

# Nagybonyolultságú monolit integrált áramkörök készí­ tési technológiájában felhasznált különleges minőségű anyagokkal szemben támasztott mennyiségi és minőségi igények várható változása az évezred végéig

DR. HANGOS ISTVÁN — CSERTEG ISTVÁNNÉ  
Mikroelektronikai Vállalat



## ÖSSZEFOGLALÁS

A szerzők áttekintést adnak a nagybonyolultságú integrált áramkörök (LSI) készí­ tési technológiájánál felhasznált különleges segédanyagokkal szemben támasztott követelményekről, és ezek változásairól, figyelembe véve a már említett technológiába bekövetkező változásokot az évezred végéig.

Megállapítják, hogy a kapható technológiai változások következtében az LSI áramkörök gyártásának mennyiségi növekedése ellenére sem várható a technológiában használt segédanyagok mennyiségének növekedése. A minőségi követelmények a legtöbb anyag esetén — egyes esetek kivételével — valószínűleg nem változnak, néhány esetben jobb minőségű anyagok szükségesek, egyes esetekben minőségi engedmények is várhatók.

## 1. Bevezetés

Egy előző közleményünkben [1] felvázoltuk azokat a várható technológiai változásokat, melyek a nagybonyolultságú monolit integrált áramkörök készí­ tési technológiájánál várhatóak az évezred végéig. Ezen változások során, egyrészt egy sor új berendezés megjelenése, illetve a már meglevő berendezések továbbfejlesztése várható, másrészt az eddigi „hagyományos” technológiában használt különböző anyagokkal szemben támasztott minőségi követelmények, valamint azoknak a technológiában való mennyiségi szükségletei is változni fognak sokkal rohamosabban, mint azt a jelenlegi helyzet alapján általában képzelik. Egyes anyagféleségekből az igény várhatóan rohamosan csökken, másokkal szemben új minőségi igények jelentkeznek, és egy sereg új anyag megjelenése várható. Alábbi összefoglalásunkban megkíséreljük vázolni a várható tendenciákat a már említett közleményben feltüntetett perspektívák alapján — természetesen a teljesség igénye nélkül — azért, hogy az említett anyagok termelésének felfuttatásánál ezt figyelembe lehessen venni.

Megjegyezzük, hogy ezen problémákkal a fejlett tőkés országokban is csak nemrég kezdtek foglalkozni, de a probléma fontosságára és gazdasági kihatására való tekintettel a speciális témát már két nemzetközi szimpóziumon is tárgyalták [2—9].

## 2. A technológiai infrastruktúra következtében várható változások

Az áramkörök bonyolultságának fokozásával részben a gyártás megbízhatósága, részben annak emelkedő kihatása miatt rohamosan nő a technológiai infrastruktúra szerepe [1, 4, 5]. E kifejezés alatt

## DR. HANGOS ISTVÁN

1950-ben fejezte be egyetemi tanulmányait az Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Karán, ahol okleveles vegyész képe­ stést nyert. 1958-ban a műszaki tudományok kandidátusa, 1960-ban a vegyészdoktori, 1974-ben a műszaki tudományok doktora tudományok fokozatokat szerezte meg. Jelenleg a Mikroelektronikai Vállalatnál tanácsadó. Az elmúlt 33

évben elsősorban félvezető anyagokkal, egykristály­ készí­ tés­ sel, nagy tisztaságú anyagok készí­ tésével és félvezető eszközök készí­ tésével foglalkozott. Foglalkozott ezenkívül még fém-kerámia kötésekkel, halogén töltésű izzólámpákkal és katódsugárcső-technológiával is. A fenti témákban 80 tudományos közleménye jelent meg, ezek közül kb. 30% idegen nyelven, ezek döntő többsége nivós nyugati folyóiratokban.

azon körülményeket foglaltuk össze, melyek között a gyártás történik, bármilyen nagybonyolultságú áramkörökről legyen is szó. Ennek technológiai berendezés vonzatán kívül néhány alap- és segédanyaggal szemben is várható minőségi követelmény szigorítás.

Legelső és talán legfontosabb a gázokban, illetve a vegyszerekben levő lebegő szilárd anyagok minél nagyobb mértékű eltávolításának lehetősége, melyet a hétköznapi technológiai nyelven szűrésnek neveznek.

A gázok megtisztítása a lebegő szennyezésektől már a jelen technológiáknál is különleges szűrőkkel történik [10, 14]. Míg azonban az 1978-as technológiai világszint e tekintetben a gáztereket három osztályba sorolta, ez a helyzet már napjainkra is jelentősen megváltozott, ahogy azt az 1. táblázat is szemlélteti [10, 14].

1/a táblázat

USA 209 szerinti osztály	Szűrő	Szemcseszám, db/m <sup>3</sup>					
		0,48	0,35	0,24	0,25	0,15	0,12
100	Legjobb LSI HEPA max.	3500	70 000	14 000	20 000	52 500	140 000
10	VLSI HEPA max.	350	700	1 200	2 100	5 250	14 000
0	VLSI Flandérs	0	0	0	0	350	700

Beérkezett: 1984. XII. 5. (Λ).



**CSERTEG  
ISTVÁNNÉ**

A Veszprémi Vegyipari Egyetemen szerzett vegyész mérnöki oklevelet 1968-ban. Az Egyesült Izzó fényforrásfejlesztési főosztályán dolgozott 1982-ig, ahol elsősorban a gázkiszűrőcsövek

kémiajával foglalkozott. Jelenleg a MÉV félvezetőfejlesztési főosztályán dolgozik, fő feladata a mikroelektronikában használt nagy tisztaságú vegyszerek alkalmazásával kapcsolatos szakmai és technológiai problémák tisztázása.

Ez azt jelenti, hogy 1984 elejére technológiailag megvalósították az eddigi 100-as osztályozáshoz képest [12, 13] a „nullás” osztályozású tiszta gázteret [14], mely a gyártás kihozatalát nagymértékben növeli. Mivel a VLSI gyártásnál a jelenlegi vonalszélesség 1  $\mu\text{m}$  körüli, a térközök pedig 0,5  $\mu\text{m}$  nagyságrendűek, ez egyúttal biztosítja a tűrhető kihozatalt is, amennyiben ezt a tisztasági fokot a gyártás folyamán minden gázban és minden techno-

1/b táblázat

**Az LSI és VLSI vegyszereknél megengedett lebegő szennyezők koncentrációja db/100 ml egységekben [23]**

	1 $\mu\text{m}$	5 $\mu\text{m}$	10 $\mu\text{m}$	15 $\mu\text{m}$
LSI 00 nincs adat	152	nincs adat	27	
LSI 0 nincs adat	304	nincs adat	54	
LSI 1 nincs adat	609	nincs adat	109	
LSI 2 nincs adat	1217	nincs adat	217	
LSI 3 nincs adat	2432	nincs adat	432	
VLSI I 6400	256	64	0	
VLSI II 12 800	512	128	0	
VLSI III 25 600	1024	256	0	
VLSI IV 51 200	2048	512	0	
VLSI V 102 400	4096	1024	0	

lógiai műveletnél meg tudjuk őrizni. Ez utóbbi azonban nagy részben a használt berendezések rendszerétől, felépítésétől és szerkezeti anyagaitól függ. Megjegyezzük, hogy e tisztaság elérését és ellenőrzését a lézeres szemcsemeghatározási módszer nagymértékű fejlesztése tette lehetővé.

Hasonló a helyzet a folyékony vegyszerekkel is, ahogy azt az 1/b táblázat mutatja [23]. Itt azonban két nehézséggel kell számolni. Az első tulajdonképpen a technológusok gondjának könnyítését teszi lehetővé, és ez a nagy tisztaságú víz problémája. Ezen a téren a nagy mennyiségben igen jó minőségű vizet előállító berendezések már kialakultak [5], a ma legmodernebb típus a fordított ozmózis elven működő kettős ioncserélő recirkuláló rendszer. Ez

18,3 MOhm-os vizet képes folyamatosan előállítani (20 °C-on) gyakorlatilag lebegő szennyezések nélkül. Itt az eddigi nívóhoz képest jelentős fejlődés nem várható, mert a felhasználók a végfokozatban az eddig ismert legjobb olyan szűrőre is áttértek 1980-ban (0,20  $\mu\text{m}$ -es abszolút szűrő), mely még nem okoz víztechnológiai nehézségeket, viszont a baktériumokat is kiszűri. Az ilyen víz a VLSI áramkörök elfogadható kihozattal történő gyártását már lehetővé teszi. Ez a tény, valamint az, hogy a szilícium egykristály lemez gyártó cégek ma az egykristály lemezeket tökéletes és minden szennyezéstől mentes felülettel hermetikusan szállítják, szükségtelessé tette a már említett különleges berendezések, pl. dörzsmosó vagy „water-knife” alkalmazását, és megfelelő mikroklíma [10] esetén a felület állandó tisztasága egészen a végső műveletekig biztosítható. Annál nagyobb gondot okoz ma még technológiai szempontból a folyékony vegyszerek lebegő szennyezésektől való megtisztítása, miután a már említett vízsűrők anyaga nem korrózióálló. A kérdés ugyan elvben megoldott, mivel a nedves szűrő gyártó cégek rendelkeznek olyan 0,2  $\mu\text{m}$ -es pórusméretű korróziós vegyszereknek ellenálló (teflonhártából készült) abszolút szűrőkkel, melyeken a vegyszerek megsűrűsülnek.

Ugyancsak megoldott a szűrők szerkezeti anyag problémája is. Ezek a szűrők azonban meglehetősen drágák. A probléma egyrészt az, hogy a szilárd részecskék folyamatos és biztos meghatározása folyékony közegben a már említett lézeres módszer segítségével is csak 1  $\mu\text{m}$  szemcse nagyság felett lehetséges biztosan az az alatti szemcseméretre vonatkozó pontos információkat csak egy újlagos szűrés és a szűrőn fennmaradt szemcsek elektronmikroszkópos vizsgálata adhat. Ez viszont időt rabló, drága, és csak nehezen automatizálható. A probléma másik része az, hogy az előbbi okból kifolyólag igen nehéz megállapítani, hogy az eredetileg szűréssel megtisztított oldat a technológiai folyamatok közben mikor és mennyire szennyeződik el részecskékkel. Így a biztonságos megoldás inkább az, hogy a vegyszereket közvetlenül a felhasználás előtt a gyártóhelyen zárt edényekbe szűrik [2], és onnan szűrt préslevegő segítségével továbbítják a felhasználás helyén levő tartályba. Ezen módszer alkalmazása azonban a gyártó helyen a felhasznált szűrő mennyiség jelentős növekedésével, illetve a berendezések egyszeri jelentős beruházásával van összekötve. Miután csak ez utóbbi módszer nyújt garantált biztonságot, az évezred végére valószínűleg ez a módszer fog elterjedni, a szűrt vegyszerek iránti igény csökken, ugyanakkor a szűrőberendezések és szűrőanyagok iránti igény nő.

### 3. A fotolitográfiában alkalmazott módszerek változásából következő változások

Mint láthattuk [1], a jelenlegi fotolitográfiai eljárások az 1980. évi színvonalhoz képest az évezred végéig nagy valószínűséggel számtalan technológiai és berendezésbeli változás előtt állnak. Ezek a változások egyrészt az elektronlitográfia valószínű elterjedése, másrészt a plazmatechnológia általános alkalmazása irányába mutatnak technológiai szempont-

ból. Így az anyagigények változása is olyan irányban várható, hogy egyrészt a fotolitográfiában alkalmazott lakkokkal szemben támasztott követelmények fognak módosulni (elektronérzékenység, plazmaállóság, könnyű eltávolíthatóság plazmagázzal stb.), másrészt a felhasznált vegyszerek is a plazmatechnológia irányába fognak eltolódni, ahogy arra még kitérünk. Ma még nem látható, hogy a közvetlen, vagyis a fényérzékeny lakkréteg nélküli litográfia mennyire fog tért hódítani, az azonban már látszik, hogy a röntgenlitográfia valószínűleg nem lesz olyan nagy jövőjű, mint azt öt évvel ezelőtt jósolták (maszkprobléma) [1]. Ami az oldószereket, előhívókat és rögzítő oldatokat illeti, ezeknek megváltozását a fotolitográfiához használt fényérzékeny fotólakk anyagának megváltozása szükségképpen magával fogja hozni.

#### 4. Nedves kémiai eljárások

Ide soroltuk mindazon műveleteket [1], ahol az egykristály szelet felülete folyékony halmazállapotú anyagokkal érintkezik. Ezen műveletcsoporttal kapcsolatban alapvetően a jövőre nézve a következő főbb megállapításokat tehetjük:

- A már említett okok miatt az összes folyékony állapotú anyag szilárd lebegő szennyezésektől való megszabadítása már most elsőrendű fontosságú, és ez a jövőben még nagyobb jelentőségű lesz.
- Minden olyan folyékony anyagnál, mely a szilícium egykristály felületével közvetlenül érintkezik (pl. víz, fluorsav, ammóniumfluorid stb.), a technológiai követelmények megszigorításával és a minőség egyenletességének követelményével kell számolnunk.
- Minden olyan vegyszernél, mely csupán az egykristály lemez felületén képzett oxidréteg feletti rétegre hat, a jelenlegi követelmények kielégítőnek látszanak a szilícium-dioxid réteg maszkoló hatása miatt. Kivételt képez az az eset, amikor MOS áramkörök esetén a vegyszer a „gate-oxidál” érintkezik. Ez esetben az alkáli fém tartalmat valószínűleg 0,1–0,01 ppm értékig kell csökkenteni, ami csak megfelelő csomagolóanyag biztosításával lehetséges [2, 6, 7, 8, 9].
- A klasszikus nedves kémiai módszerek használatának csökkenésével vagy éppen elmaradásával kell számolnunk a plazmatechnológia fokozott alkalmazása miatt (lásd később), ami egyes vegyszerek szükségletében drasztikus csökkenést fog okozni.
- A nedves felületek megszáritására minden esetben olyan módszereket fognak alkalmazni, melyek a felületen idegen szilárd szennyezők ráakódását meggátolják.

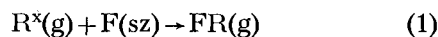
Összességében a fentiek alapján tehát azt mondhatjuk, hogy az évezred végéig a nagy tisztaságú víz és az oldószerek kivételével folyékony vegyszerek alkalmazásának jelentős csökkenésével kell számolnunk.

#### 5. Plazmakémiai eljárások

A száraz úton (gáz- vagy gőzfázisból) végrehajtott eljárások közül kiemelten kell kezelnünk a plazmakémiai eljárásokat, melyek célja akár egy-egy réteg felvétele, akár annak eltávolítása lehet plazmakészülékkel aktivált gázfázis segítségével. Ennek oka nemcsak az, hogy ez az eljárás fejlődött 1970–1980 között a legrohamosabban a technológiai eljárások közül, hanem az is, hogy használatával egy sor olyan technológiai problémát is megoldhatunk, melyek a klasszikus nedves eljárásoknál csak igen nehezen vagy egyáltalán nem oldhatók meg. Az eljárás fejlődésével 1978-ig részletesen két korábbi közleményünkben [17, 18] foglalkoztunk, és arról ez idáig több értékes monográfia jelent meg [19, 20]. A fejlődés még most is olyan rohamos, hogy ezzel kapcsolatban nagy számú közlemény jelenik meg állandóan, és a legutóbbi svájci nemzetközi félvezető technológiai kiállításon rétegtávolítási és rétegfelviteli eljárásokról szinte egyeduralkodónak látszik [16].

A plazmás eljárás elvben a gáz–szilárd heterogén reakciókon alapszik (ellentétben a klasszikus marási eljárásokkal, ahol folyékony–szilárd heterogén reakciók játszódnak le) és azzal jellemezhető, hogy bár a plazmakisülés révén a gázban átmenetileg keletkezett reaktív vegyületek vagy gyökök esetleg a többmillió fokos gázban keletkező anyagok mennyiségének és minőségének felelnek meg, mégis a gáz, illetve szilárd felület hőmérséklete a 100–200 °C tartományban marad. Az eljárásnál olyan reakciókat használunk, ahol a keletkezett termékek (marásnál) is gáz alakúak, csak úgy, mint a szilárd fázisban levő komponensek, a rétegtisztítási eljárásnál a szilárd fázis vagy magában a gáz fázisban vagy az alapelem felületén keletkezik, és így igen egyenletes réteget kapunk.

A plazmás eljárás általános kémiai reakcióegyenletét sematikusán a következőképpen írhatjuk le: Marásnál



míg a rétegtisztításnál az



típusú plazmareakciót használjuk. Az (sz) és a (g) halmazállapotra, az  $x$  jelölés a gerjesztett állapotra utal, míg  $R_1$  és  $R_2$  különböző típusú, a plazmakisülés által gerjesztett reaktív gyök vagy vegyület. A kezelendő felület legfelső rétegének anyaga  $F$ .

Mivel a plazmagerjesztés által előállítható reaktív anyagok mennyisége és minősége a plazmás technológia paramétereinek változtatásával igen széles skálán belül variálható és automatizálható, a technológia rendkívül rugalmas, sőt, ha az [1], illetve [2] reakciókban levő bármelyik vagy mindegyik komponensnek elektromos töltést biztosítunk, akkor megfelelő nagyságú elektromos erőteret alkalmazva a reakciót irányfüggővé tehetjük, vagy megfelelő helyre irányíthatjuk, ellentétben akár a klasszikus eljárásokkal, akár a nem plazmagerjesztésű gáz–szilárd heterogén reakciókkal, ahol ez elvileg sem lehetséges.

Az elmondottakból számunkra az alábbi lényeges megállapítások következnek:

- Miután az eljárást zárt térben előzőleg megszárt gázokkal visszük végbe, a lebegő szennyezések problémája automatikusan megoldódik.
- A gáztérben lefolyó kémiai reakciók a plazmakisülés miatt csökkentett nyomáson minden szempontból sokkal előnyösebbek, és kevesebb vegyszer kívánnak.
- A reakciókomponenseknek a felülethez, illetve a felületről való diffúziója sokkal nagyobb (a csökkentett gáznyomás és koncentráció miatt), és az egész reakció a gázkeverék alkalmas megváltoztatásává optimalizálható, automatizálható és a marás (leválás) sebessége konstans értéken tartható.
- A készülékbe bevezetett és onnan kilépő termékek gáz alakúak lévén a folyamat környezet- és egészségvédelmi szempontból sokkal könnyebben kezelhető, főleg akkor, ha figyelembe vesszük a szükséges mérgező vegyületek koncentrációját és mennyiségét [17–20].
- A nedves mosási és tisztítási eljárások nagy része elhagyható.
- A felhasznált anyagok mennyisége és minősége, valamint koncentrációja a klasszikus eljárásokhoz képest kisebb.
- A technológiai reakció iránya és mértéke befolyásolható, ami lehetővé teszi az ún. harmadik dimenzió [1] kihasználását, vagyis pl. meredek falú, egyenletes mélységű „árkok” vagy egyenletes rétegek készítését.

Mivel az eljárás elvileg is más úton éri el ugyanazt a célt, mint a klasszikus eljárások, természetesen elvileg is másfajta összetételű, halmazállapotú, koncentrációjú és minőségű anyagokat használ. Összehasonlításként — a teljesség igénye nélkül — bemutatjuk a 2. táblázatot, ahol az egyes, ma már üzemszerűen használt technológiai műveletek plazmás és klasszikus megfelelőjét állítottuk szembe egymással.

A táblázatból azonnal látható, hogy a plazmatechnológia általánossá válásával — ami a VLSI-technológia művelésének elengedhetetlen feltétele — a technológiai folyamatokban használt anyagok minősége és mennyisége jelentősen változni fog. Főleg igaz ez a nagy tisztaságú maró anyagok esetén, melyek iránt az igény nagymértékű csökkenése várható az évezred végéig. Ugyanakkor egyre újabb és újabb klórozott és fluorozott szénhidrogének használata várható, főleg a gáz halmazállapotúak vagy a nagy gőznyomású folyadékok területén. E növekedés azonban nem lesz mennyiségi, hanem inkább minőségi, vagyis többféle anyagból egyenként és összességében sokkal kevesebbet használnak majd. Ugyancsak várható a minőségi követelmények megváltozása: egyes esetekben szigorodása (főleg a gáz halmazállapotú szennyezők esetén), más esetekben enyhülése. (Pl. olyan nehézfémekkel szemben, melyeknek gáz halmazállapotú komponensei nincsenek, jelentős minőségi engedményeket tehetünk.) A gázokat „vivő” nem reaktív gázok (Ar, Ni, He stb.) mennyisége várhatóan nő, a minőségükkel szemben támasztott követelmények azonban lényegesen nem változnak majd (az 5N tisztaság már ma is majdnem általános).

A plazmás eljárásokkal ma üzemszerűen csak két eddigi klasszikus művelet nem helyettesíthető biztonságosan: a szilícium-dioxid réteg marása szilícium alapon (ablaknyitás), illetve az ún. MOS-oxid készítése. Ezt figyelembevéve az évezred végéig az ehhez a művelethez szükséges folyékony fluor-tartalmú vegyületek mennyiségében és minőségében változás alig várható, a MOS-oxid létesítéséhez pedig főleg a későbbiekben említendő klasszikus gáz-szilárd heterogén reakcióra számíthatunk.

A plazmás rétegleválasztások területén a szilícium-nitrid készítése ma már a modern eljárásoknál bevett gyakorlat, azonban az ún. védőüvegek, valamint poliszilícium réteg készítésénél a kérdés ma még egyértelműen nem dőlt el a plazmás eljárás javára. A 2. táblázat adataiból viszont az következik, hogy az évezred végére a salétromsav, a hidrogénperoxid és kénsav mennyiségének jelentős csökkenése várható, az első kettő — döntő módon — a fotoreziszt réteg eltávolításának egyértelmű plazmatechnológiai megoldása miatt. Miután az elektronlitográfia bevezetése — valószínűleg — a króm-maszk felhasználás csökkenéséhez is vezet majd, a krómozott üveglemezek marásánál felhasznált klasszikus technológiai és plazmás vegyszerek mennyiségének csökkenése, illetve az előbbieket használatának teljes megszűnése várható.

## 6. Diffúzió és ionimplantáció

Mint említettük [1], az ionimplantáció az 1980-as évek technológiája, egyelőre azonban még maszkos kivételben. Teljes körű bevezetése csupán egyszerűbb eszközöknél nem indokolt. Ezért nem valószínű, hogy a transzportreakciós diffúziós eljárásoknál előrelépés következik be, de használatuk még az 1990-es évek közepéig biztosan fennmarad.

Az ionimplantációs eljárás elterjedése miatt új anyagok szükségesek, melyek a kiválasztott technológia szerint vagy gáz halmazállapotú vegyületek (kloridok, fluoridok) vagy nagy gőznyomású szilárd anyagok. Miután azonban az implantor elvileg is szennyezés-szelektíve működik, az anyagokkal szemben támasztott minőségi követelmények enyhítésére valószínűleg mód nyílik. Itt csupán azon szennyezőseknél nem várható enyhülés, melyek a berendezést belsőleg elszennyezhetik. A maszk kérdése, vagyis a maszk nélküli „ion writing” eljárás bevezetése még az évtized végéig általánosan nem várható, így maszkoló anyagra és litográfiára itt is szükség lesz.

## 7. Rétegleválasztási módszerek

A korszerű rétegleválasztási módszerek ma már a gáz-szilárd heterogén kémiai reakciókon alapulnak. A réteg minősége szerint kétféle típusú eljárást tárgyalhatunk: az ún. epitaxiális egykristály rétegnövesztést és a szigetelőrétegeket. Tárgyalhatnánk még a fotoreziszt rétegeket is, melyekkel azonban a 3. pontban már részletesen foglalkoztunk.

Az idesorolt rétegek a korszerű technológiákban a következő tulajdonságokkal rendelkezhetnek:

- különböző tulajdonságú polikristályos rétegek,
- félvezető tulajdonságú polikristályos rétegek,
- szigetelő tulajdonságú polikristályos rétegek,
- fémrétegek.

A fémrétegek készítését külön fejezetben tárgyaljuk.

Az igen jól reprodukálható, elektromos szempontból definiált tulajdonságú szilícium-dioxid rétegeket (ún. MOS-oxid) nem szükséges tárgyalnunk, mert ezek ma ismert legjobb előállítási módja a szilícium egykristály felületének definiált körülmények között történő termikus oxidációja.

Az epitaxiális szilíciumrétegek előállítására olyan kiforrott technológiák állnak rendelkezésre, hogy a meghatározott tulajdonságú (vastagság, vezetési típus, fajlagos ellenállás, egyenletesség, kristályhibák stb.) epitaxiális rétegekkel ellátott egykristályszeletek kereskedelmileg beszerezhetők, s így általában nem is szükséges azokat a technológiai folyamatban előállítani.

Mint említettük [1], a kémiai rétegleválasztás az epitaxiális rétegleválasztás kivételével az 1990-es évekre az LPCVD és a PCVD irányába tolódik el. Az ebből eredő változásokat vegyszerek területén a 3. táblázatból olvashatjuk ki:

Sorszám	Eljárás	Nyomás	Használt gázok
1.	CVD	atm.	SiH <sub>4</sub> /v; PH <sub>3</sub> /v; AsH <sub>3</sub> /v; B <sub>2</sub> H <sub>6</sub> /v; NH <sub>3</sub> ; NO <sub>2</sub> ;
2.	LPCVD	csökken- tett	SiH <sub>4</sub> ; PH <sub>3</sub> ; B <sub>2</sub> H <sub>6</sub> ; N <sub>2</sub> ; O <sub>2</sub> ;
3.	PCVD	csökken- tett	SiH <sub>4</sub> /v; N <sub>2</sub> ; B <sub>2</sub> H <sub>6</sub> /v; O <sub>2</sub> ; H <sub>2</sub> ; A;

ahol „v” a vivógázt jelenti, mely semleges gáz vagy hidrogén.

Ezenkívül várható részben az epitaxiális eljárásnál, részben másutt is az SiCl<sub>4</sub> illetve monoszilán helyettesítése diklórszilánnal. Ennek következtében egyes esetekben a felhasznált nagy tisztaságú sósav-gáz mennyisége csökken, a minőségi igények viszont nem. A mennyiségi igények a PCVD on-line változatában növekedni fognak a zsílipelések miatt, főleg a semleges gázoknál, a minőségi igények viszont valószínűleg nem változnak.

#### 8. A vezetőréteg felvitele

A ma már hagyományosnak mondható tiszta és ötvözött alumínium rétegek megmaradása mellett magas olvadáspontú fémek és azok vegyületei, illetve ötvözetei kellene majd. (Wo, Mo, Ta, Ti, Cr, Ni, szilicidok stb.) Ezekből lényeges mennyiséget azonban az évezred végéig nem várhatunk a technológiában, de megjegyezzük, hogy a különböző szilicidok rohamosan terjednek.

A vezetőrétegek felvitelének módja ugyan megváltozik (magnetronos porlasztás), de ez az anyag-

választékot és az azzal szemben támasztott műszaki követelményeket nem befolyásolja, ha csak azt nem tekintjük, hogy a fenti anyagokból nemcsak huzalok és granulátumok, hanem meghatározott alakú formadarabok (targetek) is szükségesek.

Várható még egyes esetekben a túlalélékolt (vezető) szilícium polikristály rétegek alkalmazásának növekedése a fém vezetőrétegek mellett. Ennek felviteli módja az előzőekben tárgyalt LPCVD-módszer. Várható ezenkívül a többszintű fémezési rendszerek, illetve a speciális konstrukciók elterjedése is.

#### 9. Szerelés, tokozás

Lényeges változás ezen a téren egy évtizeden belül csak abban várható, hogy a szerelőszalagnak jelenleg használt 42% Ni-tartalmú vasötvözetet — ahol csak lehet — annál sokkal olcsóbb vastartalmú réz-, illetve ezüsttartalmú rézötvözet fogja kiváltani. Ez a folyamat már az egész világon megindult, és egyik jelentős gátja csupán az, hogy a tokozási folyamatnál, illetve az azt követő galvanizálásnál problémák mutatkoznak, amelyek azonban nem jelentősek. A többi anyaggal kapcsolatos minőségi követelmények változása a szerelés esetén nem várható.

Mint említettük, a kivezető arany mikrohuzalok helyettesítésére arany-palládium ötvözzel vagy arany-szilícium mikrohuzalokkal intenzív munka folyik, de a technológiai problémák olyan jelentősek, hogy ezek eredménye még nem teszi ma lehetővé az arany teljes vagy részleges kiváltását, és ma nem lehet megjósolni, hogy ez a folyamat mikor válik majd rohamossá. Nagy valószínűséggel ez a kérdés azonban az évezred végéig megoldódik, vagyis az aranyhuzalokat az arany-tartalmú mikrohuzal ötvözetek vagy alumínium-tartalmú mikrohuzal alkalmazása mellett technológiai kiváltás fogja pótolni, ultrahangos módszerrel, de esetleg anélkül is.

A tokozóanyagok területén a kerámia és a fémüveg-toknál változás nem várható. Mindkét tokozási forma alkalmazási területéről már tettünk említést, ezeken a helyeken — valószínűleg — ugyanezeket fogják alkalmazni. Lényeges változás várható azonban a műanyag tokok területén.

A jelenleg használt tisztán epoxi-alapú tokozógyanták minősége ma megfelelő, de tömegesebb gyártásuk esetén áruk olcsóbb lesz. Jelenlegi ismereteink szerint a szilikon és epoxi összetett tokozóanyagokkal folytatott amerikai kísérletek nem váltották be a hozzáfűzött reményeket. Ugyanez vonatkozik a tisztán szilikon-alapú tokozóanyagokra is, melyeknek gázáteresztő képessége és a kivezetőkhöz való elégtelen tapadása a félvezető eszköz élettartama szempontjából nem előnyös. A legutóbbi kísérletek arra irányulnak, hogy a szilikon fröccsajtoló anyagok tulajdonságait olyan módon változtassák meg, hogy azok a fenti két problémát kiküszöböljék. Amennyiben ez sikerül — és ez az 1990-es évek közepére várható üzemileg —, úgy az évezred végéig az ilyen tulajdonságú szilikon fröccsajtoló anyagok valószínűleg részben vagy teljesen kiszorítják az epoxi tokozóanyagokat. Azt azonban, hogy ez az „áttörés” mikor következik be, pontosan igen nehéz volna megmondani.

Az elmondottakból látszik, hogy ha nagy bonyolultságú monolit integrált áramkörök készítése technológiájában használt különleges minőségű anyagokat tekintjük, annak ellenére, hogy várhatóan ezen áramkörök termelése és felhasználása rohamosan emelkedik, minden egyes ma használt anyagra nézve ez a tendencia nem érvényes.

A változások egyik lényege az, hogy az igények nagymértékben növekedni fognak a tiszta munkaterekkel és az infrastruktúrával kapcsolatos anyagokkal szemben (szűrők, víz, lebegő szennyezések stb.). Ugyanakkor az is látható, hogy a technológiában felhasznált vegyszerek egy részének használata csökkenni fog, különösen vonatkozik ez a „klasszikus” kémiai szelektív marások tekintetében, más részüknél a minőségi követelmény fog megváltozni, mint pl. a fotorezisztéknél. Lesznek olyan anyagok is, melyeknek szükséglete állandó marad, de minőségi követelményük (pl. koncentrációjuk a vívógázban vagy tisztasági fokuk) változni fog. Nagy valószínűséggel a tiszta fémekről az adalékolt polikristályos szilíciumra, illetve a nitridekre való fokozott áttérés várható, ezért az előbbieket felhasználása a növekvő gyártás ellenére is konstans marad, az utóbbiaké pedig ma még nehezen jósolható mennyiségben és minőségben nő.

Egészen biztos a plazmakémia és az ionimplantáció térhódítása, ezért erre a célra új típusú, főleg gáz halmazállapotú vagy alacsony forráspontú vegyületeket fog használni az ipar.

A szerelési és tokozási eljárások valószínű módosulása következtében a tiszta szilikon-alapú tokozóanyagok szerepe a jelenlegi minőségben csökken, a hibrid (epoxi- és szilikon keverék előretörése nem várható, ellenben új típusú, esetleg felületileg kezelt szilikonvegyületek vagy más tokozóanyagok felhasználása az évszázad végéig egészen biztosra vehető. Ugyanez vonatkozik a szereléshez használt anyagokra is, különösen a mikrohuzalokra. Mivel ez utóbbiak nem tartoztak közleményünk tárgyába, erről részletesebben nem is szóltunk.

#### Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetet mondanak Glaser Péter munkatársuknak a munka során kifejtett diszkuszióért és hasznos tanácsokért.

- [1] *Hangos I.*: A nagytisztaságú monolit- és hibrid-áramkörök előállítási technológiájának legfontosabb fejlődési irányai. *Híradástechnika*, 34, 8–9, 407–419.
- [2] *Klire, S. D.*: *Electronic Chemicals in Western Europe*. Manufacturing Chemists, 1983. márc. 62–65. old.
- [3] *Schuerzel, R. E.*: *New Materials for Electronics and Electrooptics, Some Speculations and Peck into Futures*, Chemicals and Materials for Electronics programme. (Lecture) London, 1984. jan.
- [4] *Cardwell, M.*: *Materials for Optoelectronics Systems*. (Lecture) Chem. and Mat. for M.E. programme, London, 1984.
- [5] *Ledwith, A.*: *Polymers for Microlithography*, (Lecture) l. előbb.
- [6] *Broers, A. N.*: *Materials Requirement for Integrated Circuits Fabrication*, (Lecture) l. előbb.
- [7] *MacCall, D. W.*: *Electronic Chemicals in U.S.* (Lecture) l. előbb.
- [8] *Odagawa, K.*: *Futuore prospects of Jap. El. Ind.* (Lecture) l. előbb.
- [9] *Cohen, A. B.*: *Advances in Microelectronics through Chemical and Photoimaging*, (Lecture) l. előbb.
- [10] *Hangos I., Tornai I.*: „A nagytisztaságú munkaterekkel kapcsolatos főbb követelmények és azok kielégítésére alkalmazott általános módszerek”. *Korszerű Technológiák*, 1980. 4. sz. 21–35. old.
- [11] *Hangos I.*: „A híradástechnikai és elektronikai alkatrészek gyártásánál szükséges technológiai infrastruktúra problémái I. és II. *Korszerű Technológiák*, 1981. 1. sz. 12–23. old., 2–3. 28–36. old. (1981).
- [12] U.S.A. 209. b. sz. nemzeti szabvány (1973. ápr. 24.).
- [13] VDJ. 2083. sz. NSZK szabvány.
- [14] *Flanders: VLSI, Filter Class 20 (0,12 μm)*. Prospektus (Zürich, Semicon, 1984).
- [15] *Sartorius GmbH, Laborfiltration, Mikrobiologie, Elektrophorese, Gesamt Katalogen Sammlung*, 1983.
- [16] *Kormány T.*: *Ütjelentés a „Semicon 1984” c. félvezetőtechnológiai kiállításról (1984)*.
- [17] *Hangos I., Lénárt M., Dévényi N.*: „A plazmakémia alkalmazásának helyzete és perspektívái az elektronikai iparban”. *Korszerű Technológiák*, 1980. 3. sz. 28–43. old.
- [18] *Hangos I., Lénárt M.*: *Mikroelektronikai Technológiák*, 4. HIKI Kiadvány, 1979.
- [19] *Rosenbluth, M. N., Sagdeev, R. Z.*: *Handbook of Plasma Physing. Part. 4*. North Holland Physics Publishics Co. 1983.
- [20] *Galcev, A. A., Sudan, R. N.*: *Basic Plasma Physics*, North Holland Physics Publ. Co. 1983.
- [21] *Schneider, H. G., Ruth, V., Kormány, T.*: *Advances in Epitaxie and Endotaxie*, Elsevier Ed. (NY, 1977).
- [22] *Stinson, C. S.*: *Chemical and Engineering News* 61, 32, 7–12, (1983).
- [23] *Merck, E.*: *VLSI Selectipur Katalog (1984)*.