó, belsőleg lágyított kötőanyag alkalmazása esetén a plasztifikáló mennyisége csökkenthető vagy teljesen elhagyható.

Az oldószernek alacsony forráspontúnak és kis viszkozitásúnak kell lennie. Oldania kell a kötőanyagot, a plasztifikálót, a nedvesítő és/vagy deflokkuáló anyagokat, és nem reagálhat a kerámiaporral.

A nedvesítő és habzástgátló adalékokat elsősorban vizes rendszerekben alkalmazzák. A nedvesítő elősegíti a kerámiapor kötőanyaggal való nedvesítését és a massa szétterülését öntés alatt. Alkalmazása nélkül a keverék homogenizálása sokkal hosszabb időt vesz igénybe. Megakadályozza a túlyukképződést, s biztosítja a massa egységes viszkozitását.

A habzástgátló különösen erősen habzó kötőanyag (pl. polivinilalkohol) használata esetén szükséges. Ilyen pl. az oktilalkohol.

Kis mennyiségű habzástgátló alkalmazása indokolt, túlzott adagolása azonban a kívánttal ellentétes hatást is eredményezhet.

A massa készítéséhez a kerámiaport és a segédanyagokat elegendő ideig együtt őrlik, míg a keverék teljesen homogén, festékszerű szuszpenzióvá nem válik. Ha a hárttyát késes nyújtási módszerrel készítik (l. később), őrlés után a masszából az oldott levegőt vákuumszivattyúval eltávolítják. A masszát ezután szűrik, majd a hárttyát a később ismertetendő módszerek valamelyikével készítik.

A felhasználható segédanyagrendszerekről — az irodalmi források megjelölésével — az 1. táblázatban adunk összefoglalót.

A kerámiahárttyát a kerámiamasszából többféle módon alakíthatják ki. Vastagabb rétegeknél olcsóbb rétegezési módszereket alkalmaznak pl. extrudálás, szétterítés vagy nyújtás. Ezen módszereknél azonban a rétegvastagság ingadozása nagy. Egyenes rétegvastagságú hárttyák kialakítására kétféle eljárás terjedt el (4): a késes nyújtási (vagy szalagöntési) módszer és a kalanderezési eljárás.

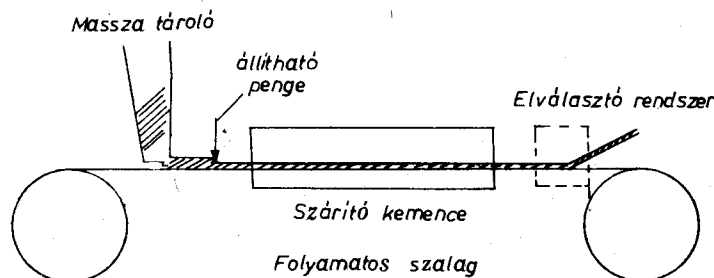
A késes nyújtási módszer mai ismereteink szerint a legegyszerűsebb, de vékony, viszonylag nagy felületű réteg előállítására alkalmas. A folyamatot sematikusan a 7. ábrán mutatjuk be.

A gondosan beállított viszkozitású és sűrűségű, majd vákuumszivattyúval buborékmentesített masszát olyan tartályba helyezik, melynek kifolyónyílása alatt végtelenített hordozószalag halad el. Erre a szalagra folyik rá a massa a tartály kifolyónyílásán keresztül, melynek szélessége a végtelenített hordozószalag szélességével azonos, vastagságát a szalag felett elhelyezett, felülről mikrométerrel állítható helyzetű penge (él, kés) szabja meg. Miután az oldószer a szárítókemencében elpárolgott, a megszáritott réteget a szalagról leválasztják és méretre vágják.

A módszer egyik hátránya, hogy öntés közben lehetőség van a nagyobb szemcsék kiülepedésére. Színterelés alatt ez a hárttya vetemedését okozza, mivel a felső és alsó rész különbözőképpen zsugorodik. Ezt úgy lehet kiküszöbölni, hogy két hárttyát egymásnak háttal ragasztanak össze.

A szárított nyers hárttya viszonylag kis sűrűsége miatt a színterelést magasabb hőmérsékleten kell elvégezni.

Az elérhető maximális rétegvastagság 1,2 mm, mivel a csak egyik felületről száradó hárttya teljes



7. ábra. A késes nyújtási módszer elvi vázlata

Kötőanyag	Plasztifikáló	Oldószer	Deflokkulációszer	Nedvesítő
metilcellulóz 14/	triethylenglikol- 119/ glicerín 14/	víz 14/		
polivinil alkohol 111/	triethylenglikol 119/ glicerín 111/	víz 111/		
nitrocellulóz 14/	etiloxalát dibutil- ftalát 119/	xilol v. aceton 14/		
poli-nbutil metakrilát 119/	dibutil-ftalát 119/	xilol v. aceton 119/		
polisztirol 14/	dioktil-ftalát v. trikrezitfoszfát 14/	trikloretilén 14/		
etilén-vinilacetát kopolímer 14/	dioktilftalát 14/	trikloetilén 14/		
polivinilklorid 124/	triethylenglikol di-2-hexoát 124/	xilol, toluol aceton 14/		
polivinilbutirát 18, 9, 25, 26/	triethylenglikol hexoát 18, 26/ polietilén glikol 125/ glikol + n hexil alkohol kevert ftalát észter 19/	toluol/ etilalkohol + trikloretilén 19, 26/	zsírsavak 19, 26/ benzolszul- fonsav, termé- szetes halolaj 19/	alkiléter polietilén- glikol 18/
cellulózacetát butirát 15/	dimetilftalát 15/	aceton 15/		polietilén glikol alkiléter 15/
vinilklorid acetát 113/	butilbenzil- ftalát 113/	metil, etil keton 113/	alginát 113/	etilfenil glikol 113/

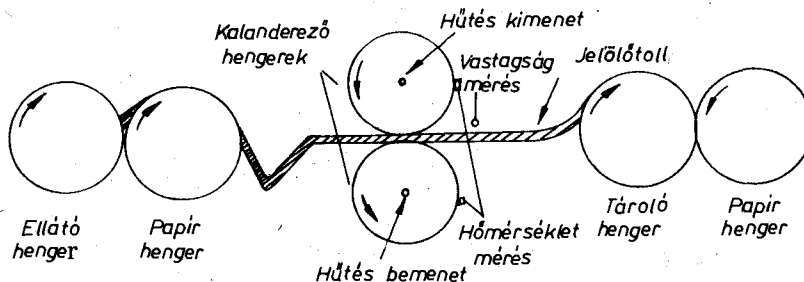
H 625-HB 1T

vastagságában repedezés nélkül ennél vastagabb méretben nem szárítható ki.

Vékony egyenletes felületű kerámiahártya készítésére a kalanderezés is alkalmas. A folyamatot szematikusan a 8. ábrán mutatjuk be.

A kerámiaporral töltött termoplasztikus anyagból

először extrudálással szalagot készítenek, majd a szalagot a kalanderező gép hengerei között többször átengedik, míg eléri a kívánt rétegvastagságot. A kerámiahártya vastagságát a hengerek közti távolság beállításával szabályozzák. A kalanderező lépés után a szalag vastagságát folyamatosan mérik. A hő-



H 625-HB 8

8. ábra. A kalanderezéses eljárás szematikusan ábrája

hőmérséklet a plasztikusságot nagymértékben befolyásolja, s ez pedig megszabja az egy lépésben elérhető vastagságcsökkenést. Ezért a hengerek hőmérsékletét hűtéssel szabályozni kell (általában 20 és 30 °C között ± 2 °C pontossággal). A magas kerámia-tartalom miatt a plasztikus szalag viszkozitása nagy ($10^3 P$). Ezért a hengereket megfelelően nagy erővel kell egymáshoz szorítani ($6 t/m^2$). Egyenletes rétegvastagságot csak több, egymást követő kalanderező lépéssel és megfelelő hőmérséklet-szabályozással lehet elérni. A módszer ugyan bonyolultabb a késes nyújtási módszernél, a vele előállítható termék minősége azonban kedvezőbb. A nagy munkanyomás következtében a nyers sűrűség 60–70%-a a szinterelt sűrűségnek anélkül, hogy speciális előégetést vagy őrlést alkalmaznának. Előnyt jelent az is, hogy a nagyobb sűrűség miatt kisebb a zsugorodás, vete-medésre kevésbé hajlamos és a szinterelési hőmérséklet is alacsonyabb. Kevesebb kötőanyag alkalmazható, mint a késes nyújtási módszernél, ezért annak kiégetése is könnyebben megvalósítható. Ezen kívül ezzel a módszerrel a szalagöntésnél lényegesen vastagabb hártya is készíthető.

A nyers kerámiahártya tulajdonságait Gardner és Nufer (16) vizsgálták. Vizsgálataiknál feltételezték, hogy a hártya erősen töltött termoplasztikus anyagnak tekinthető, ezért a polimerek tanulmányozásánál bevezetett fiziko-kémiai módszerek ebben az esetben is alkalmazhatók. Kísérleteikben kétféle szemcseméretű (1μ és $4-5 \mu$) alumíniumoxidot használtak, a kötőanyag polivinilbutirál-gyanta volt. Megállapították, hogy a hártya tulajdonságait elsősorban a szerves kötőanyag mennyisége és minősége, a kötőanyag és a plasztifikáló anyag aránya, valamint a kerámiapor szemcse nagyság eloszlása határozza meg. A rugalmassági tulajdonságok, ill. a nyúlás ismerete elsősorban a mérettartás és kezelhetőség miatt lényeges. A finom szemcseméretű alumíniumoxidot tartalmazó hártya jóval rugalmasabb, mint a nagyobb szemcseméretű porral készített. A kötőanyag mennyiségének növekedésével, valamint a kötőanyag-plasztifikáló arányának növelésével a szilárdság növelhető.

A nyers (ki nem égetett) kerámiahártya (melyet az angol szakirodalomban „green tape”-nak neveznek) a fém—kerámia tokozáson kívül még számtalan más helyen nyer alkalmazást (chip kondenzátorok, vastagréteg áramkörök hordozói, vékonyréteg áramkörök stb.), melyek részletesebb ismertetése azonban nem képezi közleményünk tárgyát.

A rétegtokok (vagy síktokok) készítésénél a megfelelő vastagságú kerámiahártyaából a bőrparban használatos kivágószerszámokhoz hasonló szerszámok segítségével a kívánt alakú kerámia idomokat kivágják, majd azokat egymásra rétegezve hő és nyomás (vagy ragasztóanyag) alkalmazásával egyesítik. Ezt a folyamatot nevezzük laminálásnak, függetlenül attól, hogy az egyesített hártyarétegek felületén van-e szitanyomásos fémezés vagy sem. Gardner és Nufer (16) a laminált kötőerősség vizsgálata során olyan egyenletet találtak, melynek alapján a kötőerősség megjósolható. Eszerint

$$B = K_1 + K_2 \ln POt$$

ahol

B	kötőerősség,
K_1, K_2	empirikus konstansok,
P	laminálási nyomás,
O	laminálási hőmérséklet,
t	laminálási idő.

A K_1 és K_2 konstans értéke több tényezőtől függ. A kötőanyag-tartalom növekedésével a kötőerősség növekszik. Az 50–50%-os finom, ill. nagyobb szemcseméretű por alkalmazásával érhető el a legnagyobb kötőerősség. Az összenyomhatósági tulajdonságok alapvető fontosságúak a laminálás során. A kompresszibilitás csökkenésével a hártyaik mindinkább kitöltik a rendelkezésre álló teret.

A laminálás után, mint ezt később részletesen tárgyaljuk, több fokozatú izzítás következik. Az izzítási folyamat első szakaszában történik a kötőanyag kiégetése. Ha a hártya permeabilitása (gázáteresztő képessége) kicsi, a gőzökből származó nyomás túlszárnyalhatja a kötőerőt, s a rétegek elválnak egymástól, vagyis szoros összefüggés áll fenn a kötőerősség és a permeabilitás között is. Vizsgálatok szerint a permeabilitás logaritmus lineáris összefüggésben van a porozitással.

A hártya porozitásváltoztatásának egyik módja a kötőanyag-mennyiségének változtatása, amely természetesen a zsugorodás mértékét is befolyásolja.

A legkisebb porozitást úgy lehet elérni, ha 25% finom és 75% nagyobb szemcseméretű por keveréket alkalmaznak. Az előizzított laminált hártya komplexum végső szerkezetét a szintereléssel nyeri el.

A gyártási paraméterek megváltoztatása a kerámiahártya és így az egész tokszerkezet tulajdonságára is hatást gyakorol, melyek ellentétesek is lehetnek, azaz valamely tulajdonságban előálló kedvező változás egy másik tulajdonság romlását vonhatja maga után. Így nyilvánvaló, hogy a gyártási paraméterek összessége minden esetben a kívánt célt szem előtt tartó kompromisszumot takar.

3.2. A fém—kerámia kötés problémái

A tokkészítés fontos művelete a kerámia fémezése. Mind a nyers hártya, mind a szinterelt szubsztrát fémezésének legelterjedtebb módszere a szitanyomás, ezenkívül azonban különleges esetekben más mód-szereket (szórás, felkenés, párolgatás, fotolitográfia stb.) is alkalmazhatnak. A fémezőpaszta fémporból, valamint különböző segédanyagokból áll. A deflokkuáló szer használatának szükségessége még nem bizonyított. Kötőanyagként általában cellulózszármazékokat, oldószerként szitanyomásnál magasabb forráspontú oldószert vagy oldószerkeletet alkalmaznak, míg a többi eljárásnál az illékonyabb oldószerek a megfelelőek. A nedvesítő ágens alkalmazása azért fontos, hogy egyenletes eloszlású pasztát lehessen készíteni. A szitanyomás elősegítésére szoktak még tixotropizáló adalékot is alkalmazni. A fém-por kiválasztása nagy körültekintést igényel, részben a szinterelési és hőtágulási, részben a fém—kerámia kötés szempontjából. Lényeges, hogy a fém és kerámia hőkiterjedése közel legyen egymáshoz. Ezt a követelményt azonban vékony, duktilis fémrétegek alkalmazásával enyhíthetjük.

A fémzéshez felhasznált fémek tulajdonságai

Anyag	Op., °C	Fp., °C	El. ell. (μ ohmem)	Hőkiterjedés $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	Szinterelés at	Kötéserősség
Kerámia	1700	—	—	5,5—6,5	levegő, red.	—
Ezüst	961	2210	1,6	19,1	levegő	gyenge
Arany	1063	2970	2,2	14,2	levegő	gyenge
Réz	1083	2600	1,7	17,0	redukáló	gyenge
Palládium	1552	4000	10,8	11,0	levegő	gyenge
Platina	1759	4410	10,6	9,0	levegő	gyenge
Rhodium	1960	4500	4,7	8,5	levegő	közepes
Iridium	2442	5300	5,3	6,5	levegő	közepes
Molibdén	2610	4800	5,2	5,4	redukáló	erős
Wolfram	3410	6700	5,5	4,5	redukáló	erős

A fémzéshez felhasználható fémeket és tulajdonságaikat a 2. táblázat tartalmazza. Ezeket általában vagy tisztán vagy fémporkeverékként (pl. PdAg, AgPts, Mo-Ti stb.) alkalmazzák.

Laminált rétegtokszerkezet esetén a nyers hártját először kivágják, majd fémézik, végül laminálják. Ez esetben a fémzés és a kerámia ugyanazon hőkezelési folyamatban szinterelődik. Síktokszerkezet esetén ez két különböző izzítási folyamat. A kerámiák többsége (különösen a magas alumíniumoxid tartalmú) 1400 °C feletti hőmérsékleten szinterel, ezért rétegtokszerkezet esetén ezüst és réz jó hővezető-képessége ellenére sem használható (síktokszerkezetknél igen).

A nemesfémrendszerek (Pd vagy Pt) fő előnye, hogy a velük végzett műveletek könnyen beilleszthetők a rétegtechnológiába, hátrányuk a magasabb ár, gyengébb vezetőképeség és kötéserősség.

A magas olvadáspontú nem nemesfémek fajlagos ellenállása kisebb, alkalmazásuk esetén a hermetikus zárás könnyebben megvalósítható, a kötéserősség igen magas, és a fémréteg keményen forrasztható, ez esetben azonban az izzítást semleges vagy redukáló atmoszférában kell elvégezni.

Ilyen vákuumálló fém—kerámia kötések kialakításának lehetőségeiről és mechanizmusáról összefoglaló közlemények jelentek meg [28, 29, 34], melyek részletes ismertetésére itt nem térünk ki.

A fémzés paszta készítésénél a primer fém mindig tartalmaz kis mennyiségű módosító segédanyagot. Ennek célja lehet a nedvesítés elősegítése, a fém—kerámia kötés létrehozása és a szinterelés körülményeinek módosítása. Ilyen adalékanyag pl. a vas, a mangán, a különböző szilikátok, kis mennyiségű alumíniumoxid, szilíciumdioxid, kalciumoxid vagy ezek keveréke. Ha adalékanyagot nem alkalmaznak, a fém és a kerámia között nem alakul ki átmeneti réteg, s így gyenge lesz a kötés.

Ugyanakkor az adalékanyag rontja az elektromos vezetőképeséget, a hőkiterjedési együtthatót, a hőlökésállóságot, ezért mennyiségét a szükséges minimumon kell tartani. Alkalmazható a primer fém olyan vegyülete is (pl. oxid), mely a technológiai folyamat alatt primer fémmé alakul.

Míg korábban a molibdén és a wolframot külön-külön alkalmazták fémzés paszta készítésére, az újabb szabadalmakban [30, 31] már együttes alkalmazásuk is előfordul mangán adalékkal vagy alumíniumoxid, szilíciumdioxid, kalciumoxid stb. segéd-

anyagokkal. A molibdén vagy wolfram mellett kis mennyiségű palládium por is [32, 32] alkalmazható részben a szinterelést követő fémbevonás katalitikus aktiválása, részben a szinterelési hőmérséklet csökkentése céljából.

Vas adagolása esetén [29] a szinterelési hőmérséklet ugyan csökkenthető, de ez gyenge fém—kerámia kötés kialakulásához vezet. Az irodalomban nem található utalás a fémpor szemcsemérete és a kötéserősség közti kapcsolatra. Technológiai okokból az 5 μ -nál kisebb szemcseméretű fémpor alkalmazása indokolt.

A publikált adatokból az optimális rétegvastagság sem állapítható meg egyértelműen. Espe [29] kísérletei szerint az optimális rétegvastagság 10 és 60 μ között van. 10 μ -nál vékonyabb fémréteg esetén a kötéserősség kicsi 60 μ -nál vastagabb réteg nem vákuumálló, bár mechanikai tulajdonságai kedvezőek.

A kerámia felületére felvitt réteget a kerámia anyagához hőkezeléssel rögzítjük. Ez a folyamat, mint már említettük, a szinterelés. A szinterelésnél lejátszódó folyamatok sokrétűsége miatt minden egyes megadott kerámia—fém kompozícióhoz tartozik egy optimális hőprogram, amely természetesen az izzítási atmoszférától és a komplexum szerkezetétől is kismértékben függ. E hőprogram kidolgozásához a szóban forgó rendszer termodinamikai tulajdonságait is gondosan kell tanulmányozni. Pl. a magas olvadáspontú nem nemes fémek (molibdén, wolfram) könnyű oxidálhatósága miatt az izzítást védőgázban végzik. A molibdén—mangán, ill. nedves formálgázt (nitrogén és hidrogén elegye) alkalmaznak. A gáz vízgőz tartalma biztosítja a fém—kerámia kötés kialakulásához szükséges enyhén oxidáló atmoszférát. A nedvességtartalmat az elegy harmatpontjával jellemzik, és rendszerint -25°C és $+25^{\circ}\text{C}$ közötti értékre állítják be a gázáram vízen való átbuborékolatásával. Ha a védőatmoszféra nem elegendően nedves, a fémzés gyengén köt a kerámiához, ha túlságosan nedves, oxidálhatja a fémet, ezzel a hermetikus zárás csökken.

Az izzítási folyamat a kerámia hártában lejátszódó folyamatok alapján szakaszokra bontható. Az első szakaszban a hőmérséklet enyhén emelkedik, szobahőmérséklettel mintegy 500 °C-ig, miközben a szerves alkotórészek bomlanak. A következő rész egy 500 °C-os plató, ahol az elbomlások és az esetleges szén maradék oxidációja fejeződik be. A harmadik szakaszban a hőmérséklet 1300—1500 °C-ig emelkedik, majd egy újabb plató következik. Itt megy végbe az

anyag sűrűsödése és a fémezés reakciója a kerámiával. A plató hossza 1500 °C körüli hőmérsékleten mintegy 1 óra.

Stetson és Gyurk [14] a hőntartás idejének a kerámia szerkezetére gyakorolt hatását vizsgálta. Megállapították, hogy magasabb hőmérsékleten a szemcse-méret-növekedés fokozódik, és ez növeli a pórusosságot. Előnyösebb az alacsony hőmérsékleten hosszabb ideig végzett szinterelés. A szinterelés ideje a fémezés szempontjából is lényeges. Túl hosszú beégetési idő esetén a kerámiában jelen levő üvegfázis képes átvándorolni a Mo—Mn rétegen, s elérheti a fémréteg felületét. Ezzel megakadályozhatja a szinterelést követő fémbevonást.

3.3. A fémezett rétegek forrasztása

A szinterelt fémfelületet a szokásos forrasztanyagok nem mindig nedvesítik (pl. Mo vagy W esetén). Ekkor a fém felületét olyan fémbevonattal kell ellátni, mely annak nedvesíthetőségét biztosítja. Erre a célra általában *arany vagy nikkel bevonatot* alkalmaznak. Mivel a rétegtokok szerkezeti elrendezésénél galvanikus kontaktus biztosítása nehézkes, rendszerint az autokatalitikus (electroless) eljárást alkalmazzák.

Autokatalitikus fürdő-összetételeket kidolgoztak nikkel [3] és arany [35] bevonatok készítésére is. A fémleválasztást aktiválással kell elindítani. Ha a tisztítási és aktiválási lépések nem megfelelőek, magára a kerámiára is válhat le fém. Az aktiváláshoz kis mennyiségű palládiumot alkalmaznak, mely a fémezőpasztába is keverhető. Nikkel esetén a forrasztáshoz [3] 500 Å rétegvastagság is elegendő, de mivel a forrasztási ciklus alatt a nikkel bediffundál a fémrétegbe, kb. 2,5 μ vastag réteg biztosítja azt, hogy elegendő nikkel maradjon a felületen a forrasztáshoz és a chip csatlakozáshoz. Nikkel bevonat esetén a felület ónozható (lágyszeresíthető).

Forrasztanyagként lágyszeres, félkemény vagy kemény forrasztóanyagokat alkalmazunk, melyeket bővebben Kohl [37] munkája részletesen tárgyal. A fém—kerámia tokozásnál általában az Ag-tartalmú kemény forrasztanyagok a legmegfelelőbbek.

Weirick [36] vizsgálta a különböző kemény forrasztanyagok és fémezőbevonatok alkalmazásának előnyeit és lehetőségeit. Vizsgálatai szerint az ezüst—réz forrasztanyag alkalmazásának esetén a réz behatol a Kovar szemcséi közé, és kristályközi korróziót okoz. Ennek megakadályozására a Kovar-ötvözeteket is nikkelezik.

A nikkel alkalmazásának előnye, hogy az aranytól kevésbé porózus és ezáltal a levegő nedvességtartalmát is jobban védi a Kovar-ötvözetet.

A forrasztást — a szintereléshez hasonlóan — megfelelően kidolgozott hőmérsékletprogram alapján kell elvégezni. Viszonylag gyorsan emelik a hőmérsékletet a forrasztanyag olvadáspontjáig, néhány percig tartosztálják, majd kemény forrasztás esetén 600 °C körüli hőmérsékletre hűtik le, s ott tartják mintegy fél órán át. A hőkezelés célja a forrasztanyag plasztikus deformációjának biztosítása, és a kötés feszültségmentesítése.

Utolsó műveletként a forrasztott szerkezeten védőbevonatot alakítanak ki, mely a korrózióvédelmet biztosítja. A védőbevonat lehet nikkel és/vagy aranyréteg, a kerámia tokozásnál rendszerint az utóbbi. A művelet galvanikusan vagy autokatalitikusan végezhető. Ezt a műveletet követi az integrált áramkör beültetése, szerelése és a tok lezárása, mely azonban már nem tartozik munkánk keretébe.

4. A fém—kerámia tokozás alkalmazási területei és perspektívája

A félvezető eszközök tokozásánál ma három alapvető tokozási eljárást ismerünk: a fém—üveg, a fém—műanyag és a fém—kerámia szerkezetű tokozást. Mindhárom eljárás kiállta a gyakorlat próbáját, és segítségükkel ma is napi több millió félvezető eszközt tokoznak üzemszerűen szerte a világon. Mődunk van tehát az eddigi tapasztalatok alapján e három eljárás összehasonlítására. Az összehasonlításához három szempont kínálkozik a legalkalmasabbnak: a költségint, a műszaki szempontok és végül az egyes eljárásokkal elérhető maximális lehetőségek.

A fém—üveg kivitelt ma mindazon helyeken sikeresen alkalmazzák, ahol a fém—üveg technológia és a fémidomok mélyhúzási technológiája kiforrott és régóta gyakorolt technológia. Ilyen esetben a félvezetőeszközök tokozására — amennyiben különleges műszaki követelmények nem merülnek fel — ez a leggazdaságosabb eljárás. Előnye még a nagyfokú rugalmasság is, vagyis az, hogy egyik toktípusról a másikra való áttérés nem okoz a technológiában problémát, és nem igényel költséges felszerszámozást. Az eljárás teljesítőképességének határa a tokonként 12 kivezető, ennél nagyobb kivezetőszámnál vagy méretproblémák vagy technológiai nehézségek lépnek fel. Ebbe a típusba tartozik a jól ismert „TO” tokcsalád is. Az eljárás nagyüzemileg is jól alkalmazható, a tokok lezárása egyszerű és olcsó. A sorozatnagyság lényegesen nem befolyásolja a tokozási költségeket.

A fém—műanyag vagy csak egyszerűbben műanyagtokozás ma már szintén teljesen kiforrott, gyermekbetegségeit kinőtte és a leggyakrabban használt eljárás. Lényege az, hogy egy fémszalagból mechanikai vagy kémiai úton kialakított, ún. szerelőszalagra felszerelt áramköröket műanyag fröccsöntő szerszámba helyezik, majd az áramkört nagy nyomással forró műanyaggal körülöntik, az önmagában egyébként ismert fröccsajtolási eljárás alkalmazásával.

Az eljárás ma egészen az áramkörönként (tokonként) 24 kivezetőig minden szempontból megfelelő, még MOS típusú áramkörök esetén is, hacsak különleges mechanikai, hőtechnikai vagy elektromos követelmények nincsenek.

Az egy félvezetőre eső tokozás árát azonban rendkívüli módon befolyásolja a szerelőszalagot kivágó szerszám és a műanyag fröccsszerszám ára, melyek elkészítése különleges szakértelmet kíván.

Az eljárás ezenkívül jó kihozattal (80—90%) csak rendkívül homogén anyagellátás esetén kivitelezhető. Eszközönként 24 lábtól felfelé már a szerelőszalag kialakításánál problémák vannak, ugyanez

vonatkozik a fröccsöntésre is. Elegendő nagy darabszám esetén ma ez az eljárás a legegyszerűbb, legolcsóbb és minden szempontból legmegfelelőbb, de nem rendelkezik a másik két eljárás rugalmasságával, így csak 10^6 db/éves homogén gyártás esetén alkalmazhatók.

A fémkerámia szerkezetek a nagy darabszámú gyártás esetén kétségtelenül a legdrágábbak, bár műszakilag a legtöbb előnyt nyújtják. Ennek oka az előzőekben leírt sok technológiai lépés és a felhasznált, viszonylag költséges anyagok.

Alacsony kivezetésszám mellett [2–14], ezért csak rendkívül indokolt esetben alkalmazzák. (Erősáramú félvezető eszközök, rakétatechnika, repülőgépipar stb.)

16–24 kivezető esetén a műanyag tokozással akkor versenyképesek, ha az egy típusból tokozandó darabszám 10^2 – 10^5 -en db/év nagyságrendbe esik. Az egyik típusról a másikra való áttérés ugyanis nem igényel drága szerszámokat, csak néhány új szitanyomó sablont és kivágó szerszámokat.

Az eljárás legnagyobb előnye — a tokszerkezet rendkívül jó műszaki paraméterei mellett — hogy rendkívül flexibilis és a hártiatechnológia alkalmazása óta az egyik típusról a másikra való áttérés is rendkívül gyors. Így minden olyan helyen, ahol a hártiatechnológia a laminálás és a szitanyomás egyéb okok miatt, már kidolgozást nyert (pl. a HIKI-ben, REMIX-ben vagy a Kőbányai Porcelángyárban) bevezetése nem okoz problémát. A tokozással kapcsolatos rendkívül kis 1% alatti tokozási selejt miatt alkalmazása minden olyan esetben indokolt, ahol maga az áramkör a tokszerkezetnél jóval drágább, vagy ahol áramkörök kutatása, fejlesztése vagy kísérleti gyártása folyik.

24-nél több kivezető esetén ma még a fémkerámia tokozás az egyeduralgódó, mert a szerelőszalag fémkivezetőit szitanyomásos fémezéssel helyettesíti. Ily esetekben darabtól és ártól függetlenül mindenütt ezt alkalmazzák.

A fémkerámia tokozást 14–24 kivezetőig akár sítkok, akár egyszerű rétegtok, akár laminált rétegtok alakjában, 24 kivezető felett pedig kizárólag laminált rétegtok alakjában célszerű alkalmazni.

A HIKI Közleményben említett toktípusokkal kapcsolatban néhány éve intenzív kutató-fejlesztő munka folyik. Hibridáramkörök tokozására, valamint egyes félvezető eszközök tokozására, kisebb követelményeket kielégítő, lágyforrasztásos fém–kerámia tokokat fejlesztettünk ki [38]. Magasabb követelmények kielégítésére is kifejlesztettünk egy kemény forrasztású toktípust, nagybonyolultságú IC-áramkörök céljára. Ennek konstrukciós és technológiai problémáiról egy következő közleményben számolunk be.

5. Összefoglalás

Közleményünkben áttekintettük a félvezető eszközök tokozásánál használt fém-kerámia kivitelű tokszerkezetekkel kapcsolatos legfontosabb kérdéseket

az irodalmi adatok és a HIKI-ben szerzett tapasztalatok alapján. Ismertettük az alapvető konstrukciós típusokat, a felmerülő technológiai problémákat, a tokszerkezetek előnyeit és hátrányait, valamint a fém-kerámia tokozás jelenlegi helyzetét és perspektíváit, a fém–üveg és a műanyag tokozással összehasonlítva.

I R O D A L O M

- [1] D. L. Wilcox: Solid State Technology 1971. 2. pp. 55–60.
- [2] Hangos I.—Stankovics I.—Wollitzer Gy.: HIKI Helyzetfelmérő tanulmány (1974).
- [3] H. D. Kaiser—F. J. Pakulski—D. I. Schmechnebecher: Solid State Technology 1972. 5. sz. pp. 35–40.
- [4] B. R. Schat: Proc. Brit. Ceram. Soc. 1970. 18. sz. (febr.) pp. 281–293.
- [5] J. L. Párk: U. S. Patent 2,966,719 (1961).
- [6] M. Bennett—W. E. Bayd—J. C. Nobile: U. S. Patent 3,518,756 (1970).
- [7] Minnesota Mining Brit. Patent 1,189,853 (1970).
- [8] Minnesota Mining Brit. Patent 1,185,914 (1970).
- [9] R. E. Mistler: U. S. Patent 3,652,378 (1972).
- [10] R. E. Mistler: Ceram. Bull. 52. kötet 11. sz. pp. 850–854. (1973).
- [11] A. R. Rodriguez: U. S. Patent 3,546,776 (1970).
- [12] A. R. Rodriguez: U. S. Patent 3,004,197 (1961).
- [13] H. W. Stetson: U. S. Patent 3,189,978 (1965).
- [14] H. W. Stetson—W. J. Gyurk: Brit. Patent 1,217,042 (1970).
- [15] H. M. Pensack: U. S. Patent 3,520,054 (1970).
- [16] G. K. Sargeant: Brit. Patent 1,268,361 (1972).
- [17] G. P. Pantanelli: U. S. Patent 3,880,971 (1975).
- [18] R. A. Gardner: U. S. Patent 430,329 (1974).
- [19] I. J. Thompson: Ceram. Bull. 42. kötet 9. sz. (1963) pp. 480–481.
- [20] H. W. Stetson—W. J. Gyurk: U. S. Patent 3,698,923 (1972).
- [21] D. I. Shanefield—R. E. Mistler: Ceram. Bull. 53. kötet 5. sz. (1974) pp. 416–420.
- [22] R. E. Mistler—P. T. Morzenti—D. I. Shanefield: Ceram. Bull. 53. kötet 8. sz. (1974) pp. 564–568.
- [23] P. L. Gutshall—G. E. Gross: Ceramic Age 84. kötet 9. sz. (1968) pp. 22–24.
- [24] K. A. Kappes: Brit. Patent 1,186,570 (1970).
- [25] R. G. Capek—J. P. Elmhurst—J. P. Mazintos: U. S. Patent 3,549,415 (1970).
- [26] H. W. Stetson—W. J. Gyurk: Brit. Patent 1,217,042 (1968).
- [27] B. Schwartz—D. I. Wilcox: Ceramic Age (1967) 6. sz. pp. 40–44.
- [28] Hangos I.—Kenezler O.: Híradástechnika (1965) XVI. évf. 11. sz. pp. 335–340.
- [29] W. Espe: Vacuum 16. kötet 1. sz. pp. 1–8.
- [30] A. Takami: Jap. Patent 76,107,306 (1976).
- [31] A. Takami: Jap. Patent 76,120,951 (1976).
- [32] H. Akasaki: Jap. Patent 76,106,634 (1976).
- [33] H. Akasaki: Jap. Patent 76,106,635 (1976).
- [34] W. Espe: Vacuum 16. kötet 2. sz. (pp. 61–65).
- [35] Trueblood: U. S. Patent 3,862,850 (1975).
- [36] L. J. Weirick: Solid State Technology (1976) 6. sz. pp. 55–61.
- [37] W. H. Kohl: Vacuum Vol 14. pp. 333–354. (1964).
- [38] Menus I.—Walton G.—Wollitzer Gy.: Csoportos integrált vastagréteg-áramkörök I. HIKI jelentés (1974. jún. 15.); Csoportos integrált vastagréteg-áramkörök II. HIKI jelentés (1974. nov. 15.).