

Hordozóanyagok és fémrétegszerkezetek mikrohullámú vékonyréteg-integrált áramköri célokra

VÉRTESEY MIKLÓS-
DUCZA ISTVÁN
Távközlési Kutatóintézet

Az elmúlt évtizedben az elektronikai ipar ugrásszerű fejlődését az integrált áramkörök tették lehetővé, mindenképpen az elektronikai termékek megbízhatóságának nagyságrendekkel történő megnövekedése, a geometriai méretek és teljesítményigények jelentős csökkenése, valamint az olcsó tömeggyártásra való alkalmasságuk miatt. Ebben a folyamatban a monolit technológia játszott a főszerepet.

A monolit technológia mellett számos területen széleskörűen alkalmazható a vele egyenrangú, azt kiegészítő, sok esetben azt túlhaladó hibrid integrált technológia, mely elsősorban berendezésorientált, viszonylag kisebb darabszámban igényelt, speciális, egyedi feladatokat ellátó áramkörök előállítására alkalmas. A hibrid eljárás tipikus területei az analóg, a nagyszintű és a nagyfrekvenciás áramkörök.

Mikrohullámú integrált áramkörök megvalósítására legáltalánosabban a vékonyréteg technika alkalmas, amely biztosítani tudja a viszonylag kis csillapítást, valamint a finom vezető- és ellenálláshálózat kialakítását is. Hangsúlyozni kell azonban, hogy a vékonyréteg technológia nem egyedüli megvalósítási lehetőség, bizonyos esetekben ugyanolyan jól vagy jobban alkalmazható a vastagréteg vagy a nyomtatott huzalozású (pl. duroid) technológia is. Újabban olyan törekvések is látszanak, hogy az áramkörök kialakításánál kombinálva használjanak vékony- és vastagréteg technikát (pl. a mikroszalag tápvonalak vékony-, az ellenállások pedig vastagréteges megvalósításban készüljenek [1]).

A hagyományos, kisfrekvenciás integrált áramkörökhez viszonyítva a mikrohullámú eszközök sok szempontból különböznek. A hordozó, valamint a fémrétegek megválasztásánál figyelembe kell venni a mikrohullámú sajátosságokat, elsősorban a hordozó veszteségét, dielektromos állandóját és felületi simaságát, valamint a fémrétegek fajlagos ellenállását és vastagságát. Külön meg kell említeni a viszonylag vastag (5–12 μm) fémréteg szükségességét. A kis veszteségek megvalósítása miatt a vezető fémréteg vastagságának ugyanis meg kell haladnia a skinméllység 3–5-szörösét [2] (2 GHz frekvencián a skinméllység értéke jól vezető fémeknél pl. Cu, Au, Ag

1,5 μm , a kerámiához jól tapadó, de rosszul vezető rétegeknél pl. Ta, Ti, Cr pedig 4–8 μm [3, 4]). A skinméllység a frekvencia növelésével csökken. Mikrohullámú áramkörök tervezésénél tekintettel kell lenni arra is, hogy a legerjedtebben alkalmazott mikroszalag tápvonalas elrendezésben az energiatérjedés túlnyomórészt a dielektrikumban történik. Ha két szalagvezető közel kerül egymáshoz, nemkívánatos csatolások léphetnek fel, ezért nem lehet tetszőleges közelségben elhelyezni a vezető és az ellenállás elemeket.

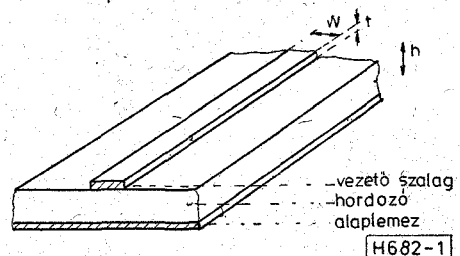
Ezek a különleges mikrohullámú specifikációk a hordozóval, valamint a vezető és az ellenállásrétegek fémezésével szemben (a kisfrekvenciás áramkörökkel összehasonlítva) speciális követelményeket támasztanak. Ezeket a követelményeket tárgyaljuk a következő fejezetekben.

Mikrohullámú vékonyréteg áramkörök hordozóanyagai

A mikrohullámú integrált áramkörök kialakításánál a hordozó (szubsztrátum) kettős szerepet tölt be. Egyrészt mint az áramkör mechanikus értelemben vett hordozója, másrészt mint a két vezető réteg közötti dielektrikum, amelyben az energiatérjedés történik.

A hordozó anyaga és különböző tulajdonságai nagymértékben befolyásolják a mikroszalag áramkörök egyik leglényegesebb paraméterét, a jósági, ill. a veszteségi tényező értékét.

A mikroszalag tápvonalas áramkörök (tipikus elrendezés az 1. ábrán látható) jósági tényezője (Q)



1. ábra. Mikroszalag tápvonal sematikus képe

Beérkezett: 1979. VII. 10.

a vezető rétegtől (Q_V) és a dielektrikumtól függő (Q_D) jósági tényezőből tevődik össze [5]:

$$\frac{1}{Q} = \frac{1}{Q_V} + \frac{1}{Q_D}, \quad (1)$$

melyekre a következő összefüggések írhatók fel:

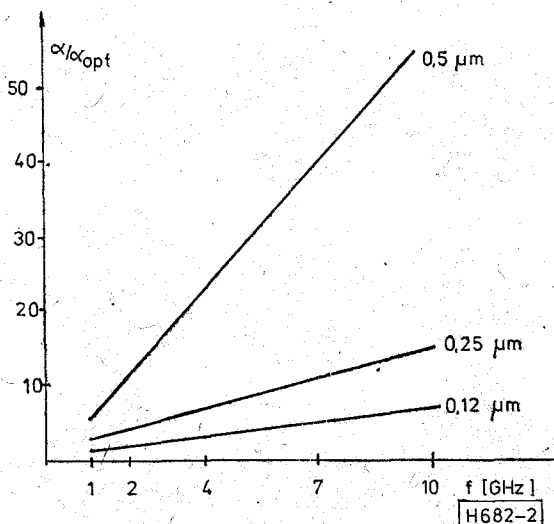
$$Q_V \approx h\sqrt{f} \sqrt{\sigma_V} \quad (2)$$

$$Q_D \sim f \epsilon_h \epsilon_r, \quad (3)$$

ahol h a hordozó vastagsága, f a frekvencia, σ_V a fémréteg vezetőképessége, ϵ_h a hordozó fajlagos ellenállása, ϵ_r pedig a hordozó relatív dielektromos állandója.

A (2) kifejezésben a fentiekén kívül figyelembe kell venni, hogy a vezető szalag jósági tényezője a fémréteg vezetőképességén kívül a szubsztrátanyag felületi érdességétől is függ [2]. Az érdesség négyzetes középértéke polírozott kerámiánál $0,02 \mu\text{m}$ -t is elérhet, míg egyszerű égetett („as fired”) kerámiánál ez csak $0,25 \mu\text{m}$ (mikrohullámú alkalmazás esetén ez a megengedhető érdesség felső határa).

Égetett kerámián kialakított mikrohullámú vezetőszalag veszteségének növekedése az optikai felületi minőséghez képest néhány GHz-es frekvencián még csekély (lásd 2. ábrát). A csillapítás növekedése miatt



2. ábra. A felületi érdesség hatása a mikroszalag tápvonal veszteségének nagyságára (optikailag sima felülethez viszonyítva)

mikrohullámú célokra csak finom felületű (a megengedhető felületi érdesség értéke a frekvencia függvénye) kerámia alkalmas. Mivel a kereskedelmi forgalomban kapható Al_2O_3 kerámia ára erősen függ a felületi minőségtől (pl. a $0,25 \mu\text{m}$ és $0,025 \mu\text{m}$ felületi érdességű kerámiák árának aránya 1:30–50), célszerű mindig gondosan mérlegelni, hogy adott célra milyen felületi minőség szükséges.

A mikrohullámú integrált áramkörök egyik legjellemzőbb elektromos paramétere a hullámellenállás, amely a következő (egyszerűsített) formulával fejezhető ki:

$$\sqrt{\epsilon_{\text{eff}}} \cdot Z_0 = 60 \ln \left(\frac{8h}{w} + \frac{w}{4h} \right) \text{ ohm}, \quad \frac{w}{h} \leq 1,$$

$$\sqrt{\epsilon_{\text{eff}}} \cdot Z_0 = \frac{120\pi}{\frac{w}{h} + 2,42 - 0,44 \frac{h}{w} + \left(1 - \frac{h}{w}\right)^6} \text{ ohm}, \quad \frac{w}{h} > 1, \quad (4)$$

ahol ϵ_{eff} az ún. effektív dielektromos állandó (mely a relatív dielektromos állandó és a w/h hányados függvénye), w pedig a mikroszalag vonal szélessége. A hullámellenállás tehát a vezetőréteg szélesség és a hordozó vastagság hányadosának a függvénye. Mivel gyakorlati esetekben a hullámellenállás értéke általában 20–100 ohm között van, ez megkötést jelent a w/h hányados értékére vonatkozóan.

Az előzőek alapján a mikrohullámú vékonyréteg eszközök hordozóival szemben támasztott követelmények az alábbiakban foglalhatók össze [2, 3, 6, 7, 8]:

- vastagságértéke tegye lehetővé a mikroszalag tápvonalak szélességértékeinek figyelembevételével a szükséges hullámimpedancia megvalósítását (a kereskedelmi forgalomban levő hordozók vastagsága általában $0,635 \text{ mm}$),
- dielektromos állandója legyen nagy, valamint a hő- és frekvenciaváltozásoktól független,
- dielektromos vesztesége legyen kicsi,
- felületi érdessége legyen kicsi ($\leq 0,25 \mu\text{m}$), a gazdaságossági szempontokat is figyelembe véve,
- hosszmeretének toleranciája legyen minimális, az egységes árnyékoló dobozmechanika kialakíthatósága érdekében,
- hővezető képessége legyen nagy értékű, mivel a hordozón elhelyezendő elemek által termelt hőmennyiséget el kell vezetnie,
- hőtágulási tényezője lehetőleg legyen a rajta levő rétegek hőtágulásával megegyező vagy ahhoz közel álló, a káros mechanikai feszültségek elkerülése érdekében,
- legyen a vegyszereknek ellenálló, miután pl. az áramkör-előállítás egyik fontos lépése a maratás,
- legyen könnyen megmunkálható, darabolható, fűrható,
- mechanikai szilárdsága legyen megfelelő, ne deformálódjon.

Az 1. táblázatban láthatók a különböző hordozó anyagoknak a mikrohullámú integrált áramkörök előállítására szempontjából legfontosabbnak tartott tulajdonságai [7, 8].

Az üveg és a kvarc relatív dielektromos állandója kicsi, de felületük igen jó minőségű. Hátrányként jelentkezik az üveg nagy veszteségi tényezője, valamint a kvarc nagyon kicsi hővezető képessége és magas ára. Az üveget egyáltalán nem, a kvarcot pedig csak ritkán használják fel mikrohullámú áramkör előállítására, elsősorban nagyobb frekvenciák esetén.

A zafír dielektromos tulajdonságai, hővezető képessége, felületi minősége igen kiváló, azonban viszonylag drága.

A félvezető anyagokat (Si, GaAs) általában 30 GHz feletti frekvenciatartományban használják, miután itt a geometriai méretek jelentősen csökkennek. Igen nagy előnyük, hogy az aktív eszközök (dióda, tran-

Mikrohullámú hordozóanyagok jellemzői

Anyag	Rel. diel. áll. ϵ_r	Veszt. tényező $\text{tg } \delta \cdot 10^{-4}$ [2 GHz]	Hővezetőkép.	Hőtágulási	Felületi érdesség átlagos négyzetese (μm)
			Joule cm \cdot s \cdot °C	tényező 8 \cdot 10 6 /°C 25 °C—300°C	
Al ₂ O ₃ 99,5%	9,5	3	0,021	6,0	polírozott: 0,03—0,15 égetett: 0,25
Al ₂ O ₃ 96%	8,9	6	0,020	6,4	—
Al ₂ O ₃ 85%	8,0	15	0,013	6,5	—
BeO 99,5%	6,4	3	0,13	6,0	0,4
TiO ₂	85,0	40	0,002	8,3	—
Ferrit	12—14	10	0,14	—	0,025
Si	11,9	40	0,08	4,2	0,025
GaAs	13,3	16	0,023	5,7	0,025
Zafir	9,4—11,5	1	0,021	5,0—6,6	0,025
Kvarc	3,75	1	0,0008	0,55	0,025
Üveg	5,75	36	0,0005	4,6	0,02

zisztor) a vezető- és ellenállás-hálózatokkal egyszerre alakíthatók ki, kedvezőtlen viszont a csillapítás igen nagy értéke.

Míndezek ellenére várható, hogy a félvezető alapú mikrohullámú áramkörök előállításának szerepe a jövőben növekedni fog.

A TiO₂ kerámiának viszonylag nagy dielektromos állandója van, a hullámhosszcsökkenés ezért itt a legjelentősebb (kb. 9-szeres). Elsősorban a viszonylag kisebb frekvenciájú (1—3 GHz-es) áramkörök előállításánál (ahol a geometriai méretek a legnagyobbak) van jelentősége. Sajnos a dielektromos állandó értéke erősen hőmérsékletfüggő, ezért felhasználása nem terjedt el.

A ferrit eddig főleg mint nonreciprok eszköz előállítására alkalmas anyag volt ismert, ilyen területen széles körben alkalmazzák. Újabban nagy felületi simasága miatt egyéb területeken is kezd elterjedni a használata.

A BeO kerámia előnye a jó hővezető képesség, ezért elsősorban nagyteljesítményű áramkörökben alkalmazzák. A megmunkálásánál keletkező por mérgező, ami fokozott biztonsági berendezések alkalmazását igényli.

A legelterjedtebben alkalmazott hordozóanyag az alumíniumoxid kerámia (Al₂O₃). A nagy tisztaságú (99,5%-os) anyagnak jó dielektromos tulajdonságai, jó hővezető képessége van, viszonylag olcsó és jó felületű minőségben lehet előállítani. A tisztaság kérdése azért lényeges, mert pl. a 96%-os kerámia jelentős mennyiségű kötőanyagot tartalmaz. A kötőanyag-tartalom erősen befolyásolja a fajlagos ellenállás, a hővezető képesség, az átütési feszültség, a szilárdság, a veszteségi tényező stb. nagyságát.

Ezek értéke annál kedvezőbb, minél tisztább a kerámia. Mikrohullámú célokra csak a 99,5%-os vagy annál nagyobb tisztaságú Al₂O₃ kerámia jöhet számításba. Az Al₂O₃ kerámia 20 GHz frekvenciáig alkalmazható hordozóanyagként.

Mikrohullámú vékonyréteg áramkörök ellenállásrétegei

Mikrohullámú integrált áramkörök esetében az ellenállásrétegek megvalósítása lezárások, osztók stb. kialakítása érdekében szükséges.

A jó mikrohullámú ellenállással szemben támasztott követelmények nagyjából ugyanazok, mint a kisfrekvenciás elemek esetében: jó stabilitás, jó TK, megfelelő disszipációs készség, 10—1000 ohm/□ közötti négyzetes ellenállásérték és a megfelelő pontoságú beállíthatóság.

Az ellenállásrétegek felvitele a hordozóra gőzöléssel, porlasztással, esetleg galvanizálással, pirolízissel, hidrolízissel történhet. Gyakorlatban csak az első két módszer használatos.

Mikrohullámú ellenállásrétegek előállítására a következő anyagok használatosak: Ta, NiCr és Cr. Az egyes anyagok jellemzőit a 2. táblázat tartalmazza

2. táblázat

Ellenállós anyagok jellemzői

Anyag	R_s ohm/□	TK ppm/°C	Stabilitás	Értékbeállítás
Cr	10—1000	—1000— +1000	gyenge	lézer, erózió
NiCr	40—400	20—1000	jó	lézer, erózió
Ta	5—100	—100— +100	kiváló	anódikus, oxidáció

[2, 3, 5, 6]. Ezek a rétegek egyben biztosítják a rozszul tapadó vezető rétegek számára a hordozóhoz való jó tapadást is.

Mikroszalag tápvonalak vezető rétegei

A mikroszalag tápvonalak rétegösszetételének kialakításánál figyelembe kell venni, hogy a vékonyréteg technológiában általában alkalmazott vezető anyagok rossz tapadóképeségűek. A kis mikrohullámú csillapítás megvalósításához a szubsztrátum (vagy az ellenállásréteg) és a jól vezető fémréteg közé egy vagy több jól tapadó (de egyben rosszabb vezetőképeségű) vékony, köztes réteget kell kialakítani. Ha az ilyen jellegzetes, tapadást elősegítő réteg vastagsága nem haladja meg jelentősen a 1000 Å-öt, ez a köztes réteg nem járul hozzá számottevően a mikrohullámú veszteség növeléséhez. A tulajdonképpeni vezetőréteggént Au vagy Cu használatos.

Mikrohullámú áramkörökben alkalmazott vezetőanyagok tulajdonságai

Anyag	erei Cu-hoz viszonyítva	Skinmélység [μm] 2 GHz-en	Hőágulási együttható [α _α /°C 10 ⁻⁶]	Tapadás a hordozóhoz	Tipikus felhasználási terület
Cu	1,0	1,5	18	rossz	vezető réteg
Au	1,36	1,7	15	nagyon rossz	vezető réteg
Ag	0,95	1,4	21	rossz	
Al	1,6	1,9	26	nagyon jó	
Mo	3,3	2,7	6	jó	
Pd	5,9	3,6	12	rossz	diffúziót gátló réteg
Pt	5,8	3,6	9	rossz	diffúziót gátló réteg
Ni	4,3	3,1	13	rossz	diffúziót gátló réteg
Cr	7,6	4,0	9	jó	tapadást biztosító réteg
Ti	35	8,9		nagyon jó	tapadást biztosító réteg

Az alkalmazható fémrétegek néhány fontos tulajdonságát a 3. táblázat tartalmazza [2, 3, 6, 8, 9].

A különböző fémezési kombinációk kiválasztásakor a következő szempontokat kell szem előtt tartani [3, 6, 10]:

- jó vezetőképesség,
- jó tapadási tulajdonságok, jó ohmos kontaktusok,
- a fémrétegek viselkedése a többi fémmel szemben,
- a fémrétegek viselkedése a gyártási eljárás alatt,
- az előállítás egyszerűsége,
- a kívánt teljesítmény biztosítása,
- a jó stabilitás, ellenállóképesség az elektronmigrációval, elektrokémiai korrózióval szemben,
- galvanikus növeszthetőség.

Az összetett, viszonylag vastag fémrétegrendszer előállítása általában két vagy három lépésben történik. Az első vagy első két lépésben porlasztással vagy porlasztással és gőzöléssel alakítható ki az alsó ellenállás, valamint a tapadóréteg, s ha kell a közbelső rétegek és esetleg a vezető rétegből is egy vékony (alsó) réteg. Ennek összvastagsága nem haladja meg az 1 μm-t. Következő lépésként kerül sor a vezetőréteg vastagítására (a kívánt kis csillapítás biztosítása érdekében 5–10 μm-re), ami galvanikus úton történik (a kívánt méretpontosság miatt általában ablakgalvanizálással [11]).

Fémezési rendszerek

A mikrohullámú áramkörök különböző elektromos specifikációi (pl. a veszteség), a klímavédelem, a stabilitás, a technológia kezelhetősége és egyszerűsége, az előállítási ár stb. részben vagy teljesen ellentmondó követelményeket támasztanak a hordozóval és a fémezési rendszerrel szemben. A megoldás csak kompromisszumok útján lehetséges.

Az előző fejezetekben felsorolt, a fémrétegekkel (ellenállás és vezető) szemben támasztott követelmények teljesítése nem könnyű.

Mikrohullámú célokra használatos vékonyréteg hibrid integrált áramkörök fémezési rendszere a legalsó tapadó vagy ellenállásréteg szerint csoportosítható: Cr, NiCr, Ti és Ta alapú rendszereket különböztetünk meg [2, 3, 6, 8–10, 12–16].

1. Csak mikroszalag-vezető kialakítása esetén:

- 1.1. Cr–Au
Cr–Cu
Cr–Cu–Au
Cr–Cu–Ni–Au
- 1.2. Ti–Pd–Au
Ti–Cu–Ni–Au

2. Ellenállásréteget is tartalmazó áramkörök esetén:

- 2.1. NiCr–Ni–Au
NiCr–Au
- 2.2. Ta(Ta₂N)–Au
Ta–Al–Au
Ta–Cr–Au
Ta–Ti–Au
Ta–Ti–Pt–Au
Ta–Ti–Pd–Au
Ta–Ti–NiCr–Au
Ta–NiCr–Au

Az ellenállásrétegek közül az igényeket leginkább a nitrogénnel adalékolt Ta rétegek (Ta₂N) teljesítik. Reprodukálhatóságuk, fajlagos ellenállásuk, hőfoktényezőjük megfelelő, stabilitásuk és a szubsztrátumhoz való tapadásuk kiváló. A Ta₂N ellenállásréteg további előnye, hogy az ellenállások értékbeállítása anódos oxidációval viszonylag egyszerűen, 0,1% pontosságban is elvégezhető. Az oxidréteggel bevont ellenállások a klimatikus viszonyoknak is jobban ellenállnak.

A Ta₂N alapú áramkörök mellett számos helyen használatos a Cr alapú rétegrendszer is, általában

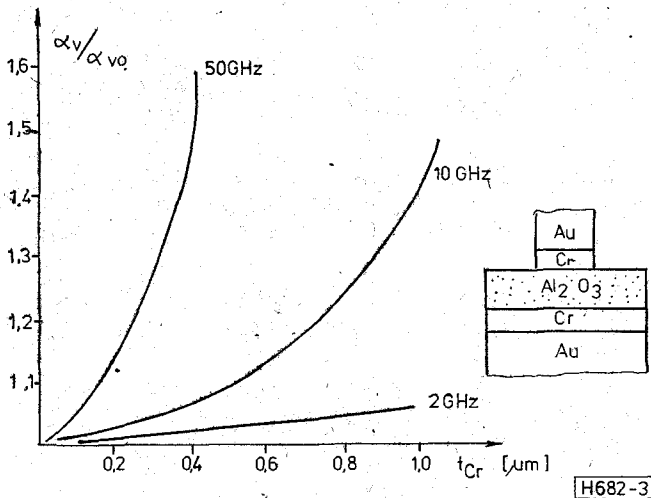
csak mikroszalag tápvonalak kialakítására — tehát csak kötőréteggént — az ellenállásokat morzsa (chip) formában beültetve.

A különböző rétegrendszerek közös jellemzője, hogy vezetőréteggént vagy a legfelső vezetőréteggént csaknem kizárólag Au réteget használnak. Ez biztosítja a rétegek korrózióvédelmét, a jó forraszthatóságot és a jó vezetőképeséget is.

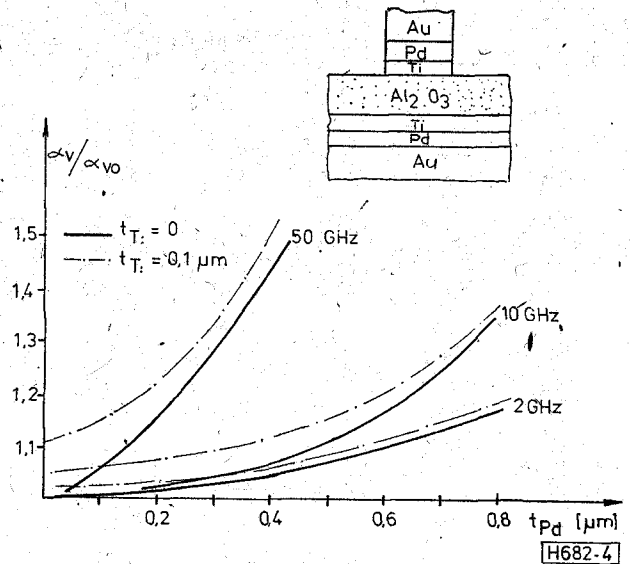
A különböző fémezési rendszerek között a legnagyobb eltérések a rétegrendszerek „köztes” rétegeiben találhatóak. Szinte azt lehet mondani, ahány helyen állítanak elő mikrohullámú integrált áramköröket, annyi rétegrendszer létezik. Attól függően, hogy az előállítás során melyik követelmény a legfontosabb (klímavédelem, kis veszteség, technológiai egyszerűség, ár stb.), választható meg a rétegrendszer. Az egyik rendszerről a másikra történő áttérés a különböző hosszadalmas megbízhatósági vizsgálatok miatt nem megy egyik napról a másikra.

Az ellenállás- és köztes rétegek viszonylag nagy fajlagos ellenállásuk miatt megnövelhetik a csillapítás értékét. E rétegek vastagságát ezért nem lehet túl nagyra választani. Például Cr—Au rétegrendszer esetén, ha a Cr-réteg vastagsága 1000 Å alatt van, a veszteség még nagyobb frekvencián sem nő meg jelentős mértékben (lásd 3. ábra) [6]. Három réteg alkalmazásakor (Ti—Pd—Au rendszer) a veszteségértéknek a frekvenciától és a rétegvastagságtól való függését a 4. ábra mutatja [3]. Pl. 10 GHz frekvencián 1000 Å vastag Ti és 2500 Å-nél vékonyabb Pd réteg esetén a csillapításnövekedés 10% alatt van. A csillapítás értéke növekvő frekvenciával igen erősen nő.

A fémréteg rendszerek alkalmazása esetén a fémek egymásra hatása miatt sok esetben megváltoznak a fémek fizikai és elektromos tulajdonságai, pl. csökkenhet a vezetőképeség. Ismeretes pl. hogy az Au, Cu, Ag stb. rétegek vezetőképesége szennyezések hatására csökken [3]. Ha az Au rétegbe az alatta levő fémréteg atomjai bediffundálnak, pl. Cr—Au rendszer esetén a Cr atomok [12, 17], az arany vezetőképesége akár egy nagyságrenddel is csökkenhet, ezáltal a mikrohullámú veszteség megnő, az áramkör nem lesz stabil. Számos szerző szerint ez a diffúziós



3. ábra. Mikroszalag tápvonal relatív vesztesége Cr—Au rendszer esetén a Cr rétegvastagság függvényében [3]



4. ábra. Mikroszalag tápvonal relatív vesztesége Ti—Pd—Au rendszer esetén a Ti és Pd rétegvastagság függvényében [3]

folyamat csak magasabb hőmérsékleten megy végbe, de olyan utalások is ismeretesek, melyek ezt már szobahőmérsékleten is veszélyesnek tartják [18], így a Cr—Au rendszert igényes, stabil áramkörök előállításához nem ajánlják. Hasonló egymásrahatás lép fel Ti—Au vagy Cu—Au esetén.

Ilyen esetben a két fémréteget egy harmadik, az egymásrahatást, a diffúziót gátló, ún. barrier fémréteggel lehet egymástól elválasztani. Erre a legalkalmasabb anyag a Pt, Pd és a Ni. Így alakult ki például az egyik legstabilabbnak, legmegbízhatóbbnak tartott fémezés, a Ta₂N—Ti—Pd—Au rendszer (pl. Bell vagy GTE).

A Ta₂N—Ti—Pd—Au vagy az ehhez hasonló 4 komponensű fémrétegek kezelése ugyan bonyolultabb, előállítása több időt igényel (bár target-váltós porlasztó berendezésekkel, amelyek 4 fémréteg egymás utáni felvitelére alkalmasak, ez nem okoz jelentős gondot), a megbízhatósági vizsgálatok szerint azonban az ily módon előállított rétegrendszerek alkalmazása mégis gazdaságos, ellenállóbbak a korróziós behatásokkal szemben, nem igényelnek légmentes zárást, nagyobb a stabilitásuk.

Az áramkörök előállítási árát a legfelső, viszonylag vastag Au réteg alkalmazása jelentősen drágítja. Ennek csökkentése érdekében a vastag galvanikus Au réteg helyett pl. jól használható a galvanikus Cu—Au vagy Cu—Ni—Au rétegrendszer [19]. A felső aranyréteg vastagsága ilyenkor a szokásos 5—10 μm helyett csak 2—5 μm. A réz alkalmazása azért is előnyös, mert a réz jobb vezetőképesége miatt kedvezőbbek az ilyen áramkörök csillapításadatai. A galvanikus Cu és Au rétegeket azonban célszerű vékony Ni réteggel elválasztani a diffúzió megakadályozása végett.

Mikrohullámú vékonyréteg áramkörök előállítása TKI—HIKI együttműködésben

A TKI és a HIKI között 1976-ban megállapodás jött létre a harmadik generációs mikrohullámú rádiórelé-

vezető réteg	galvanizált Au	$t = 5-15 \mu\text{m}$
diffúzió gátló réteg	párolgatott Au	} tössz $< 0,1 \mu\text{m}$
tapadást biztosító réteg	párolgatott NiCr	
ellenállás réteg	párolgatott Ti	
hordozó	porlasztott Ta_2N	$R = 50 \text{ ohm}/\mu$
	Al_2O_3	fel. érdesség $< 0,25 \mu\text{m}$

H682-5

5. ábra. TKI-HIKI rendszerű mikrohullámú vékonyréteg-áramkör fémezése

berendezésekben alkalmazott kerámia alapú vékonyréteg áramkörök kutatására, fejlesztésére és kísérleti gyártására. A két intézet közös kutatási-fejlesztési programot dolgozott ki, mely biztosítja a szigetelő alapú mikrohullámú áramkörök hazai gyártását [20].

Ez az együttműködés célszerűnek látszott, mivel a HIKI a (nem mikrohullámú) vékonyréteg technológiában már több éves tapasztalattal rendelkezett, a TKI-nak pedig a mikrohullámú áramkör tervezésében volt évtizedes gyakorlata. Az első célkitűzés egy alapelektrológia gyors kidolgozása és megvalósítása volt. Fontos szempont volt olyan rétegszerkezet kiválasztása, amely biztosítja a fémrétegekkel bevont hordozók rugalmas, sokoldalú felhasználhatóságát mikrohullámú és a mikrohullámú berendezésekben egyaránt. Ennek a rétegszerkezetnek a felépítése az 5. ábrán látható.

A NiCr réteg előállítás a felpárolgatás befejező szakaszában az Au párolgatással egyszerre történik, így egy folyamatos, átmeneti NiCr—Au ötvözet réteg alakul ki, amely a mechanikai kötés és a későbbi galvanizálás és forrasztási folyamatok szempontjából egyaránt kedvező. A galvanikus Au réteg vastagsága $\sim 10 \mu\text{m}$, előállítása ablakgalvanizálással történik.

(Folytatás a 27. oldalról)

1979-től 1983-ig évi 63%-ra csökken a növekedési ütem. Az első nagyobb volumenű szállítás 1981-re várható.

Minden szegmensben az árak csökkenésére lehet számítani. A szálak és kábelek ára várhatóan gyorsan csökken, de a fényemittáló diódák és a nagy fényerősség-tartományban érzékelő detektorok ára kevésbé csökken, mivel már elég olcsók. A lézerdiodák és az alagúteffektuson alapuló fotodiodás detektorok ugyanakkor várhatóan jelentős árcsökkenést mutatnak. (Weekly-Elektron, 1979. ápr. 24. [649])

*

Az Arthur D. Little Inc. (Cambridge, Mass., USA) két éve tartó felmérése szerint az automatikában, fogyasztói elektronikában, irodagép-technikában, hírközlésben és ipari elektro-

Az együttműködés több, mint három esztendeje alatt nagyszámú, különböző frekvenciájú áramkör mintapéldányai, pl. mikrohullámú erősítők, oszcillátorok, szűrők, frekvenciaosztók, iránycsatolók stb. készültek el. A tapasztalatok igazolták a HIKI és a TKI technológiai felkészültségének alkalmasságát mikrohullámú integrált vékonyréteg áramkörök előállítására.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetüket fejezik ki Kolonits Pálnak, a HIKI tudományos főosztályvezetőjének és a HIKI munkatársainak a két intézet közötti együttműködés keretében nyújtott segítségükért, támogatásukért, valamint a kézirat átnézéséért.

IRODALOM

- [1] W. Wiesbeck—H. Meinel—B. Rembold: European Hybrid Microelectronic Conference, Bad-Homburg, 1977.
- [2] H. Sobol: Proc. IEEE. 59 (1971) 1200-11.
- [3] L. Young—H. Sobol: Advances in Microwaves. Acad. Press. New York, 1974.
- [4] Almássy Gy. (szerk.): Mikrohullámú Kézikönyv. Műszaki Könyvkiadó, 1973.
- [5] M. Kreams—W. Schmidt: Frequenz, 25 (1971) 1.
- [6] H. Sobol: Solid State Techn. 1970. febr.
- [7] H. N. Toussaint—R. Hoffmann: Frequenz, 25 (1971) 100.
- [8] M. Caulton—H. Sobol: IEEE of Solid State Circ. SC-5 (1970) 292.
- [9] J. C. Jostan—C. Schwing: Galvanotechnik, 64. 3 (1973)
- [10] G. P. Ferraris: Thin Solid Films. 24 (1974) 113.
- [11] Berceli és m. társai: Híradástechnika, XXV. (1974) 11. old.
- [12] C. A. Harper: Handbook of Material and Proc. for Electr. McGraw-Hill, 1970.
- [13] B. Waugh, et. al.: Solid State Techn. April, 1973. p. 59.
- [14] N. Ohwada et. al.: Rev. of the Electrical Comm. Éab-24. (1976), 756.
- [15] M. Caulton: IEEE of Solid State Circ. SC-5 (1970) 292.
- [16] G. R. Piacentini—G. Minelli: Microel. and. Rel. 15 451 (1976).
- [17] M. Caulton: IEEE 59 (1971) 1481.
- [18] H. Hieber et al.: Proc. of the European Hybrid Microelectronic Conference, Bad-Homburg, 1977.
- [19] J. M. Morabito et al.: IEEE Trans. on Parts, Hybrids and Packaging, PHP-11, 253 (1974).
- [20] Vértesy M.—Ducza I.—Koltai M.—Izsák T.—Farkas E.: Alkatrészkonferencia, Székesfehérvár, 1977.

nikában az elektronikai termékek forgalma eléri a 30 millió dollárt 1987-re az USA-ban és Európában.

A tanulmányt 2 millió dolláros költséggel készítették több mint 60 megrendelő (az USA, Európa és Távol-Kelet kormányai és iparvállalatai) számára; a tanulmány a mikroprocesszor vezérlésű modulok világméretű kiszállításait 1987-re 400 millió egységre becsüli.

A szövegfeldolgozóeszköz-kiszállítások az 1977-es 1,5 milliárd dolláros értékről 1987-re 3 milliárd értékűre nőnek. 1982-ben az USA-ban és Európában közel valamennyi autó motorja elektronikus vezérlésű lesz. (Electronics, 1979. márc. 28. [650])

*

A nagy bonyolultságú, nagymértékben integrált (VLSI) áramkörökkel felmerül a félvezetőgyártási technológiában a fel-

(Folytatás a 37. oldalon)