

Mikrohullámú vékonyréteg integrált áramkörök fémezésének befolyása a szalagtápvonalak veszteségére

VÉRTESEY MIKLÓS—KOLTAI MÁRTA—ZSOLDOS BÉLA

Távközlési Kutató Intézet
Mikroelektronikai Vállalat



ÖSSZEFOGLALÁS

A TKI és a MEV együttműködésében Ta_2N -Ti-NiCr-Au fémrétegekből álló fémezési rendszert fejlesztettünk ki mikrohullámú vékonyréteg integrált áramkörök előállítására. Mikroszalag tápvonalak veszteségét befolyásoló hatások közül kísérleteinkben megvizsgáltuk az ellenállás és a vezető fémek közötti ún. köztes rétegek (a Ti és a NiCr) szerepét. A veszteség méréseinket gyűrűs rezonátorral végeztük. Megállapítottuk, hogy a két réteg vastagságának egy minimálisan szükséges értékre történő csökkentésével a szalagvonalak veszteségét 25–30%-kal sikerült csökkenteni. Így 8 GHz frekvencián 50 Ω hullámenállású szalagtápvonalnál 0,05–0,055 dB/cm veszteséget valósítottunk meg.

Bevezetés

A Távközlési Kutató Intézet és a Mikroelektronikai Vállalat (korábban mint Híradástechnikai Ipari Kutató Intézet) együttműködésében 1976 óta folynak technológiai és konstrukciós kísérletek mikrohullámú vékonyréteg hibrid integrált áramkörök hazai megvalósítására. Az együttműködés eredményeképpen számos, különböző funkciót ellátó (pl. erősítő, frekvenciasokszorozó és -osztó, keverő, iránycsatoló, szűrő stb.) mikrohullámú áramkör készült el és került felhasználásra.

A mikrohullámú integrált áramkör előállítási technológia kiválasztásának, a technológia ellenőrzésének, a szalagtápvonalak minőségének egyik legfontosabb szempontja, hogy mekkora a szalagtápvonalak vesztesége (csillapítása). Kutatási-fejlesztési programunkban is jelentős helyet foglaltak el azok a technológiai kutatások, melyek veszteség csökkentésére irányultak.

A kis mikrohullámú veszteség megvalósítása speciális követelményeket támaszt a hordozóval, valamint a fémezéssel és a fémréteg szerkezetével szemben. A vékonyréteg technikában alkalmazott vezető rétegek (a réz és az arany) rosszul tapadnak a kerámia hordozókhoz. Közéjük egy vagy több jól tapadó, vékony, köztes réteget kell kialakítani, melyek vezetőképesége jóval kisebb a réznél vagy az aragnál. Ezek a köztes rétegek vezetőképeségüktől és vastagságuktól függően jelentősen megnövelhetik a veszteséget. Ez a veszteségnövelő hatás a frekvencia növelésével egyre fokozottabb, erősebb lesz. Fontos szempont a fémrétegek kialakításánál az is, hogy a (tényleges) vezető rétegek — a kis veszteség elérése miatt — viszonylag vastagnak kell lennie, vastagságának meg kell haladnia a skin mélység 3–5-szörösét.

VÉRTESEY MIKLÓS

1965-ben végzett az ELTE Természettudományi Karán, fizikus szakon, majd 1970-ben a Budapesti Műszaki Egyetemen félvezető eszköz gyártási szakmérnöki oklevelet szerzett. 1977-ben Anomális bórdiffúzió

Si-egy kristályokban témakörben egyetemi doktori szigorlatot tett. 1965 óta a Távközlési Kutató Intézet dolgozója. Fő munkaterülete a mikrohullámú Si-diódákkal, továbbá a mikrohullámú hibrid integrált áramkörökkel kapcsolatos kutatási-fejlesztési tevékenység.

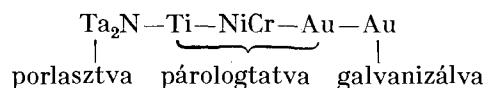
TKI—MEV fémezési rendszer [1—2]

Az áramkör előállítási technológiánk — az előzőekben vázolt szempontokat is figyelembe véve — alapjaiban a hagyományos vékonyréteg eljárást követi. Az elrendezés (topológiai) rajz elkészülte után fólia-, majd fotomaszk készül. A hordozó alapfémezését porlasztással és vákuum párologtatással, a vastag vezető réteget pedig ún. ablakgalvanizálással valósítjuk meg. Az áramkörök vezető- és ellenállás rajzolatának kialakítása fotolitográfiai módszerekkel történik.

Áramköri hordozónak nagy tisztaságú (>99,5%-os), névlegesen 0,635 mm vastagságú alumíniumoxid lapkákat használunk, pl. az AlSiMag 772 típust. A hordozó felületi érdessége (a közép vonaltól mért átlagos eltérés alapján meghatározva) 0,20–0,25 μm (8–10 μ''). Ilyen felületi minőségű hordozó viszonylag olcsón beszerezhető, és néhány különleges követelményű áramkörtől eltekintve, kb. 20 GHz frekvenciáig általában megfelel az áramköri igényeknek.

Az Al_2O_3 hordozón kialakított fémrétegeket úgy kell megválasztani, hogy jól tapadjanak, biztosítani tudják a kis mikrohullámú veszteséget, az elektromos paraméterek stabilitását, az egyszerű és olcsó előállítási technológiát stb. Ezek a szempontok részben vagy egészben ellentmondó követelményeket jelentenek, megoldásuk csak kompromisszumok útján, több fémréteg alkalmazásával lehetséges.

A TKI—MEV együttműködés során kifejlesztett mikrohullámú vékonyréteg áramkörök fémezése a következő rétegekből tevődik össze:



Ezzel a fémezéssel jó minőségben, integrált formában előállíthatók a mikrohullámú áramkörök ellenállásai, biztosítani lehet az áramkörök nagymérvű stabilitását, az áramkörök jól ellenállnak a klímahatásoknak, nem igényelnek légmentes tokozást.

Beérkezett: 1984. IX. 5. (A).

Hátránya, hogy négy fémréteget kell előállítani porlasztással és vákuum-párolgatással. A vastag arany vezetőréteg 10–15%-os önköltség-növekedést eredményez a rajzolat kialakításakor, ugyanakkor kb. 15–20%-kal megnöveli a veszteséget a réz vezetőhöz képest.

Fémzési rendszerünkben ellenállásréteggént reaktív porlasztással előállított, 60–80 nm vastag tantálnitrid réteget használunk, amely biztosítja a jó tapadást is a hordozó és a vezető rétegek között. A Ta₂N ellenállások stabilitása kiváló [3], értékbeállításuk anodik oxidációval — viszonylag egyszerűen — 0,1%-os pontossággal is elvégezhető.

A titán réteg a tantálnitrid felületén képződött oxidot oldja oly módon, hogy fémes jellege nem változik. Így elkerülhető a nagy átmeneti ellenállás, és egyúttal a nagy mikrohullámú veszteséget előidéző tantál-oxid réteg kialakulása.

A nikkel—króm réteg megakadályozza az arany és a titán egymásba diffúzióját (pl. már a szükséges technológiai hőkezelési lépések során), ami az áramkörök stabilitásának növeléséhez vezet.

Az alapfémezés vékony, lehetőleg jó vezetőképességű aranyréteg párolgatásával fejeződik be, mely lehetővé teszi a galvanikus rétegvastagítást.

A rétegjellemzőket az 1. ábrán foglaltuk össze. A porlasztott és párolgatott alaprégeket a felületi ellenállással, a galván arany réteget pedig a vastagságértékekkel jellemeztük. Az alapfémréteg vastagságát az általunk használt Al₂O₃ hordozón nem tudtuk közvetlenül meghatározni a hordozó ~0,2 μm felületi érdessége miatt, mert a rétegvastagság értékek ezzel egyformák vagy ennél kisebbek voltak. A rétegvastagságokat így — hasonló porlasztási-párolgatási körülmények mellett — üveghordozón határoztuk meg. A fajlagos ellenállás kiszámítása az ily módon mért rétegvastagság és a felületi ellenállásértékek alapján történt.

Szalagtápvonalak vesztesége

Kerámia alapú mikrohullámú vékonyréteg áramkörök esetén a szalagtápvonalak veszteségét elsősorban a vezetőben fellépő ohmikus veszteség (α_c)

Réteg	Ta ₂ N	Ti	NiCr	Au	Au
Előállítási mód	porlasztott	párolgatott	párolgatott	párolgatott	galvanizált
Rétegvastagság	—	—	—	300–400 [nm]	8–15 [μm]
Felületi ellenállás [Ω/□]	30–40	20–80	6–15	0,08–0,15	—
Fajlagos ellenállás [μΩ·cm]	220*	80*	150*	4–4,5*	2,7–3

Megjegyzés: * becsült adatok (üveghordozóra felvitt rétegvastagság-mérés alapján számolva)

1. ábra. Fémréteg jellemzők TKI—MEV fémzésés esetén



KOLTAI MÁRTA

1968-ban a Budapesti Műszaki Egyetemen vegyészmérnöki, majd 1981-ben korróziós szakmérnöki diplomát szerzett. 1958 óta a Híradástechnikai Ipari Kutató Intézet, majd jogutódja, a Mikroelektronikai Vá-

latat dolgozója. Fő munkaterülete a hibrid integrált áramkörök előállítás-területén, a vékonyrétegekkel kapcsolatos kutatás, fejlesztés és gyártás. Több publikációja jelent meg a vékonyrétegek szerkeze és elektromos tulajdonságai közötti kapcsolatot vizsgálatáról.

okozza, mely a vezető fajlagos ellenállásának a négyzetgyökével arányos

$$\alpha_c = 8,686 \cdot \frac{R_s}{Z_0 w} F \quad [\text{dB/cm}]$$

$$R_s = \sqrt{\rho \cdot \pi \cdot \mu \cdot f},$$

ahol R_s a mikrohullámú felületi ellenállás, ρ a fémréteg (homogén fémzésést feltételezve) fajlagos ellenállása, μ a permeabilitás, f a frekvencia, Z_0 a szalagvezető hullámmellenállása, w a szalagvonal szélessége, F pedig a szalagvezetőben kialakult árameloszlástól függő faktor, melynek értéke a gyakorlati esetekben 0,4–0,7 közé esik [4–7].

Esetünkben a fenti kifejezés közvetlenül nem alkalmazható, mert nem veszi figyelembe a vezető arany réteg alatti Ta₂N—Ti—NiCr rétegek veszteségnövelő hatását.

Szalagtápvonalakkal kialakított mikrohullámú integrált áramkörökben az energia elsősorban a dielektrikumban (azaz a hordozóban) és a dielektrikumhoz közeli (3–5 skin mélységű) fémrétegben terjed. Csillapítás szempontjából tehát nagy jelentőségű a felületközeli, nagy fajlagos ellenállású fémrétegeknek a

Rétegekombináció jelzése	Ta ₂ N	Ti	NiCr	Au
	$R_s \Omega/\square$			
1	39	25	10	0,08
2	38	64	12	0,17
3	37	110	26	0,08
4	36	252	20	0,09
5	39	1096	19	0,08
6	40	870	47	0,12

2. ábra. A különböző fémréteg kombinációk felületi ellenállás értékei (a veszteség görbék a 3. ábrán található)



DR. ZSOLDOS BÉLA

1969-ben végzett az Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Karának vegyész szakán. Doktori értekezését 1971-ben védte meg szilárd anyagok radio-kémiai módszerekkel történő vizsgálatának tárgyköréből. 1969 óta a Híradástechnikai Ipari Kutató Intézetnek, majd jogutódjának, a Mikroelektromikai Vállalatnak dol-

gozója. Munkaterületei a félvezető anyagok neutronaktivációs elemzéssel történő vizsgálata, nyomtatott huzalozású lemezek technológiája és vizsgálata, valamint vékonyréteg hibrid integrált áramkörökkel kapcsolatos kutatás és fejlesztés. Jelenleg a Mikroelektronikai Vállalat Hibridáramkör Szakágazatnak vékonyréteg technológiai főosztályán osztályvezető.

szerepe. A kis veszteség megvalósítása érdekében tehát arra kell törekedni, hogy ezeknél a rétegeknél csak a megadott funkciót ellátó, technológiai okokból feltétlenül szükséges, minimális vastagságot valósítsuk meg.

Veszteségértékek különböző köztes fémek esetén

Az általunk alkalmazott fémrétegrendszerrel megvizsgáltuk a Ti és a NiCr köztes rétegeknek a csillapítást befolyásoló hatását. Különböző négyzetes ellenállású Ti és NiCr rétegekkel állítottunk elő szalagtápvonalakat, a porlasztott Ta₂N, és a párolgatott Au réteg jellemzőit pedig állandó értéken tartottuk. Ugyancsak egyformán történt az arany galvanikus vastagítása is. A különbözőképpen előállított rétegek jellemzőit a 2. ábrán foglaltuk össze. A felületi ellenállásértékeket 4 tűs mérés és szelektív kémiai maratás segítségével határoztuk meg.

A veszteségmérés gyűrűs rezonátorokkal történt. Megmértük a rezonátorok jósági tényezőjét, s ezek alapján kiszámítottuk a veszteségértékeket [7–8]. A rezonátorok hullámellenállása 50 Ohm, az első rezonancia frekvencia 2,5 GHz volt. A veszteségmérés hibája nem haladta meg az 5%-ot [8]. Mérési eredményeink a 3. ábrán láthatók. Az ábrán feltüntettük, homogén arany vezetőréteget feltételezve (tehát ellenállás és köztes fémrétegek nélkül), az elméletileg kiszámolt veszteséggörbét is [7]. (A 2. és 3. ábra jelölései egyeznek.)

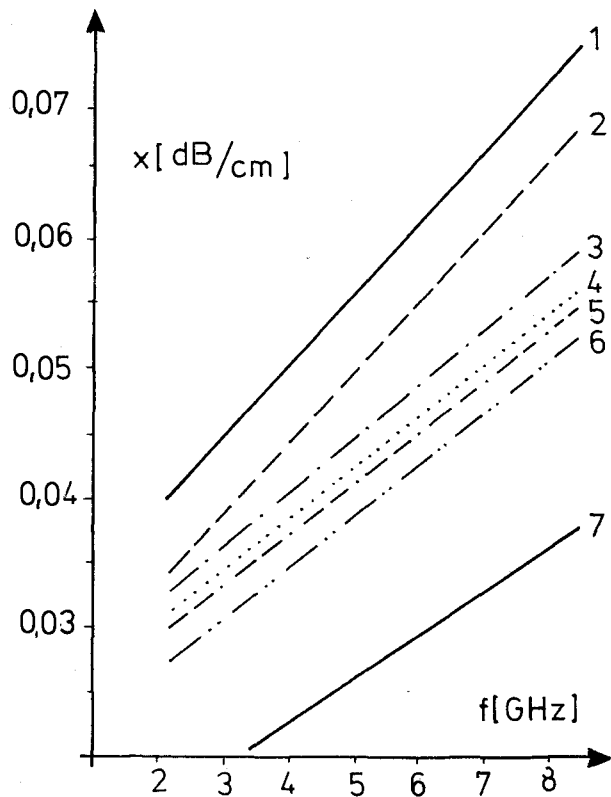
A kísérleti eredményeket értékelve megállapítható, hogy a mért veszteségek minden esetben nagyobbak (legalább 50%-kal) az elméleti értéknél. Ez a hordozó felületi érdességének hatásával, az arany alatti Ta₂N-Ti-NiCr rétegek jelenlétével, továbbá a különböző réteghibákkal magyarázható. Mivel a

galván arany rétegünk fajlagos ellenállása nagyobb a tömör anyagra jellemző értéknél (2,44 μΩ·cm), ez önmagában is 3–6%-os veszteségnövekedést jelent.

Vizsgálatainkban a veszteséget befolyásoló tényezők közül csak a Ti és a NiCr rétegek vastagságát változtattuk. Méréseinkből így a különböző tulajdonságú rétegek kombinációk egymáshoz viszonyított veszteségértékeire lehet csak következtetni. A vastag aranyréteg nagyobb fajlagos ellenállása, a hordozó érdessége, a rajzolat kialakítási technológia, az esetlegesen fellépő réteghibák stb. hatását a különböző kísérleti sorozatokban egyformának tételeztük fel. Ez a feltétel – valószínűleg – nem mindig helytálló. Így a változtatott Ti és NiCr rétegek veszteséget befolyásoló hatása mellett egy kevésbé kézbe tartható tényezővel is számolni kellett. Ezt az eredmények értékelése során nem szabad teljesen figyelmen kívül hagyni.

A táblázatokból látható, hogy a Ti réteg esetén a négyzetes ellenállás értékét a kezdeti ~25 Ω/□ értékről ~1000 Ω/□-re, míg NiCr esetén ~10 Ω/□-ről ~50 Ω/□-re növeltük, ami rétegvastagságban hozzávetőlegesen egy, ill. fél nagyságrend csökkenést jelent. (A rétegek fajlagos ellenállása – főleg kis vastagságok esetén – erősen függ a rétegvastagság értékétől.)

A Ta₂N négyzetes ellenállását kísérletünkben nem változtattuk. Áramköreink tervezésénél ugyanis a névlegesen 50 Ω/□ felületi ellenállástól (ami technológiai megvalósítás során 30–40 Ω/□ értéket



H15-3

3. ábra. A különböző fémréteg kombinációjú (ld.: 2. ábra) szalagtápvonalak veszteségének frekvencia függése

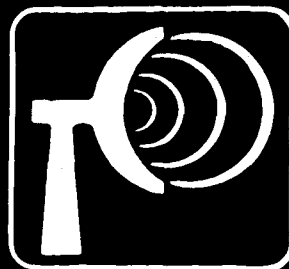
jelent) nem kívántunk eltérni, hogy biztosítani lehessen az ellenállások értékállítását. A felületi ellenállás jelentősebb megváltoztatása ugyanis egyben az áramkörök maszkjainak megváltoztatását is maga után vonná.

A 3. ábrán látható, hogy a Ti és NiCr rétegvastagságának csökkentésével (négyzetes ellenállásnak növelésével) 25–30% veszteségsökkentést sikerült megvalósítani, ami 8 GHz frekvencián 0,05–0,055 dB/cm értéket jelent. Ez megfelel, vagy valamivel jobb az irodalomban publikált értékeknél [7, 9–12].

A rétegvastagság értékek további csökkentésének a Ti és a NiCr rétegekkel szemben megkívánt funkció ellátása szab határt. A további vastagságsökkentés esetén – az előállítás reprodukálási problémái mellett – nem biztosítható a Ta-NiCr közötti fémes kontaktus, ill. nem akadályozható meg a Ti és az Au egymásba diffúziója.

I R O D A L O M

- [1] *Vértesy M., Ducza I., Koltai M., Izsák T., Farkas E.*: Alkatrészkonferencia. Székesfehérvár, 1977.
- [2] *Koltai M., Vértesy M., Zsoldos B.*: Mikrohullámú szeminárium. Budapest, 1980.
- [3] *L. Young, H. Sobol*: Advances in Microwaves. Acad. Press, New York, 1974.
- [4] *M. V. Schneider*: Bell STJ, 48, 1421–1444, May–June, 1969.
- [5] *R. A. Pucel, D. J. Masse, C. P. Hartwig*: IEEE Trans. Microwave Theory and Techn. MTT-16, No. 6, pp. 342–350, 1968.
- [6] *E. Belohoubek, E. Denlinger*: IEEE Trans. Microwave Theory and Techn. MTT-23, pp. 522–526, 1975.
- [7] *S. Hagelin, L.-D. Wernlund*: Properties of microstrip transmission lines, FOA 3 Rapport, C 3769-E2. Juni, 1974, Försvarets Forskningsanstalt, Stockholm.
- [8] *Vértesy M.*: TKI Közleményei (megjelenés alatt).
- [9] *G. P. Ferraris*: Thin Solid Films. 24, 113–124, 1974.
- [10] *H. Meinel, B. Rembold, W. Wiesbeck*: Electrocomponent Science and Technology. 4, 143–146, 1977.
- [11] *S. Mahapatra, S. N. Prasad*: IEEE Trans. on Comp., Hybrids, M. Technol., CHMT-1, pp. 428–431, 1978.
- [12] *P. C. Maimin*: Electrocomponent Science and Technology. 4, pp. 79–83, 1977.



TELEKOM TOECOM

„Telekom” rádióelektronikai
és hírközlő eszközöket,
híradástechnikai alkatrészeket és műszereket,
valamint műszaki szolgáltatásokat exportáló
és importáló külkereskedelmi társaság.

VITIO „TELEKOM”

Szófia – Bulgária

Wasington u. 17.

Telefon: 86-181

Telex: 022075, 022076

