

Eredmények és feladatok a hibrid vastagréteg technikában

ETO 621.3.049.776.21

Általános áttekintés

A magyar elektronikai ipar előtt álló hosszú távú feladatok, elektronikai alkatrésziparunk jelenlegi helyzete, egyre fokozottabban előtérbe állítják az alkatrészipar megoldásra váró kérdéseit, a korszerű alkatrészek fejlesztésének és termelésének problémáit.

A IV. ötéves tervidőszakban elért eredmények, hosszú távú prognózisok sokoldalúan elemzett adatai azt mutatják, hogy a felvevő alapú integrált áramkörök és az elektromechanikai elemek mellett a szigetelő alapú integrált áramkörök vonatkozásában várható az igények legdinamikusabb fejlődése, és ennek megfelelően sűrűsödnek a megoldásra váró feladatok is. E termékcsoportnak, berendezésorientált és integrált jellegénél fogva közvetlen kihatása lesz a berendezések áramköri felépítésének korszerűségére, ezért az igényeknek nemcsak a minőségi és mennyiségi vonatkozása lesz fontos, hanem a funkció/egység száma is.

A szigetelő alapú vastag- és vékonyréteg áramköri technika magában hordozza egyrészt a további integrálás lehetőségét (többrétegű technikák), másrészt egyenes folytatásaként tekinthető a passzív RC elemek fejlődésének.

Biztosra vehető a felhasználás kiterjesztése az igen nagy frekvenciás tartományokra, továbbá a bővülő alkalmazási kört szolgáló technológiai eljárások dinamikus változása. Az áramkörök berendezésorientált jellege miatt igen fontos feladat lesz a berendezésgyártó és alkatrészipar közötti szoros, alkotó együttműködés biztosítása.

Ebben az alkatrészcsoporthban rendkívül hatékony kutatás-fejlesztésre és intenzív gyártásbevezetésre lesz szükség, ha lépést akarunk tartani a világ alkatrésziparában végbemenő fejlődéssel és ki akarjuk elégíteni a berendezésgyártó iparunk igényeit.

A szigetelő alapú integrált áramkörök termékcsoportjából a továbbiakban a vastagréteg áramkörökkel foglalkozunk részletesebben, de egyes esetekben utalunk a hibrid integrált áramkörök teljes technológiai választékára.

Az elmúlt évtized kutatási-fejlesztési eredményeinek alapján (az alaptermék beállítása 1969—70. években történt meg HIKI—REMIX együttműködés keretében, felhasználva a passzív alkatrészek több mint 40 éves hazai fejlesztéséből származó tapasztalatokat is), hazánk jelenleg saját kutató- és kísérleti gyártó bázissal rendelkezik a hibrid integrált technika minden lényeges változata területén.

Természetesen egy adott technológia, esetünkben a vastagréteg áramköri technológia nem önmagáért terjedt el, alkalmazását és elterjedését a felhasználhatóság és a gazdaságosság határozzák meg. Ma már

a vastagréteg áramköri technológiával előállított áramköröket, akár ellenálláshálózatról, akár hibrid kivitelről legyen szó, számítógépekben, műszerekben, erősítőkbén, híradástechnikai berendezések építőelemeiként, a gépjármű elektronikában, a szórakoztató elektronikában, a gyógyászatban, a rakétatechnikában, az űrhajózásban egyaránt felhasználják, s alkalmazási területeik száma egyre növekszik.

Bár a hibrid technika viszonylag rövid múltra tekint vissza, alkalmazása jelentősen elterjedt és a világ teljes elektronikai alkatrész-felhasználásában figyelemre méltó hányadot képvisel napjainkban is és a jövőben még inkább, ahogy azt a következő táblázat is mutatja:

Megnevezés	1965	1975	1985
A világ teljes elektronikai alkatrész-felhasználása (m\$)	9870	21 319	45 654
Ebből: hibrid IC (m\$)	388	953	2442
Részarány (%)	3,9	4,5	5,2

Megjegyzés: a táblázat az ELECTRONIC INDUSTRIES ASSOCIATION (EIA) egész világra vonatkozó, 1965—1975. évi tény- és prognózisadatainak felhasználásával készült (Washington, 1972. május).

Egyes források szerint:

- Az USA 1972. évi integrált áramköri forgalmában a hibrid áramkörök és integrált hálózatok értékben 18,7%-ot képviseltek.
- Nyugat-Európára vonatkozó becslések a hibrid áramköri termelés értékben kifejezett növekedését 1970—75 között évi 38%-ban adták meg, míg 1975—80 között évi 29% növekedést várnak.
- Japánban a hibrid áramkörök területén 1980-ra 1975-höz képest háromszoros növekedés várható, ami a hibrid áramkörök 16—18%-os részesedését eredményezi a teljes integrált áramköri forgalmon belül, az 1970. évi 8%-kal szemben.
- Az ISHM, az áramkörgyártókat és felhasználókat magába foglaló Nemzetközi Hibrid Mikroelektronikai Társaság 1977. évi közlése szerint az USA 1977. évi teljes hibrid integrált áramköri gyártása 1,2 mrd \$-t, a nyugat-európai gyártás mintegy 200 m\$-t tett ki és a növekedés tendenciája különösen az USA-ban számottevő. Ezen tekintélyes termelés túlnyomó többsége vastagréteg technikára épül.

Az előzőekből látható, hogy a hibrid áramkörök, s ezen belül a vastagréteg áramkörök iránti igény folyamatosan növekszik, és figyelembe véve az elekt-

ronikai ipar termékei iránt hosszú távon megnyilvánuló érdeklődést, ezek az igények szinte korlátlanok.

Melyek azok az előnyök, amelyek a szigetelő alapú integrált áramköröket és ezen belül a vastagréteg áramköröket a felhasználók részére vonzóvá teszik? Ezek a következőkben foglalhatók össze:

- Az áramkör egyedi igények alapján megtervezhető és paramétereiben maximálisan igazodhat a berendezés különleges követelményeihez.
- A mintapéldányok viszonylag gyorsan, átlag 3 hónap alatt elkészíthetők és a berendezés fejlesztésekor felmerülő igények, tapasztalatok alapján az áramkör módosítható.
- Kis sorzatú igény is biztosíthat gazdaságos gyártást.
- A szilárd hordozóanyaggal történő színterelés és a nemesfémek alkalmazása az áramkörök nagyfokú megbízhatóságát eredményezik.
- A vastagréteg hálózatba — a feladatnak megfelelően — tetszés szerinti aktív és passzív hibrid elem, illetve ezek kombinációja, valamint félvezető alapú integrált áramkörök is (tokozott vagy chip kivitelben) beültethetők.
- Nagy előnye ennek a technológiának egyéb technológiákkal szemben a különleges tisztasági követelményektől mentes additív előállítású folyamat.
- A diszkrét elemekből szerelt egységekhez képest csökkent a forrasztási helyek és egyéb csatlakozási pontok száma.
- A félvezető technikához képest a szükséges gépi beruházások viszonylag csekélyek, a berendezések a gyártási folyamatban sokszorosán és rugalmasan kihasználhatók.
- A folyamat automatizálása a teljességig fokozható. Egyes nemzetközi számvetések 9–3%-os bérköltséghányaddal számolnak.
- A kis térfogat és csekély súly miatt jelentős anyagmegtakarítás adódik, amely különösen a nemesfémek vonatkozásában figyelemreméltó.
- A technológiai folyamat során környezetszennyező anyag nem keletkezik.
- Az alkalmazott hordozó kerámiák jó elektromos tulajdonságai, az alkatrészek és vezetők geometriája, elrendezése kedvező, jól reprodukálható nagyfrekvenciás tulajdonságokat eredményez, amelyek 10 GHz feletti frekvenciatartományban is felhasználhatóvá teszik a vastagréteg technológiát.
- Ugyanazon geometriai méret mellett különböző nagyságrendbe tartozó ellenállásértékek valósíthatók meg, dekadikus fajlagos ellenállású paszta sorozatokkal.
- Azonos technológiával állítható elő vezetőszigetelő-ellenállás hálózatok rétegrendszerre, és ez biztosítja a csoportos integrálás lehetőségét, a nagyobb bonyolultságot, nagyobb megbízhatóságot.
- A jó minőségű szigetelőpaszták a több jelsíkos (multilayer), tehát három dimenziós hálózatok elkészítését is lehetővé teszik.
- A vastagréteg áramkörök hőleadása a jó hővezető képességű kerámiahordozók közvetítése útján egyszerűen biztosítható (kis hőellenállású tokkonstrukció).

— A vastagréteg áramköri elemek a rövid idejű túlterheléseket, hőlökéseket jól elviselik. A jó hővezető képességű hordozó ezen felül gátolja meleg pontok kialakulását.

A jelenlegi vastagréteg technológia az 1960-as évek technológiájától nem az alapvető eljárások tekintetében különbözik, hanem fejlettségi szintjében, minőségi mutatóiban, és alkalmazási területének jelentős kibővülésében változott meg. A korábbi R hálózatok mellett bonyolult hibrid áramkörök, sőt igen nagy áramköri bonyolultságot jelentő komplex hibrid áramkörök is egyre nagyobb számban készülnek.

A vastagréteg technológia rövid ismertetése

A szitanyomtatott vastagréteg hibrid áramkörök előállítását a következőkben megadott technológiai folyamatra alapján ismertetjük (1. ábra). A konkrét áramköröknél értelemszerűen több lépés is kimaradhat. (Az ismertetésben feltüntetett számok megegyeznek a technológiai folyamatára megfelelő számozással.)

Az áramkörök kifejlesztése (1) a hibrid integrált áramköri technikában szoros együttműködést kíván a technológusokkal, mert a rétegtechnikában a hagyományos alkatrészek tulajdonságaitól alapvetően eltérő áramköri elemválaszték és megvalósítás lehetséges, ill. gazdaságos.

A végleges kapcsolási rajz és áramköri követelményrendszer alapján készül a mesterrajz 10...20-szoros nagyítással, majd erről a mesterfotó (2) 10...20-szoros kicsinyítéssel. A mesterfotóról kontakt másolással készítik a szitamaszket, amit feszes szitaszövetre rögzítenek. A rétegek vastagsága és egyenletessége az alapanyagok minőségétől (hordozók, paszták), a szitanyomtató berendezés beállításától és a szita finomságától, valamint feszesességétől függ.

Az elkészített szitamaszkkal precíziós szitanyomtató berendezések egymás utáni lépésekben (4–9) nyomtatják a vezető, szigetelő és ellenálláspaszttakat (5) a megfelelően tisztított alumíniumoxid kerámia hordozóra (3).

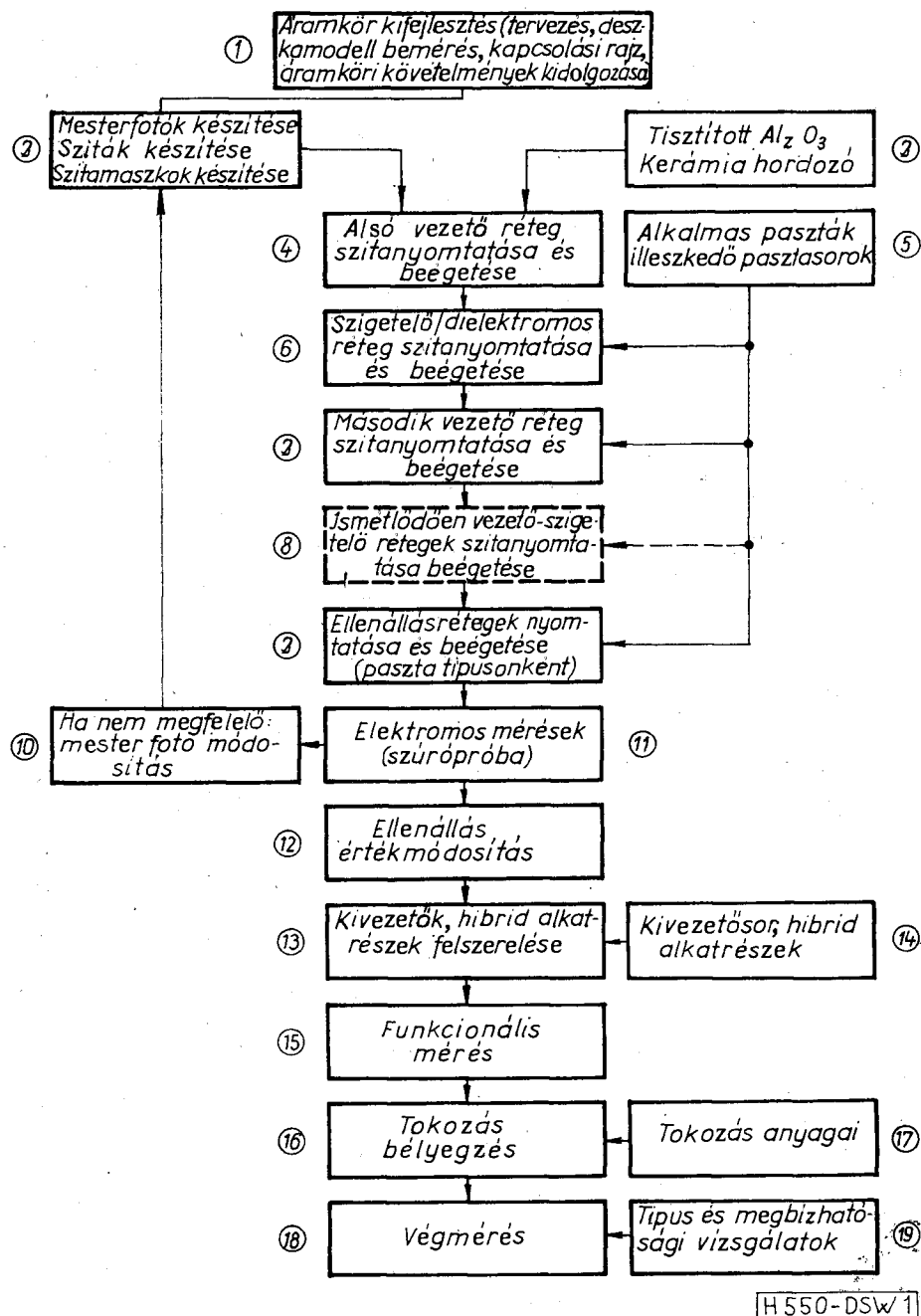
A vezető réteg biztosítja az áramköri elemek elektromos összeköttetését, a hibrid elemek szerelhetőségét, valamint az áramkörök kivezető lábsorának rögzítését.

A vezető rétegek legfontosabb jellemzője a tapadószilárdság és a vezetőképesség. Ha egy áramkörben szigetelt vezető kereszteződést vagy kapacitást kell megvalósítani, szigetelő/dielektromos rétegek szitanyomtatása válik szükségessé. A szigetelő/dielektromos rétegek legjelentősebb jellemzői a relatív dielektromos állandó és veszteségi tényező nagysága, szigetelési ellenállása és kompatibilitása a többi pasztával, ill. a technológia lépéseivel.

A többirétegű strukturák vezető-szigetelő-vezető rétegeit ismételt nyomtatással és beégetéssel lehet kialakítani (8).

Az ellenállásértékek nagyságrendjétől függően más és más típusú paszta alkalmazása szükséges a különböző ellenállások megvalósításához. Általában legfeljebb három különböző fajlagos ellenállású pasztát alkalmaznak egy-egy áramkör előállításánál.

A szitanyomtatott vastagréteg hibrid áramkörök technológiai folyamatábrája



1. ábra

Az ellenállások fontos jellemzője az ellenállásérték, tűrés, hőfoktényező és zajtényező.

A nyomtatott és égetett ellenálláshálózatokat az ellenállások mérésével ellenőrzik, szűrőpróbaszerűen, vagy kritikus hálózatoknál minden példányon (11). Amennyiben a mérési adatok szerint valamelyik paszta fajlagos ellenállása; esetleg egy különleges alakú vagy elhelyezkedésű ellenállás értéke eltér a tervezett értéktől, úgy a megfelelő mesterfotót módosítják (10) és új szitamaszkot készítenek.

Szűkebb — általában 5—10%-nál szigorúbb — tűrés igénye esetén a kívánt érték beállítása az ellenállások beégetése után homokfúvással vagy lézer-

sugárral történik (12). Az értékbeállítást (trimmelést) mérés és a hibrid alkatrészek, valamint a kivezetősor felszerelése követi (13, 14).

A funkcionális mérés (15) alapján megfelelőnek minősített áramkörök tokozásra (16, 17) kerülnek, majd a tokozás után minősítő végmérésen (18) esnek át. A szabvány előírásai szerint az egyes gyártott tételből statisztikai módszerekkel kiemelt áramkörök típus- és megbízhatóság vizsgálatra kerülnek (19).

A továbbiakban a vastagréteg technika jellegzetes alapanyagairól és területeiről adunk rövid értékelést, úgy mint:

- kerámiahordozók,
- vastagréteg paszták,
- értékbeállítási módok,
- tokozási módok,
- felhasználható hibrid alkatrészek.

Hordozók

A vastagréteg technikában legelterjedtebben alumíniumoxid (Al_2O_3) kerámiahordozó lapkákat alkalmaznak. Az ilyen típusú hordozó előnyei a következők:

- ismétlődő, hirtelen hőmérséklet-változásnak jól ellenáll, a vastagréteg technikában alkalmazott fém paszták 800–1000 °C körüli beégetési hőmérsékletén is formatartó;
- hővezető képessége kb. egy nagyságrenddel nagyobb az üvegnél, s így megfelelő hődisszipáció biztosítható;
- kompatibilis a vezetőpasztákkal, ill. a felvitt rétegekkel;
- nagy fajlagos felületi és térfogati ellenállása következtében az áramkör elemei közötti villamos átvezetést a minimálisra csökkenti;
- stabil és kedvező dielektromos sajátosságokkal rendelkezik;
- jól ellenáll a homokfúvásos értékbeállításnál fellépő igénybevételnek;
- gazdaságos, bár előállítási ára magasabb a hagyományos szilikát kerámiák vagy üvegek előállítási áránál.

A vastagréteg áramköri felhasználásra legalkalmasabb a 96% Al_2O_3 tartalmú lapka. Ennek oka a következőkben keresendő: a vastagréteg előállítási eljárás a kerámiában levő üvegfázis és a vastagréteg paszta anyagában üvegkomponense közötti kölcsönhatáson alapul. A kerámiában az üvegfázis — amely a szemcsenövekedést gátló adalékok és az alumíniumoxid kölcsönhatásakor keletkezik a szinterelés hőmérsékletén — biztosítja a „vastagrétegek” jó tapadását, ugyanis a vastagréteg paszták a beégetés alatt ehhez az üvegfázishoz kötnek. Tekintettel arra, hogy magasabb (pl. 99,5%) alumíniumoxid tartalom mellett nem alakul ki a hordozóban ilyen üveges fázis, az ilyen hordozóra a szitanyomással felvitt szokásos vastagréteg adhéziója gyenge. A tapasztalatok szerint adhézió szempontjából a legkedvezőbb a 96% Al_2O_3 tartalmú kerámiahordozó. 90% Al_2O_3 tartalom alatt a kerámiák gyakran mutatnak nem egyenletes adalékelosztást, ami a pasztaanyagokkal történő reakció alkalmával az ellenállásértékek nagy szórásához vezet.

A teljesség kedvéért megemlítjük, hogy újabban kifejlesztettek olyan — üvegkomponens nem tartalmazó — vastagréteg vezető pasztákat, melyeknél a réteg és a hordozó közötti kötés kémiai reakció útján jön létre. Ezek az ún. „frittmentes” paszták nagy tisztaságú alumíniumoxid-hordozók esetében is alkalmazhatók.

A 96%-os Al_2O_3 típusú kerámiák manapság leggyakrabban alkalmazott előállításakor finom szemcsés port hoznak létre, nedves vagy száraz közegű őrléssel. A szükséges adalékokat fémoxidok formájában juttatják az őrleménybe. Vastagréteg célokra

általában 3–6% SiO_2 -t adagolnak, az Al_2O_3 tisztasága 99,5–99,7%; az alkáli tartalom nem lehet több 0,2%-nál.

Ideiglenes kötőanyag felhasználásával történnek a ma legismertebb és leggyakoribb formázások, amelyek a következők:

- *Öntés.* Az egyik leghagyományosabb módszer. Lényege, hogy előzetes kivákuumozás után sík lapra vagy mozgó fóliára öntik a masszát, a vastagságot éles késsel történő lehúzással állítják be. A szárítás műveletét méretre vágás követi, 15% lineáris zsugorodást véve alapul.
- *Száraz sajtolás.* Az őrleményhez segédanyagot adagolnak, amelyből granulátum készül. A granulátumot 1000 kp/cm² nyomással formákba sajtoltják.
- *Kalanderezés vagy hengrelés.* Szerves segédanyag hozzáadásával teszik képlékennyé az Al_2O_3 -at. Az így kapott tézstaszerű masszát egy vagy több henger között fokozatosan a kívánt vastagságra nyújtják, majd az így kapott anyagot a kívánt méretekre vágják.
- *Extrudálás.* Szerves segédanyag hozzáadásával a plasztifikált masszát vákuum-extruder segítségével szalag alakban hozzák létre, amelyet szárítás után a kívánt méretekre darabolnak.

Az Al_2O_3 kerámiák felületi érdessége 0,3–2,0 μm között változhat, az alkalmazástól függően. Kevésbé igényes alkalmazáshoz megfelelő az 1,0–2,0 μm felületi érdesség is, ami egyszerű koptatással is elérhető. Ennél finomabb felület már csak csiszolással, polírozással valósítható meg, ami egyúttal jelentősen emeli az árat is.

A szaporítás utáni felületi érdesség függ a kiindulási alapon az utáni felületi érdességétől és az adalék mennyiségétől. Minél durvább a formázásra szánt alapanyag szemcsemérete, és minél több adalékot tartalmaz, annál érdesebb lesz a kész lapka felülete.

A felületi érdesség alacsonyan tartása mellett különös figyelmet kell fordítani arra, hogy a lapkák vastagságában helyi elvékonyodások, vagy kráterek ne forduljanak elő, mert ezeken a helyeken a felvitt pasztaréteg egyenetlen lesz, ami káros az áramkör kialakítása szempontjából. Ugyancsak károsak a „kidudorodás” okozta hibák is, mert előfordulhat pl. hogy ezeken a helyeken a vezetőréteg megszakad. Hasonló hibákat okozhat a lapka hullámossága is.

Már utaltunk arra, hogy a vastagréteg technikában a legelterjedtebben a 96%-os alumíniumoxid tartalmú hordozókat használják. A tapasztalatok szerint ez az összetétel biztosítja leginkább a ma elterjedt vezető és ellenállás paszták használatánál, kedvező árszinten, a jó tapadást, a megbízhatóságot és a reprodukálhatóságot.

Az áramkörgyártói tevékenység elősegítésére egyre több gyártó vállalat hoz forgalomba rovátkákkal osztott, nyomtatás után tördelhető lapkákat. Ezeket a rovátkákat valamilyen mechanikus módszer vagy lézersugár segítségével „írják be” a lapkába.

Az ismertetett vastagréteg kerámiahordozók méretei a nemzetközileg általános elterjedt inch méretsorhoz igazodnak, de speciális méretek is előfordulnak.

Külön kell hangsúlyozni, hogy az eredményes vastagréteg áramkör gyártás egyik alapfeltétele az alkalmazott kerámia minősége és mérettűrése, amely jelentős mértékben befolyásolja a sorozatgyártás kihozatali százalékát.

Különleges alkalmazásokhoz nátronüveg és berilliumoxid (BeO) hordozót is használnak. Ez utóbbinak rendkívül jó a hővezető képessége, ezért nagy teljesítményű áramköröknél igen jó tulajdonságú hordozóanyag lehet. Elterjedését azonban magas ára és a gyártáskor fellépő mérgező hatások korlátozzák.

Érdekes műszaki újdonságot jelentenek az üveg-mázzal bevont acélhordozók. Előnyei: olcsó, jó hővezető képességű, kellő mechanikai szilárdságú. Normál vagy alacsony hőmérsékletű pasztákkal való munkára alkalmas.

Vastagréteg paszták és kompatibilitásuk kérdései

A vastagréteg technika talán leglátványosabb fejlődése a különféle pasztaféleségek területére a legjellemzőbb. A nyomtatáshoz alkalmazott paszták főnyomra örlött fémből, főleg nemesfémekből és oxidjaikból állanak, kötőanyagként pedig üvegport, különböző tixotrop tulajdonságú anyagokat és szerves oldószereket tartalmaznak. A fémek és az adalékanyagok arányai meghatározzák a felhasználási területeket. Ezek lehetnek vezetőrétegek, szigetelők (dielektrikumok), induktivitások és ellenállások.

Nagy vezetőképességű vezető réteg eléréséhez aranyat, ezüstöt és nikkelt, platina /aranyat, palládium/ aranyat, palládium /ezüst/ aranyat, palládium /réz/ ezüstöt, nagy tartószilárdságú és jó forraszthatósági követelmények kielégítéséhez platina /ezüstöt és palládium/ ezüstöt alkalmaznak. Az arany különösen előnyös, ha huzalkötés alkalmazása is szükséges.

A vezetőpaszták terén újdonság a frittmentes paszta. Az ilyen pasztából előállított réteg — szerkezetében — közelebb áll a teljesen fémes réteghez. Az adhézióval kapcsolatban említett előnye mellett a réteg üvegmentessége kedvező a huzalkötés szempontjából, valamint jók a nagyfrekvenciás tulajdonságai. A frittmentes és az üvegekötésű paszták között állnak az új fejlesztésű ún. „kevert kötésű” vezetőpaszták.

A vastagréteg ellenálláspaszták fémek, fénoxidok (főleg ruthenium, irídium, tallium, palládium, indium és ezüstoxid), üvegszerű kötőanyagok és egyéb adalékok keverékéből állnak. A vastagréteg áramkör gyártók rendkívül széles választék közül válogathatnak.

A jelenlegi ellenálláspasztákkal elérhető értéktűrés jobb, mint $\pm 1\%$ 10 k Ω ...500 k Ω tartományban. A szélsőséges értékeknél a garantált tűrésmező nagyobb ($\pm 2\%$), míg 50 M Ω felett $\pm 5\%$ -ra nő a tűrésmező értéke. Az ellenállások hőfoktényezője a pasztatípustól és a fajlagos ellenállástól függően 500 k Ω alatt ± 250 ppm/ $^{\circ}$ C — ± 100 ppm/ $^{\circ}$ C között lehet, míg 500 k Ω fölött ± 250 ppm/ $^{\circ}$ C a jellemző érték.

E pasztákkal lehetőség van olyan teljesítményszintek elérésére, amelyeket néhány évvel ezelőtt csak a legjobb minőségű vékonyréteg ellenállásokkal sikerült megvalósítani. Ezenkívül a legújabb ellenálláspasztákból előállított ellenállások stabilitása

több ezer órás igénybevétel hatására is rendkívül kedvező.

Mindezek oda vezettek — megfelelő technológiai felkészültséggel párosulva —, hogy a korábban csak vékonyréteg technológiával előállítható, egyes különleges elektronikai építőelemek, mint pl. szűrőhálózatok, additív ellenállásmodulok stb. ma már vastagréteg hibrid hálózatokkal helyettesíthetők.

Nagy előnyt jelent a vastagréteg technológiában a szitanyomással könnyen felvihető szigetelőanyagok bevezetése. A szigetelőpaszták összetétele a vezetőpasztákhoz hasonló, azzal a különbséggel, hogy a fémkomponens elmarad, helyette az üveggel módosított vagy kerámia jellegű anyagokat használnak fel.

A szigetelőanyagokat felhasználják:

- ellenállások védelmére külső behatások ellen,
- szigetelőrétegek kialakítására egymás fölé nyomtatott vezetőrétegek között,
- dielektrikum kialakítására két vezető között kondenzátor készítésére.

Különösen meggyorsult a fejlődés az utóbbi területen. Korábban nyomtatott vastagréteg kondenzátorokat nem nagy mértékben alkalmaztak. A folyamatos fejlesztés azonban oda vezetett, hogy ma már elegendő nagy K-jú anyagok állnak rendelkezésre ahhoz, hogy gazdaságos méretű szubsztrátumok legyenek előállíthatók az elérni kívánt kapacitáshoz.

A gyártási folyamat során nagy figyelmet kell fordítani a különféle vezető-, ellenállás- és szigetelőanyagok, -rétegek kellő kompatibilitására. Különösen fontossá vált a kérdés a többretegű technológia egyre általánosabbá válása nyomán. A technológiai és áramköri célkitűzések elérése érdekében olyan vezető és szigetelő pasztarendszereket kellett kidolgozni, amelyeknél:

- a vezető pályák anyaga igen magas (700... 1000 $^{\circ}$ C) hőmérséklet hatására sem reagál a szigetelőréteg anyagával,
- nem lép fel jelentős, dielektrumba irányuló anyagdiffúzió,
- a vezető- és szigetelőréteg többszöri újrabeütés esetén sem lágyul meg annyira, hogy jelentős mértékű „úszási”, „leomlási” vagy „összezsúszási” jelenség léphessen fel,
- a rétegek elektromos tulajdonságai igen gyors működésű áramköri komplexumok megvalósulását is lehetővé teszik.

Az új paszták megjelenésével egy időben nagyarányú fejlesztői tevékenység folyik a nemesfémeknél olcsóbb, vagy legalábbis a piaci áringadozástól független alapfémek alkalmazási lehetőségeinek felderítésére. A ma használatos legtöbb vastagréteg paszta nemesfémeket tartalmaz: platinát, palládiumot, ezüstöt, amelyeknek ára az elmúlt években gyorsan emelkedett.

Az a gyártó, aki nem nemesfémből, pl. rézből, nikkelből vagy alumíniumból állít elő vezetőpasztát, előnyhöz juttatja a vastagréteg előállítókat. Ezen a területen igen tevékenyen dolgoznak és számos gyártó cég, ill. vegyi üzem tanulmányozza a kérdést.

Egyaránt foglalkoznak levegőn és semleges gázban égethető nem nemesfém alapú vezetőpaszták és

ezekkel kompatibilis teljes pasztarendszerek fejlesztésével, ami új távlatot nyithat a vastagréteg technika terjedésében.

Vastagréteg ellenállások értékre állítása

A vastagréteg ellenállások értékét az értékre állítás során csak növelni lehet (keresztmetszet-csökkentés, bemetszés útján). A vastagréteg technikában a két legelterjedtebb trimmelési módszer a homokfúvás és a lézersugár alkalmazása.

A homokfúvásos trimmelési eljárás lényege a nagy sebességű kerámia szemcsék koptató hatásán alapul. A koptató kerámiaport sűrített levegő viszi magával és gyorsítja fel. A szemcsék egyenletes adagolását, az egyenletes homoksugarat a száraz kerámiapor rezgetésével érik el.

A kívánt ellenállásérték kellő pontosságú beállítását a folyamatos ellenállásmérés és a folyamat automatikus beállítása biztosítja. A trimmelési pontosság a berendezésen beállított paraméterektől (levegőnyomás, előtolás, adagoló lyukátmérő) és a trimmelés módszerétől (vágás iránya és geometriája) függ. A szűk tűrésű ellenállások kétlépcsős sebességű beállítást igényelnek.

A homokfúvásos eljárásnál felnyitjuk az ellenállás saját védőüveg-réteget, de hőszokk nem éri a réteget — nem építünk be mechanikai feszültséget a rétegbe. A módszer hátránya viszont, hogy durva felbontású és nem tiszta művelet. A szóródó és a felületen elkerülhetetlenül visszamaradó kerámiaszemcsék finomabb rajzolatú vagy ellenállásérték-változásra képes rendszereknel zavart okozhatnak.

A lézersugaras trimmelési eljárás korszerű, mert termelékeny, tiszta, igen pontos értékre állítást és finom felbontású munkát tesz lehetővé. Az értékre állítás során a sugár mozgatása és a folyamat leállítása tehetlenségmentes.

A rétegek bevágását nagy energiasűrűségű lézersugár végzi a réteg elgőzöltetése útján. A lézersugár csekély átmérője miatt a vágat szélessége 10–20 μm , ami változatos trimmelési módokat tesz lehetővé.

Leggyakoribb módszerek:

- egyszeri keresztirányú vágás,
- többszöri keresztirányú vágás,
- L alakú vágás.

Az egyszeri keresztirányú vágásnál a trimmelési sebesség nagy és az ún. forró pont kialakulása szempontjából ez a legkritikusabb.

A többszöri keresztirányú vágásnál a trimmelési sebesség lépcsős és a forró pontok az ellenállás hossz tengelye mentén eloszlának.

A legjobbnak tartott „L” vágásnál a forró pontok vonal mentén helyezkednek el és a kétféle irányú vágás az értékre állítás alatti ellenállás-változás szempontjából két nagyon eltérő sebességű vágásnak felel meg.

A lézersugaras eljárás — mint már említettük — pontos és tiszta művelet, ezért aktív trimmelésre is kiválóan alkalmas.

A lézersugaras trimmelési eljárásnál a réteget igen nagy teljesítménysűrűségű lézersugár gőzölteti el,

tehát a vágat mentén nagymértékű helyi felmelegedés, hőszokk éri a réteget, ami az értékstabilitást jelentősen befolyásolhatja. A pasztagyártó cégek kifejlesztettek speciális, lézerrel trimmelhető pasztatípusokat is. Az ilyen pasztákból létrehozott ellenállásrétegek lézeres megmunkálásánál a beépülő mechanikai feszültség lényegesen kisebb.

A lézertrimmelhető ellenállásréteg lényege olyan üvegkomponens, amely a lézerimpulzusok hatására megolvad, bevonja a vágat oldalát és a hirtelen lehűléskor kevésbé lesz feszültségeltett.

Tokozás

A korszerű teljesítmény- és megbízhatósági szintek elérése érdekében mind az aktív, mind a passzív elemek mechanikai és klimatikus behatások elleni védelmet — tehát burkolatot — igényelnek. Manapság rendkívül sok, egymástól eltérő tokozási forma létezik, ami egyelőre nem teszi lehetővé kevés számú, szabványosított kivitel alkalmazását.

A hibrid áramköröknél a nyomtatott hálózat, az arra szerelt különböző „hibrid” elemek mechanikai és klimatikus behatásokkal szembeni érzékenysége rendkívül eltérő. A szükséges védelmet a beépített alkatrészek, az alkalmazásból adódó követelmény és a megengedhető árszint együttesen határozzák meg.

Enyhébb követelmények esetén elegendő lehet a mártással vagy fluidizációs eljárással felvitt műgyanta burkolat. A műgyanta bevonatú áramkörök általában egysoros huzal- vagy szalagkivezetővel készülnek, álló kivitelben.

Igényesebb alkalmazásokhoz a hibrid integrált áramkört fém- vagy műanyag tokba helyezjük és a tokot epoxigyantával töltjük ki. Ezen kiviteli formánál álló és fekvő modul egyaránt használatos egy- vagy kétsoros szalag, vagy ritkábban huzalkivezetővel.

Professzionális jellegű felhasználásoknál mutakozó igények kielégítése forrasztással vagy hegesztéssel lezárt fémházas, illetve kerámia hermetikus tokozással oldható meg. A hermetikus tokok szinte kizárólag fekvő elrendezésűek. A kivezetések — amelyek lehetnek csapok vagy szalagkivezetők — két sorban helyezkednek el.

Az említett kiviteli változatok teljesítik azokat a követelményeket, amelyeket általában a vastagréteg hibrid áramköri elemekkel szemben támasztanak, nevezetesen: kis méret, az áramkör szerelés előtti mérésének lehetősége, a félvezető integrált áramkörökkel kompatibilis alak, kivitel és szerelhetőség.

A teljesség kedvéért megemlítyük, hogy nagyberendezésekben, elsősorban ott, ahol a szerelési kultúra ezt megengedi, burkolatlan vastagréteg áramköröket és hálózatokat is alkalmaznak, kihasználva azt az előnyt, hogy a vastagréteg rendszerek — amennyiben szerelés során durva mechanikai behatások nem érik — normál klímafeltételek között stabilak. A burkolatlan hálózatok, különösen vállalaton belüli felhasználásnál olcsóbbak, méretre kedvezőek. Ennél a kiviteli megoldásnál a rétegelőállításokat, vagy a hálózat egy részét vékony, nyomtatott üveg vagy műanyag réteggel takarják.

A vastagréteg áramkörök diszkrét alkatrészei

A hibrid integrált technikáknál — vastagréteg eljárásnál szitanyomás és égetés, vékonyréteg eljárásnál vákuumgőzölés vagy porlasztás útján — az ellenállások, a vezető hálózat, a kontaktusfelületek és ritkábban egyes kondenzátorok, induktivitások készülnek a szigetelő hordozón. Minden egyéb szükséges elektronikai alkatrész a kivezetésekkel együtt szerelési műveletek során kerül az integrált réteg elemekkel borított hordozóra. Ezek a kézi vagy termelékeny, gépi szereléssel beültetett diszkrét alkatrészek — félvezető integrált áramkörök, tranzisztorok, diódák, kondenzátorok — elvben a ma használatos teljes diszkrét alkatrészválasztékból tetszés szerint választhatók. A valóban használatos alkatrészválasztékot gyakorlati tényezők határozzák meg; így elsősorban az alkalmazott szerelési-tokozási rendszer, majd a megengedhető külméret, alak, súly, egyes esetekben a hibrid áramkörrel szemben támasztott esztétikai követelmények, választék és készletezési problémák és nem utolsósorban árszempontok.

A szerelési technológia két szempontból befolyásolja döntő mértékben a beépíthető diszkrét elemek, az ún. hibrid elemek választékát. Az első szempont a szerelési művelet jellege, ami lehet forrasztás vagy a félvezető technikából ismert huzalos kötés. A második szempont, hogy ez a művelet kézi úton, egyedi beültetéssel, vagy gépi úton tömegszerűen kerül kivitelezésre.

A tokozási rendszer befolyása a hibrid elem választékra a már ismertetett három tokváltozathoz kapcsolódik. Az egyszerű műgyanta burkolat, a műgyantával kiöntött tok, vagy a hermetikus tok lehet meghatározó kiviteli forma.

Kézi szerelés, forrasztás esetén az alkalmazható diszkrét elemek választéka az egyszerű műgyanta burkolattal készülő, nem tokozott kivitelű hibrid áramköröknél a legkevésbé kötött, ez — mint említettük, egyben a legolcsóbb és legrégebbi kiviteli változat. Ennél a szerelési-tokozási megoldásnál minden diszkrét elem megengedett, döntő követelmény az alacsony ár, ezen felül szinte csak külső, esztétikai szempontok korlátoznak. Használatos hibrid elemek a diszkrét és integrált félvezető eszközök, valamint kerámia, tantál és esetenként — a műgyanta burkolási műveletet elviselő — műanyag fólia dielektrikumú kondenzátorok.

Bizonyos mértékben szűkíteni kell ezt a teljesen kötetlen választékot kézi szerelés esetén is a műgyanta kiöntésű tokozott hibrid áramköri kivitelnél. Ez esetben a korlátozó tényező elsősorban a diszkrét elem alakja, külmérete, hiszen a tokban a rendelkezésre álló hely már korlátozott. Egyetlen nagyméretű, elsősorban nagy magassági méretű diszkrét elem tekintélyes mértékben növeli a hibridáramkör ösztérőfogatát. Itt általánosan használhatók a speciálisan rétegtechnikai felhasználásra tervezett diszkrét elemek, elsősorban azok a szubminiatur transzisztorok, diódák és integrált áramkörök, melyek közvetlenül sík lapra forraszthatók. Ezek „Micro E”, SOT, ill. SO típuszámon váltak közismertté. A kerámia kondenzátorok közül huzalkivezetős szubminiatur és az ún. chipkondenzátorok használatosak. Utóbbiak féme-

zett homloklapfelületű, többrétegű kondenzátorok huzalkivezető és burkolat nélkül. Általánosan alkalmazzák a kisméretű csepp, vagy fémházas tantál kondenzátorokat.

Lényegesen szűkebb a megengedhető hibridelemválaszték abban az esetben, ha a szerelési műveletet részben, vagy egészben gépi úton végzik. A szerelési művelet ma költségkihatás szempontjából a hibridáramkör-gyártás egyik kritikus művelete, és egyedi, kézi jellegénél fogva, emberi tényező miatt a megbízhatóságot is döntően befolyásolja. Érthető ezért, hogy általános törekvés, hogy ezt a műveletet, vagy ennek egy részét gépi úton oldják meg.

A gépesítés, vagy később az automatizálás a diszkrét elemeknek az integrált hálózatba való pozícionált beragasztását és ezt követően a forrasztott kötések létrehozását célozza. Mind a két részművelet gépesítése csak erre a célra alkalmas hibrid elemekkel oldható meg. Meghatározó tényező, hogy ezen diszkrét alkatrészek kivezetőinek csatlakozó felületei egy síkba essenek, a csatlakozó felületek forraszthatók legyenek és gépi forrasztáshoz megfelelő a csatlakozási felületeken előmozdított állapotban legyenek beszerezhetőek. Gépi szerelésre ma elsősorban a már említett „Micro E” kivitelű félvezető eszközök és a kerámia, ill. csillám chipkondenzátorok jönnek számításba. A gépi beültetésre való alkalmasság eredményezte azt, hogy a félvezető gyárak mind nagyobb félvezető-eszköz-választékot hoznak ilyen kivitelben forgalomba és a növekvő sorozatnagyság egyben azt eredményezi, hogy ezek ára erősen csökkenő tendenciát mutat. Ma már ezeknek a speciális félvezető eszközöknek az ára alig magasabb, mint a megfelelő normál tokozott változat.

Természetesen több mikrotokozott és forrasztható félvezető konstrukció jelent és jelenik meg a piacon az említetten kívül, melyek azonban nem terjedtek el ilyen erős mértékben és gyártásuk egy idő után megszűnik, vagy a viszonylag kis sorozat miatt csak magasabb árszinten és lényegesen kisebb választékban szerezhető be. Megemlítenénk a kerámia zsámlós, ún. LID kivitelű félvezetőket, vagy a Texas cég SATAN eszközeit. Komoly érdeklődést keltő, új kivitelű eszköz viszont a hajlékony fóliára szerelt forrasztható félvezető integrált áramkör.

Elsősorban az automata szerelés, ill. forrasztás érdekében kifejlesztett chip kivitelű tantál kondenzátorok szélesebb körű felhasználását magas áruk korlátozza.

A teljesség kedvéért itt említjük meg, hogy hibrid elemként hibrid integrált áramkörbe beépíthetőek rétegtechnikával készített elemek, ill. elemkombinációk is valamely műszaki, vagy gazdasági előny érdekében. Így például vastagréteg áramkörbe beépíthetőek vékonyréteg sík ellenállások, vagy ellenálláskombinációk, ha a tervezett áramkörben csak egy-egy ellenállás igényel vékonyréteg paramétereket. Ennek ellentétjeként vékonyréteg integrált hálózatba chip elemként beültethető vastagréteg technikával készült ellenállás, ha egy pozícióban különlegesen nagy ellenállásérték szükséges, vagy nagy a disszipáció. Ugyanígy gyakori és hazai megoldásoknál előszeretettel alkalmazzuk a vékony- és vastagréteg technika kombinációját egy hibrid integrált áramköri

tokon belül. A két rétegtechnika együttes alkalmazása ellenállás vonatkozásban különösen nehéz feladat megoldását is lehetővé teszi.

Ma a hibrid integrált áramköri technikában az említett szerelési, tokozási változatok az uralkodók világszerte. A hazai megoldásoknál ezen belül elsősorban a tokozott változat terjedt el az egyszerű műgyanta burkolattal szemben. Lényegesen kisebb mennyiségben alkalmazzák a hermetikusan tokozott hibrid integrált áramköri kivitelűt. Az ISHM hívatkozott információja szerint a hermetikusan tokozott áramkörök részaránya a teljes hibrid integrált áramköri gyártásban 5%-nál kevesebb a hermetikusan tokozott eszközök magas egységárát figyelembe véve, a darabszám szerinti arány tehát ennél is alacsonyabb.

A hermetikusan tokozott hibrid integrált áramkörök szinte kizárólag tokozatlan chip félvezető eszközre épülnek és a szerelésükönél alkalmazott technológia huzalos kötés. Egy tokon belül kerülni kell a forrasztott és a huzalos kötés kombinációját, tehát az alkalmazható hibrid elem választéka erősen korlátozott. Ennél a megoldásnál azonban a cél is más; a megvalósítandó áramkör általában többretegű hálózatra épülő multichip rendszer.

Az elmúlt évek során más felépítésű rendszerek is elterjedtek, de egyes nagy vállalatoktól eltekintve, nem arattak átütő sikert. Ezek a közbenső rendszerek olyan speciális félvezető eszközre épültek, melyek méretben a chip kivitelhez állnak közel, mégis tokozottnak tekinthetők, kivezetővel rendelkeznek és így egyedi mérésük az eszközök beszerelése előtt megoldható. Ilyen félvezetőeszköz-konstrukció a beam-lead, és a flip-chip. Lényeges hátrányuk az előbb említett előnyök mellett, hogy beültetésük speciális berendezéseket kíván, viszonylag magas áron, általában korlátozott választékban, rendkívül korlátozott számú forrásból szerezhető be.

A szerelési-tokozási rendszereket és a diszkrét választékot összefoglalva megállapítható, hogy a ma technikája a műanyaggal tokozott, vagy műgyanta burkolatú hibrid integrált áramköröket és a gépi szerelést helyezi előtérbe, tehát hibrid elemként az erre a célra tervezett speciális szubminiatűr félvezető eszközöket, kerámia és tantál chip kondenzátorokat alkalmazza. A jövő útja ezzel szemben a multichip eszközök felé mutat.

A jelenlegi hazai helyzet

A magyar népgazdaság 1975. december 18-án törvényerőre emelt ötödik ötéves tervében foglaltak szerint az elektronikai alkatrészek termelését a tervidőszak során 120–130%-kal kell növelni. A tervtörvény nem részletezi, de alkatrésziparunk helyzetéből adódik, hogy egyes területeken, elsősorban a legkorszerűbb műszaki színvonalat képviselő alkatrészeknél ennél is nagyobb növekedéssel kell számolni. A vastagréteg áramkörök területe pedig éppen ebbe a kategóriába tartozik.

Ismeretes, hogy a IV. ötéves terv során — az adottságokhoz és lehetőségekhez képest — magas színvonalú kutatást, fejlesztést végeztünk a különféle hibridtechnológiák, s ezen belül a vastagréteg

hibrid áramkörök, ellenálláshálózatok kidolgozása érdekében.

A REMIX és a HIKI a IV. ötéves tervidőszakban elért eredményeire támaszkodva folytatja és szélesíti közös tevékenységét az V. ötéves tervidőszakban is. Ennek egyik láncszeme az a két és fél éves közös program, amelynek célja a gyártás gazdaságosságának növelése, valamint a kutatási, fejlesztési eredmények tömeggyártásban történő hasznosítása.

A hibrid áramkörök elterjesztése, a kellő piaci kereslet kialakítása világszerte, így hazánkban is bizonyos türelmi időt, a felhasználói kedv növeléséhez szükséges propagandatevékenységet igényel, hasonlóan minden új termékhez. Ennek oka részben az lehet, hogy a felhasználók nem ismerik kellő mélységben a hibrid technológiai lehetőségeket, részben a diszkrét alkatrészekkel történő tervezéshez kialakult szemléletet kívánják átültetni a hibrid kapcsolások megtervezéséhez. Az így kidolgozott kapcsolásokat — egy-két egészen egyszerű megoldástól eltekintve — minden esetben teljesen át kell dolgozni. Mindezekhez hozzá lehet tenni, hogy a fejlesztendő áramkör többé-kevésbé hagyományos berendezésben került felhasználásra, tehát nem gyökeresen új termék keletkezik, hanem egy már kialakult rendszer bizonyos fokú korrekciója.

Nyilvánvaló, hogy egy új rendszertechnikai megoldás kidolgozása, amely lényegesen új terméket eredményez, költségigényesebb és nagyobb kockázattal is jár. Érthető, hogy a berendezésgyártók a gazdasági szabályozók adta lehetőségeken belül igyekeznek minél kisebb kockázatot vállalni. De éppen az új ötéves terv elvárásai olyanok — pl. tőkés export fokozása —, amelyek megkövetelik, hogy a gyártandó berendezések rendszertechnikája korszerű alkatrészkészletre épüljön. Ennek kialakításához viszont elengedhetetlenül szükséges a technológiai szakemberek és a rendszerfejlesztők korábbiaknál szervezettebb, magasabb fokú együttműködése. Egy ilyen együttműködés keretében a hibrid áramköröket megvalósító szakembereket már a berendezésfejlesztés első fázisában be kell kapcsolni a tervezői munkába, s részt kell venniük a rendszer kidolgozásában is.

Felismerve a felhasználók és áramkör-előállítók ezen szoros együttműködésének jelentőségét, az OMFb támogatásával létrejött a Híradástechnikai Ipari Kutató Intézetben a Hibridáramköri Alkalmazástechnikai Szolgálat, melynek feladata a hibrid áramkörök hazai felhasználásának elősegítése, a műszaki és gazdasági szempontból egyaránt előnyös alkalmazási lehetőségek felkutatása. A Szolgálat lehetővé teszi már a berendezések fejlesztési szakaszában a személyes kapcsolatok kialakulását a berendezésgyártó vállalat szakemberei és a HIKI áramkör-tervezői között. A hibrid integrált áramköri alkalmazástechnikai munkában jártas szakemberek a berendezésfejlesztők és az alkatrész-technológusok közötti interface szerepét töltik be.

A hibridtechnika fő feladata, hogy célorientált, tehát az egyes berendezésekhez egyedien kifejlesztett áramköröket állítson elő. Ilyen módon az alkatrészintegráció lehetőségét biztosítja ott, ahol ez a meglévő félvezető integrált áramkörökkel nem old-

ható meg műszaki vagy gazdasági okból. Külföldi adatok igazolják, hogy az ilyen — felhasználói igény alapján tervezett — áramkörök a teljes hibrid áramköri felhasználásnak több mint 70%-át teszik ki.

Emellett azonban néhány különleges területen lehetőség van katalógus típusok kifejlesztésére és gyártására hibrid kivitelben.

A legfontosabb általános felhasználású áramkörök közül kiemelnénk az aktív RC szűrőket, nagyfrekvenciás széles sávú erősítőket (5—860 MHz-es frekvenciatartományban), nagyfrekvenciás osztott paraméterű csillapítókat, D/A, A/D konvertereket, logaritmikus erősítőket, feszültség-frekvencia és frekvencia-feszültség konvertereket.

Pozitív tendenciaként kell értékeljük azt a tényt, hogy ma már az ország legjelentősebb elektronikus berendezésgyártói akár „custom design”, akár katalógus áramkörök felhasználása révén kapcsolatban állnak a hibridtechnikával, ami volumenét tekintve 1976-ban félmillió darabszámú hibrid áramköri felhasználással jellemezhető.

A gyártás volumene egyre gyorsabban növekvő tendenciát mutat — mind többféle hibrid áramkört alkalmaznak és áramkörtípusonként is növekszik a gyártott darabszám.

Összefoglalás

Az előzőekben megkíséreltük röviden áttekinteni a vastagréteg hibrid technika jellegzetességeit, az előtte

álló lehetőségeket. Látható, hogy ez a terület egyre jelentősebb súlyt képvisel a teljes elektronikai alkatrész-felhasználásban és egyre korszerűbb módon történik az áramkörök előállítása.

Hazánkban nagy lehetőségek állnak a hibrid vastagréteg áramkörök előtt. A meglévő kísérleti gyártó bázis révén is rendkívül flexibilis, magas műszaki színvonalat képviselő termékek állhatnak a berendezésgyártók rendelkezésére.

Ezek fokozottabb felhasználása érdekében a jelenleginél szorosabb és hatékonyabb kapcsolat kialakítása folyamatban van a felhasználók és gyártók között, ily módon is elősegítve az V. ötéves tervidőszakban az elektronikai ipar előtt álló feladatok teljesítését.

IRODALOM

- [1] W. Funk: Dickschichttechnologie Philips Technische Rundschau 35. 156—162. 1975/76. Nr. 5.
- [2] Peter Kirby Thick film advances simplify complex hibrid module design. Electronic Engineering. Vol. 48 No. 577. 35—38. March 1976.
- [3] Jerry Lyman: Advances in materials, components, processes, ensure hibrid prosperity in the LSI age. Electronics July 22. 1976. 92—109.
- [4] Proceedings of the European Hybrid Microelectronic Conference. Bad Homburg. 1977. XXVIII. előadás: G. C. Waite: Economic progress of thich film hybrids in the USA.