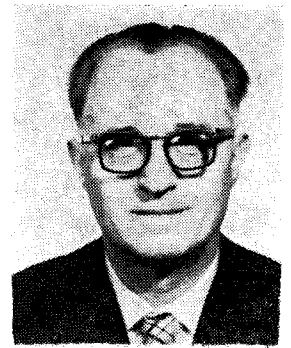


A nagy integráltságú monolit és hibridáramkörök előállítási technológiájának legfontosabb fejlődési irányai

DR. HANGOS ISTVÁN

Mikroelektronikai Vállalat Budapest



ÖSSZEFOGLALÁS

A szerző áttekinti a nagybonyolultságú monolit- és hibridáramkörök készítésénél alkalmazott technológiai lépések fejlődését az utolsó 20 év folyamán. Megállapítja, hogy az évszázad végéig nagy valószínűséggel az összes technológiai lépésnél magasfokú automatizáltság, a mikroprocesszoros vezérlés és az emberi munka közvetlen kikapcsolása, mint általános tendencia várható, valamint az egyes, hőkezelést igénylő műveleteknél a minél alacsonyabb kezelési hőmérsékletre való törekvés.

1. Bevezetés

Az integrált áramkörök első típusainak megjelenésekor az azokat konstruáló szakemberek még nem is sejtették, hogy ezekkel olyan óriási fejlődést indítanak meg a félvezetőeszközök gyártásában és felhasználásában, mely végül az egész ipart forradalmasító mikroprocesszorok és memóriák kifejlődéséhez vezetett. Azon egyszerű, de lényeges gondolat ugyanis, hogy az egyszerű diszkrét félvezetőeszközöket nyomtatott áramkörökkel szerelési egységekké összekapcsolt, egymással csereszabatos alkatrészek helyett ugyanazon technológiai műveletben lehetett ugyanilyen teljesítményű egységeket előállítani, számtalan előnnyel járt, így az első eszközök megjelenése után a felhasználók fokozott igénye visszahatott a gyártó ipar fejlődésére is. Az integráltsági fok, vagyis az egy hordozón létrehozható elemek számának növekedésére a kezdeti tapasztalatok alapján felállított tétel, mely szerint az integráltsági fok éventeként kb. egy kettes faktorral növekedni fog, egészen a hetvenes évekig igaznak bizonyult.

A továbbiakban feltételezzük, hogy e munka olvasói előtt a monolit- és hibridáramkörök alapvető technológiai lépései ismeretesek, így elegendő csak az elmúlt 15 év fejlődése alapján az évszázad végéig várható technológiai fejlődés perspektíváit felvázolnunk, a részletekkel kapcsolatban az érdeklődőknek a hivatkozott összefoglaló szakirodalmi munkák tanulmányozását ajánljuk.

Munkánk célja így azon alapvető tendenciák áttekintése, melyektől az integráltsági (bonyolultsági) fok, valamint a technológia hatásossága függ, és annak vizsgálata, hogy az elmúlt 15 év fejlődését tekintve e technológiákban milyen fejlődési tendenciák várhatók az évszázad végéig.

2. Az egyes technológiai műveletek fejlődése az utolsó 15 év folyamán

Az integrált áramkörök készítésénél a műveletek célja szempontjából alapvetően kétféle típusú művelettel találkozunk: helykijelölő (lokális) és hely-

DR. HANGOS ISTVÁN

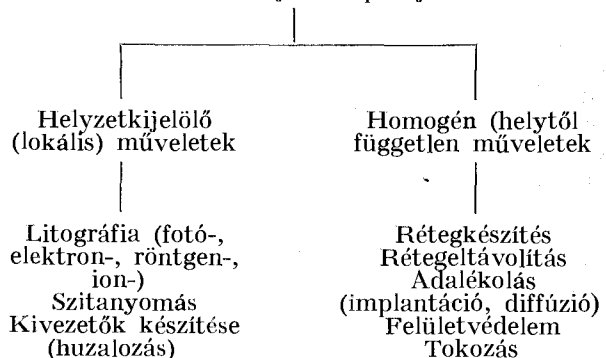
1950-ben fejezte be egyetemi tanulmányait az Eötvös Lóránt Tudományegyetem Természettudományi karán, ahol okleveles vegyész képzést nyert. 1958-ban a Műszaki Tudományok Kandidátusa, 1960-ban a vegyészdoktori, 1974-ben a Műszaki Tudományok Doktora tudományos fokozatokat szerezte meg. Jelenleg a Mikroelektronikai Vállalatnál tanácsadó. Az elmúlt 33

évben elsősorban félvezető anyagokkal, egykristálykészítéssel, nagyfeszítésgű anyagok készítésével és félvezető eszközök készítésével foglalkozott. Foglalkozott ezen kívül 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 rivós nyugati folyóiratokban. (▲)

tői független (homogén) műveletekkel, ahogy azt az 1. sz. ábrán láthatjuk.

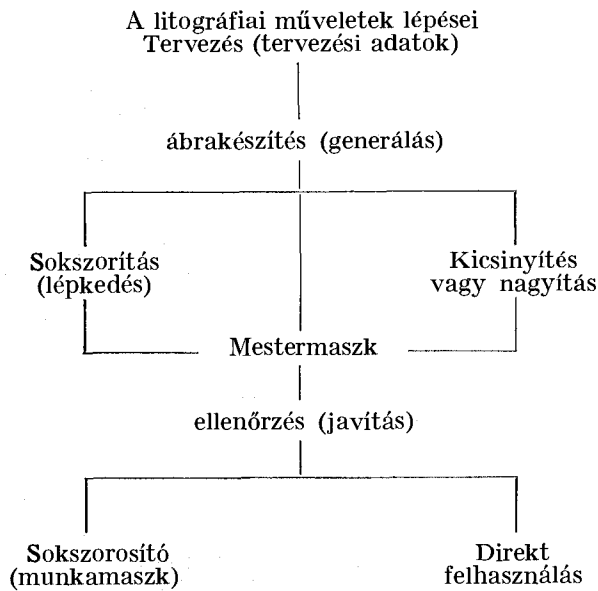
Az integrált áramkörökben a helykijelölő műveletek révén alakul ki az ún. „ábra”, melynek segítségével azután egy homogén művelettel a kívánt helyen a kívánt tulajdonságú felületi réteget kialakíthatjuk. A monolit- és a hibridáramkörök egymástól csak abban különböznek, hogy a homogén műveletet az előbbi esetben magán a félvezetőkristályon, utóbbi esetben pedig egy szigetelő alapon hajtjuk végre. A hibridáramköröknél alkalmazott szitanyomás tehát önmagában tulajdonképpen homogén művelet, melyet lokálissá, csak az tesz, hogy a vastagrétegpasztákat az alaplemezzre fotolitográfiai úton előállított maszk alkalmazásával visszük fel. Figyelmünket így elsősorban a litográfiára kell fordítanunk. Ez a művelet, (ha nem az elektron ill. ionlitográfia direkt írásos megoldásait választjuk; 1. később) alapvetően egymással többé kevésbé összefüggő 3 alpműveletre bontható fel, ahogy azt a 2. sz. ábra mutatja.

a technológiai műveletek csoportosítása a művelet célja szempontjából



1. ábra

Beérkezett: 1982. XI. 17.



2. ábra

Jelenleg a litográfia a leggyakrabban alkalmazott technológiai művelet, nagy bonyolultságú monolit integrált áramkörök technológiájában legalább 5–12 alkalommal kerül alkalmazásra.

Ákarmilyen technológiát alkalmazunk azonban a művelethez olyan „maszkra” van szükségünk, amelynek segítségével az ábra kialakul. Az ábra rajzolatának hű képe az ún. mestermaszk, melyet a további lépésekben közvetlenül, vagy sokszorosítás után használjuk fel arra, hogy a képet az alapra leképezzük.

Az ábra megtervezése nem tartozik tárgykörünkbe, így ennek problémáit mellőzzük. A maszknak megfelelő ábra elkészítése azonban már maga is technológiai művelet, és azt fényérzékeny fotólakk (vagy elektronsugarakra, ill. röntgensugarakra érzékeny lakk), segítségével készítjük el (ábragenerálás). Ennek „klasszikus” módja az volt, hogy a tervező által elkészített ábrát egy különleges tulajdonságú, ún. rubilitilemezre felrajzolták. Ez egy-két műanyag lemezről álló lemez, melynek felső része színes, alsó része átlátszó. Ezután a rajzolatot felületén éles szerszámmal bevágták, és a nemkívánt részekről a színes fóliát eltávolították, majd az egész lemezt kifeszítve nagy pontosságú fényképezőgéppel kellő méretre kicsinyítik. Így áll elő a megfelelő nagyságú áramkör képe, melyet azután „léptetéssel” egymás mellé fényképezve sokszorosítanak, és a mestermaszkot elkészítik. Mivel ebben az időben a kontakt másolás volt az uralkodó, a mestermaszkról ugyancsak fotografikus úton másolatokat készítettek, és a technológiában ezeket használták (munkamaszkok). Ez a technológia azonban csak az LSI alsó határának eléréséig volt megbízhatóan alkalmazható (MOS áramköröknél ez kb. a 256 bites memória) bonyolultabb áramkörök esetén ma már nem használják, de hibridáramkörök, kerámiatokok és szitanyomó sablonok készítésénél ma is ez a legolcsóbb.

A bonyolultság (integráltsági fok) növekedésével az optikai ábragenerálás került előtérbe, melyet szá-

mitógép, vagy egy azzal előállított lyukszalag vezérel. Itt a maszklemez (fotólemez vagy fényérzékeny lakkal ellátott keménykróm vagy vasoxid-bevonatú üveglemez) egy xy tengely mentén precízen elmozgatható asztalon van rögzítve, a berendezés pedig jól fókuszálható optikával van felszerelve. A fény-sugár intenzitásának változását a lyukszalag vagy számítógép vezérli, ugyanez vezérli a rögzített asztalon levő maszklemez elmozdulását is. Ezen a berendezésen nemcsak maga a rajzolat, hanem annak sokszorosítása is egy műveletben elvégezhető, tehát az ún. „lépkedést” elhagyhatjuk, és a mestermaszkot közvetlenül kapjuk a megfelelő előhívó, rögzítő és marató műveletek után. Az optikai ábragenerálásnál a fény pont méretei meghaladják az atomi vagy molekuláris méreteket, így akár fotóemulzió, akár közbülső (Cr vagy vasoxid) réteg esetén felbontási problémák elvileg nem jelentkeznek, csupán az alkalmazott fény és a fotólemez vagy fotólakk érzékenységet kell összehangolni. Az optikai leképés felső határát az alkalmazott fény-sugár hullámhossza szabja meg, ez még a 253 nm-es „deep UV” gerjesztésnél is biztonságosan 2,5 μm -es finomságot enged meg 0,5 μm -es toleranciákkal. Ennél finomabb leképésre már csak az elektronsugaras és röntgensugaras eljárások alkalmasak melyek drágábbak, a sugárveszély miatt problematikusabbak, és röntgensugaras esetben a maszk anyagával szemben támasztott követelmények is fokozódnak.

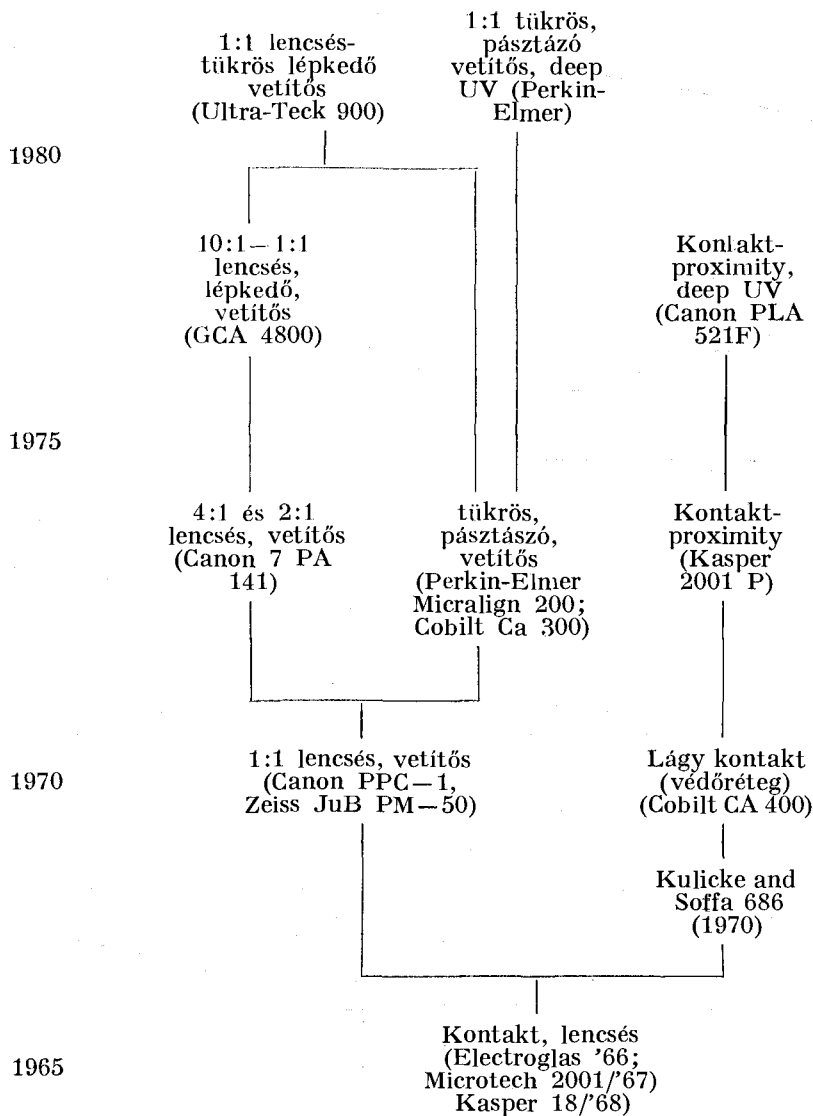
A következő művelet a maszk képének (ábra) átmásolása az alapra.

Hibridáramkörök esetén a szigetelőalapra az ún. szitanyomó pasztát visszük fel, úgy, hogy a maszk ábráját tartalmazó réteget vékony műanyag vagy fémszita felületen alakítjuk ki. A szitanyomópasztát az ábrán levő „nyitott” helyeken kerül érintkezésbe az alappal. Az ábrák geometriáját és a paszták tulajdonságait szisztematikusan változtatva (12, 61, 70, 71) az általunk kívánt helyeken így az alapon megfelelő tulajdonságú passzív elemeket (vezető, szigetelő, ellenállás, kondenzátor, védőréteg stb.) alakíthatunk ki.

Monolit integrált áramkörök esetén az ábra átmásolása az alapra nem egy, hanem több műveletből áll, és a nagyobb elemsűrűség miatt sokkal bonyolultabb.

Az első művelet az ún. lakk-kép kialakítása. Ennek érdekében az alapon rendszerint centrifugálással és szárítással egy vékony, homogén, egyenletes fényérzékeny lakkréteget alakítunk ki, és ezt a maszkon keresztül megvilágítjuk, előhívjuk, és rögzítjük. Pozitív fotólakk esetén így magát a képet (a lakk a megvilágított helyekről oldódik) negatív fotólakk esetén ennek inverzét (a lakk a megvilágított helyeken polimerizálódik) kapjuk az alapon. E technológiai lépés fő problémája a „maszklemez” illesztése, vagyis az a mód, ahogyan a maszklemez, ill. ábrát a lakkrétegen elhelyezzük. E technológiai lépés utolsó 15 évi fejlődését szemléltetjük [1] a 3. ábrán. Az ábrán példaként a különböző a kereskedelemben kapható egyes berendezéseket is bejelöltük a teljesség igénye nélkül.

Az ún. kontakt illesztés lenne az ideális, a gyakorlatban azonban több hátrány is jelentkezik:



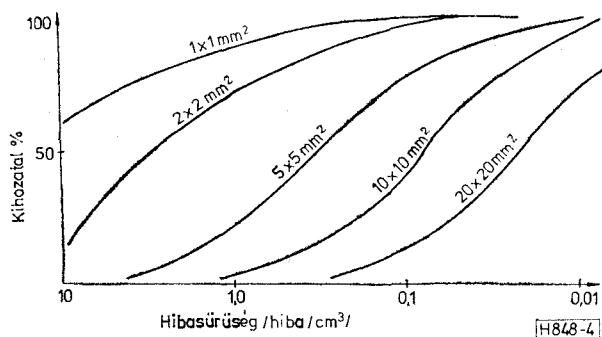
A maszkmásoló berendezések fejlődése az utolsó 15 év folyamán

3. ábra

- A lencses rendszerekkel megvalósítható éles kép optikai és technikai okokból maximálisan 3''-os szeletnél valósítható csak meg, a felbontóképesség pedig maximálisan 2,5 μm .
- Ha ugyanazt a maszkot még egyszer használjuk, a szennyeződések miatt a hibahelyek száma a felhasználás gyakoriságának függvényében rohamosan nő.
- A mestermaszkról a munkamaszkokra való áttérés is lehet hibaforrás.

A fentiekből következik, hogy még a legkeményebb réteggel rendelkező ún. vasoxid-alapú maszkok esetén is nagyobb felületű vagy nagyobb bonyolultságú áramköri elemeknél a kihozatal katasztrofálisan csökken [2], esetleg a gyártás is lehetetlenné válik. A 4. ábra 12 fotólitográfiai lépést tartalmazó technológia kihozatalára ad becslést különböző chip-mérettek esetén.

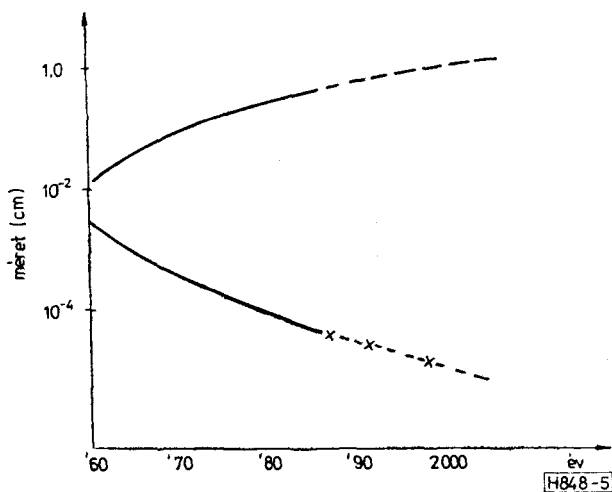
Az integráltsági fok növekedésével a fejlődés két irányban indult meg a hatvanas évek végén: a kon-



4. ábra

taktáló erő csökkenése (lágy kontakt, proximity) és az optikai leképzés (vetítés) irányában. [3].

A nyolcvanas évek elején a fokozódó igények szükségessé tették a rövidebb hullámhosszú fényre való áttérést, a nagyobb szeletekre való áttéréssel kap-



5. ábra

csalatos optikai nehézségek pedig az ún. léptető rendszerek kialakítását, melyeknek elvét már a maszkkészítés kapcsán ismertettük. Mindkét esetben közvetlenül a mestermaszk alkalmazható, maszk-sérülés nincs, a léptető rendszer pedig — habár lassúbb — kiküszöböli a léptetett mestermaszk készítését. A léptetés automatikus vezérlésű, úgy hogy csak az első ábrát kell a kezelőnek beállítania.

Az említett változások számos optikai, kémiai, fizikai és mechanikai probléma megoldását igényelték, ezekre azonban itt nem kívánunk kitérni. [1–10]

A jövő fejlődése szempontjából meg kell említeni az elektronsugaras és a röntgensugaras leképzési rendszert is, ilyen berendezések ma már működnek, de az egyszerű beruházási költség jelentős. Ugyanilyen reményteljes még az implantáció maszk nélküli használata a diffúziós folyamatoknál (ion-writing) is, [11].

A fotólitográfia fejlődése szempontjából nagyon tanulságos az 5. ábra, melyen bemutatjuk a ténylegesen elért, és a 2000-ig jósolt felbontási és integráltságnövekedési adatokat [13].

A prognózisok és tényadatok szerint 1960–2000-ig a minimális litográfiai ábraméret csökken, ugyanakkor az áramkör felülete várhatóan nő, e kettő

együtt nagymértékű integráltságifok-növekedést eredményez egy-egy áramkörön belül.

A heterogén technológiai műveletek tárgyalását ezzel egyelőre befejezhetjük. A szitanyomás alapelvei az előbb tárgyalt maszkkészítési eljárások kivételével közismertek [12, 61] a kivezetők készítését pedig célszerű a *VLSI* és a *HLSI* áramkörök készítő technológiája után tárgyalni.

A lakk-kép előhívása után a legfontosabb művelet a kép átvitele az alapra. Az alap lehet maga az egykristály is, de legtöbb esetben az egykristályon levő réteg, mely pl. a Si felületén már levegőn is önmagától kialakul. Több esetben definiált tulajdonságú réteget viszünk fel az alapra, hogy az a következő, rendszerint hőkezeléssel járó folyamat alkalmazása esetén a felület általunk kívánt részeit megvédje, más esetben szigetelő, vagy epitaxiálisan növesztett, az alaplemez tulajdonságaitól eltérő egykristályos a réteg (28). Ezért — sokszor még a litográfia művelete előtt az alaplapon definiált tulajdonságú, homogén, egyenletes összetételű és szerkezetű réteget kell készítenünk (pl. *MOS* eszközök esetén az úgynevezett szigetelő-oxid).

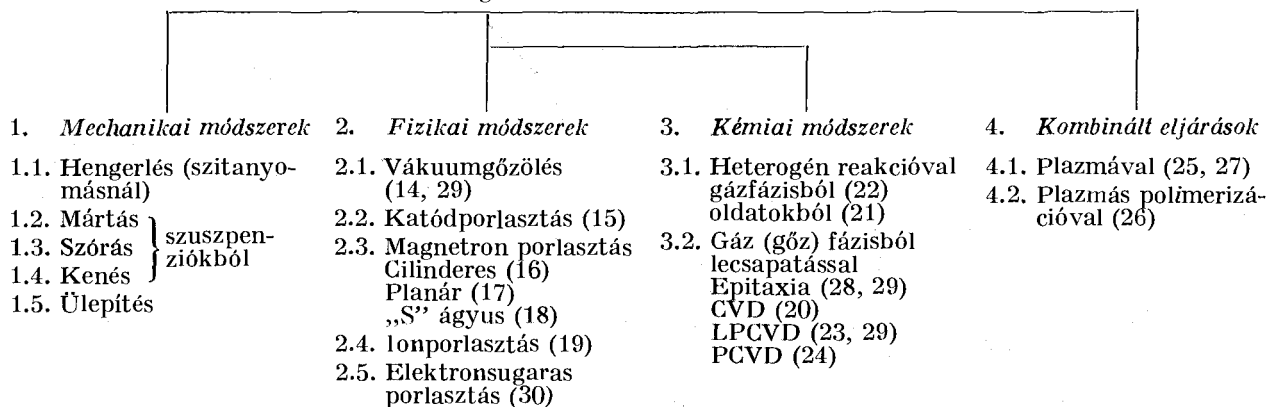
A rétegekészítési és felviteli eljárások homogén műveletek, tehát az egész felületen mennek végbe a helytől függetlenül, és hogy hatásukat mely helyeken fejtsék ki, azt éppen a litográfiai műveletekkel és az azt követő marási és lakkeltávolítási műveletekkel érjük el. Ezen műveletek kiviteli módjuk szerint a 6. ábrán feltüntetett módon osztályozhatók.

A mechanikai módszerek közismertek. Főleg a vastagréteg-áramkörök előállításánál, vagy az egykristályfelületek megfelelő mechanikai tulajdonságainak kialakítására (polírozás, vágás, csiszolás) használják. A fizikai, kémiai és kombinált műveletekkel kapcsolatos részletekre az olvasó a hivatkozott szakirodalomban találhat részletesebb adatokat. A 3. ábrához hasonlóan azonban itt is felvázoljuk az utolsó 15 év fejlődésének útját, melyet a 7. ábrán tüntettünk fel.

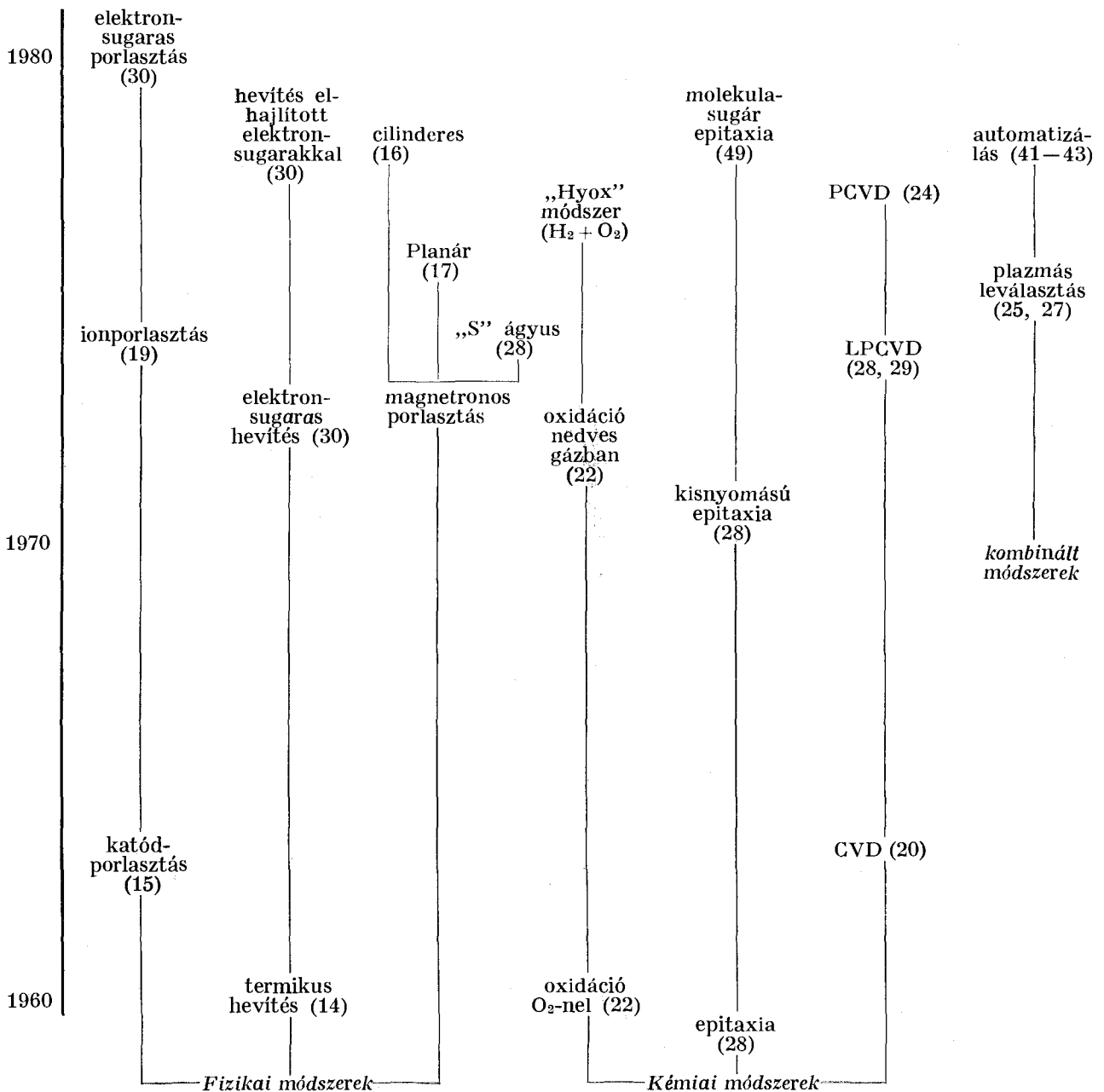
A 7. ábrához a következő megjegyzéseket lehet fűzni:

a) A kémiai eljárásoknál a heterogén (szilárd-gáz) reakciók közül kiemelt jelentőségű Si alapkristály esetén a felületi oxidréteg készítése, főleg *MOS* esz-

A rétegelőállítási módszerek elvi felosztása



6. ábra



7. ábra. A rétegelválasztási eljárások fejlődése az utolsó 20 év folyamán

közöknél. Ez a lépés mai tudásunk szerint a legmegbízhatóbb.

b) A kombinált eljárások közül a polimerizációs reakciókat elsősorban szerves makromolekuláris rétegek előállítására alkalmazzák jelentőségük ma még alárendelt.

c) A fizikai módszerek általában a fémrétegek, a kémiai módszerek pedig a nemfémes rétegek felvitelére használatosak, és

d) az oldatból való kémiai leválasztások fémrétegek készítésére alkalmasak, jelentőségük azonban nagybonyolultságú áramkörök esetén nem nagy.

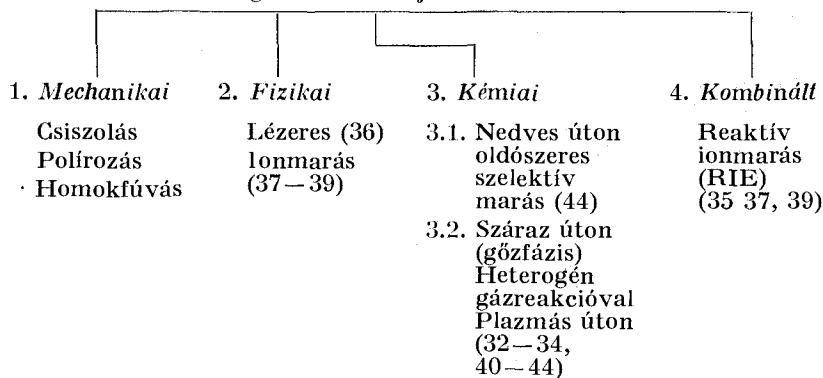
A jelenleg kifejlesztett eljárások már olyan rétegek előállítására is alkalmasak, melyeket nagybonyolultságú (VLSI) áramkörök készítésénél üzem-

szerűen alkalmazni lehet. (1 μ m-es vonalvastagság és 0,5 μ m-es térközök).

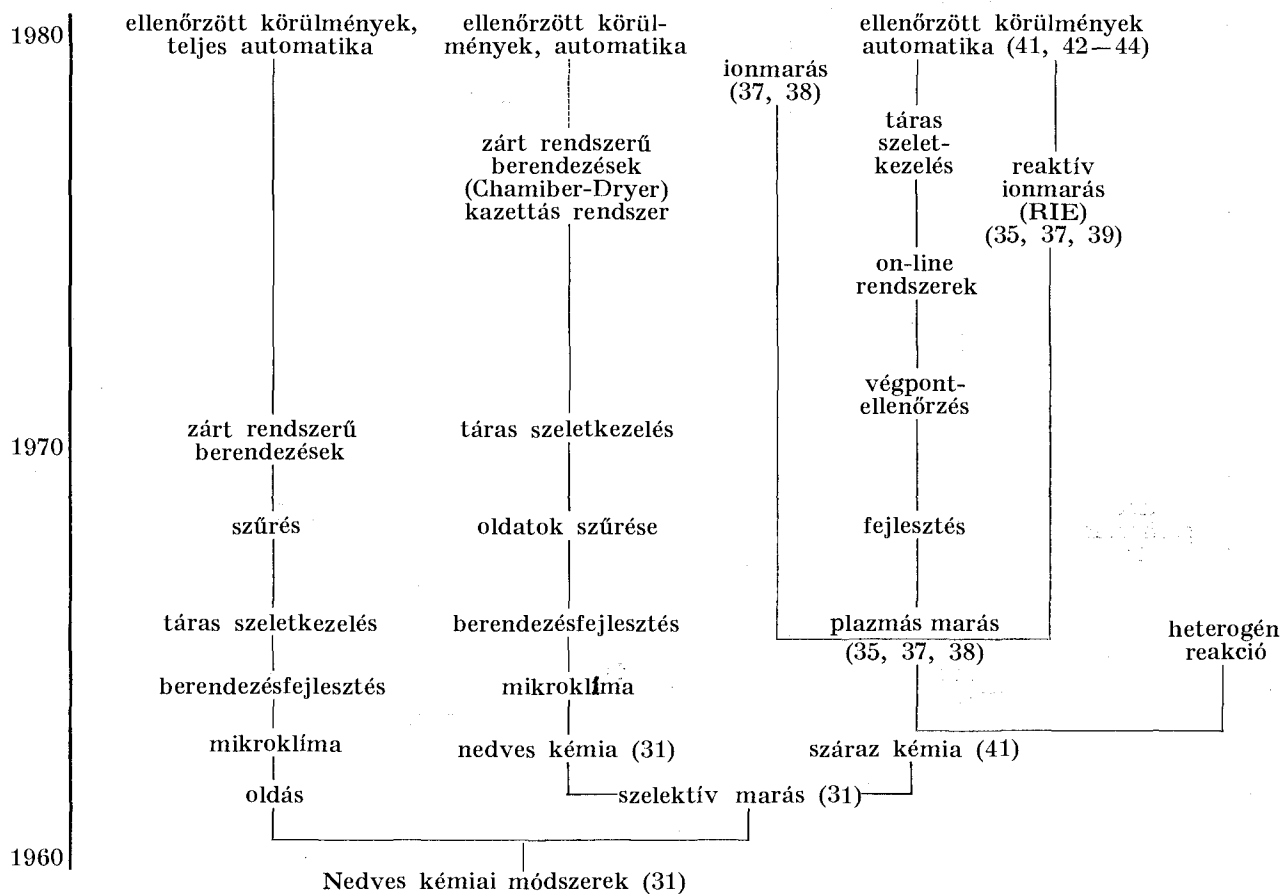
A rétegelváltási módszerek legalább annyira fontosak a technológiában, mint a litográfia. Ezen módszerek teszik lehetővé ugyanis, hogy a litográfiával leképzett lakk-képet az alaplemezre, vagy az azt borító, az előbb említett eljárásokkal felvitt rétegre „átmásoljuk”. E módszereket elvileg a 8. ábrán megjelölt módon csoportosíthatjuk, a részletekre vonatkozóan a hivatkozott szakirodalomra utalunk.

A mechanikai eljárások közismertek, a nagyintegráltságú áramkörök technológiájában csak a vas-tárgyregaszták ellenállásértékének beállítására, illetve az alaplemez megmunkálására (csiszolás, vágás, polírozás) használják fel. Alkalmazásukkor a lokális hőhatás felléptével és az ezzel járó problémákkal

A rétegeltávoltítási eljárások elvi felosztása



8. ábra



9. ábra. A rétegeltávoltítási eljárások fejlődése az utolsó 20 évben

A technológia megnevezése	10 μm	5 μm	2 μm	1 μm	0,5 μm
Szelektív nedves m.	→	-----			
Száraz, plazmás m.		→	-----		
Reaktív ionmarás			→	-----	

10. ábra. A reprodukálhatóan előállítható minimális ábraméret a ma üzemszerűen alkalmazott rétegeltávoltítási technológiáknál (45)
 ————— = jelenlegi; ----- = elvileg elérhető

okvetlenül számolnunk kell [36]. A többi feltüntetett eljárás egymást kiegészíti, illetve a technológia szükséges továbbfejlesztése miatt jött létre.

Ezt a fejlődési folyamatot mutatjuk be a 9. ábrán.

A rétegeltávolítási eljárásoknak a kialakítandó ábraszervezet szempontjából fontos jellemzője az eltávolítási (marási) sebesség, annak irányfüggése (izotróp vagy anizotróp) és az eljárás szelektivitása. Ez utóbbin azt a követelményt értjük, hogy az eljárás az eltávolítandó réteget marja, míg ugyanakkor a maszkoló (pl. fotólakk) réteggel, illetve az alappal vagy a rajta levő marni nem kívánt réteggel lehetőleg ne lépjen kölcsönhatásba. Az egyszerű fizikai oldást ma már csak a lakk-kép előhívásánál és a szennyezések eltávolítására használják, a többi eljárás alkalmazása az előbb említett három tulajdonság optimalizálásának lehetőségétől és az eszközkészítés szempontjaitól függ.

A fejlődés egyre inkább a száraz maratási és kombinált eljárások alkalmazására mutat. Fotólakkréteg vagy Si_3N_4 eltávolítására már csaknem kizárólag ezt használják, a nedves eljárások elsősorban az oxidrétegek marásánál vannak túlsúlyban, mivel ezek a többi eljárást szelektivitásban jelentősen felülmúlják. Itt viszont az ún. „alámarás” [45] okoz problémát. A száraz eljárások alkalmazásával csökken a felhasznált vegyszerek mennyisége, és az azokkal szemben támasztott követelmények a klimatikus feltételek biztosítása pedig — éppen a zárt rendszer miatt — nem okoz jelentősebb gondot [32, 83]. Éles, meredek kontúrú ábraképekhez inkább a fizikai eljárások vezetnek, marási sebességük azonban nem mindig kielégítő, így a kombinált és fizikai módszerek (pl. RIE) térhódítása egyre intenzívebb. Az utolsó 10 évben jelentős szerepet kapott az automatizálás, a társ rendszerű szelektív kezelés, az on-line készletképzés és az infrastruktúra, melyekről még később szólnunk. Ezen feltételek és berendezések meghonosítása azonban jelentős egyszeri tőkebefektetést igényel, így az áttérés nem olyan gyors, mint azt várni lehetne.

A maratott ábra finomságára nézve a nedves, a száraz (plazmás) és a kombinált eljárások teljesítő-képességének összehasonlítását [45] a 10. ábrán szemléltettük.

Az integráltsági fok növelésénél az adalékolás, mint technológiai lépés egyre nagyobb szerepet játszik. Míg ugyanis az első integrált áramkörök gyakorlatilag csak kétdimenziós szerkezeteknek voltak tekinthetők, az integráltsági fok növelésével a harmadik dimenzió, a különböző tulajdonságú rétegek mélységi elhelyezkedése is egyre nagyobb szerepet játszik. Ezt szemlélteti az adalékolási technológia utolsó 15 évi fejlődése, melyet vázlatosan a 11. ábrán láthatunk. A részleteket az olvasó a hivatkozott szakirodalmi munkákban találhatja.

Ma az első két technológiát már csak elvétve alkalmazzák, általánosan elterjedt a gázfázisú diffúzió, finomabb szerkezetek esetén pedig az ionimplantáció.

Magának az adalékolási folyamatnak részletes elemzésére sem térünk ki, az érdeklődőknek az összefoglaló legújabb szakirodalmat ajánljuk [46–48]. Azzal a lépéssel, mellyel az ionimplantációs készülé-

ket on-line berendezéssé fejlesztették, üzemszerző alkalmazása elől az utolsó jelentős akadály is elhárult. A súlypont ezért a jövőben ezen eljárásra jut. A gázdifúzió csak azokon a helyeken marad meg, ahol a még viszonylag drága implantációs eljárás alkalmazása nem indokolt. Fokozott előretörésre számíthat még a lézeres hőkezeléssel kombinált adalékolás is, ahogy arra még kitérünk.

Az implantáció üzemszerű alkalmazása már a 80-as évek technológiája, kiviteli módjainak elvi felosztását a 12. ábrán szemléltetjük. Részletproblémákra a legújabb összefoglaló szakirodalomban [50–54] találunk adatokat.

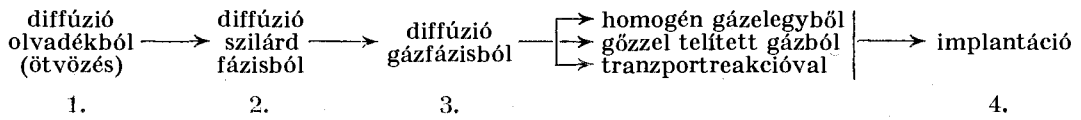
A komplexitás növelése a harmadik dimenzióban (réteges technológia), valamint egyéb szempontok (sekély p-n átmenet, ellenőrzött felületi szennyezéskonzentráció, kristályhibák és feszültségek keletkezése stb.) egyre inkább a lézersugaras technológiák alkalmazását igényli. Erre az első kezdeti lépések már a 80-as évek elején megtörténtek, rohamos elterjedésük a 90-es évek végére várható.

A következő technológiai lépés a felületvédelem célját szolgálja, feladata a már elkészült áramkörök felületi minőségének megőrzése a használat folyamán, alkalmas megválasztott védőréteg segítségével. Ezt hibridáramkörök esetén szitanyomással viszik fel, monolitáramkörök esetén homogén rétegfelviteli eljárással és ebbe a rétegbe a kontaktuskivezetők számára fotólitográfiai úton „ablakot” maratnak be. A kontaktálás utáni műanyag (szilikon) lakkos felületvédelmet és általános szigetelési célokra plazmás úton előállított filmeket is alkalmaznak még jelenleg, ez azonban egyre alárendeltebb szerepet játszik, és valószínűleg a nagybonyolultságú áramköröknél 1990-ig gyakorlatilag megszűnik.

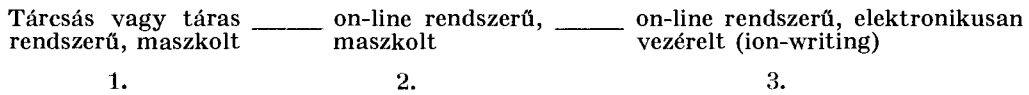
A *szervetlen* (lakkot nem tartalmazó) felületvédő rétegek anyaga alkalmasan megválasztott alacsony olvadáspontú üveg, melyet a monolitáramköröknél egy lépésben, a felvitel közben, a vastagréteg és hibridáramköröknél a szitanyomás utáni második lépésben megolvasztják (hőkezelik). E műveletnél lényeges, elvileg új technológiai módszer kifejlődése az évtized végéig nem várható.

Mielőtt a nagybonyolultságú hibridáramkörök (*HLSI*) problémáit érintenénk, a tokozási művelettel kell foglalkoznunk, mivel ennek továbbfejlesztett alkalmazása teszi lehetővé a *HLSI* szerkezet megvalósítását.

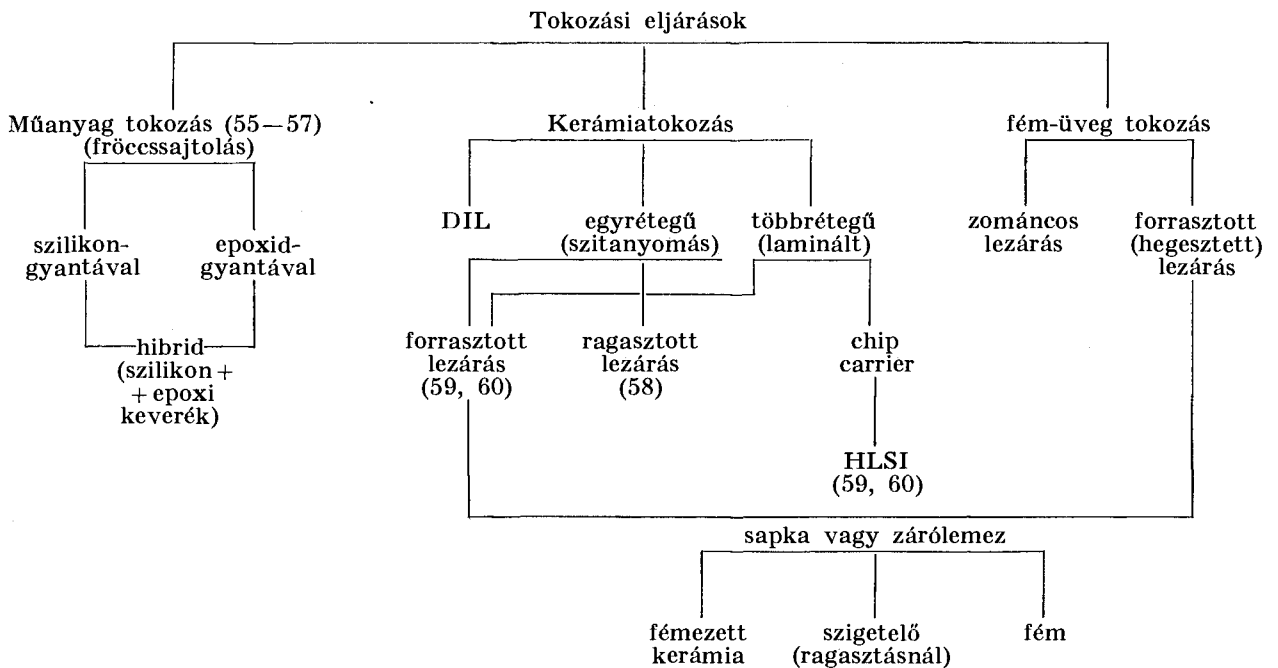
A félvezetőeszközök egyik korszerű megjelenési formája a műanyag tokos kivitel, melynél a fém kivezetőszalagra (frame) szerelt aktív félvezetőelemeket a viszonylag olcsó fröccssajtolásos eljárás segítségével műanyag házzal vesszük körül. A műanyag a sajtolás előtt megfelelő tulajdonságú műanyag préspor vagy granulátum, összetételét tekintve szilikongyanta vagy epoxigyanta. Ma ez a tömeggyártásban a legelterjedtebb eljárás, és a 90-es évek közepéig valószínűleg az is marad. Továbbfejlesztése a hibrid vagy keverékgyanta-tokozás, mely a kétféle alapanyagból áll, és igyekszik mindkettő előnyeit egyesíteni. A klasszikus hibridáramkörökben is műanyag tokozású áramköröket építenek be. A jövő tendenciája itt a hibrid- és a szilikon-tokozás előretörése [55–58].



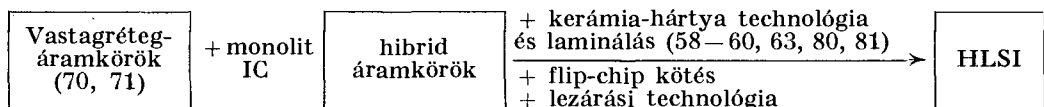
11. ábra. Az adalékolási eljárások fejlődése a félvezetőeszköz-technológiában



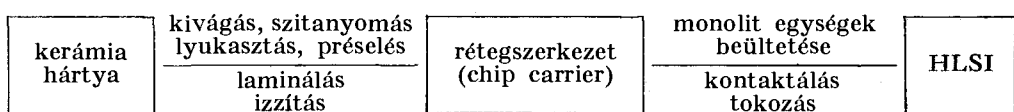
12. ábra. Az implantációs eljárások fejlődési tendenciája



13. ábra



14. ábra. A HLSI technológia kifejlődésének sémája



15. ábra. A HLSI technológia blokksémája

Egyes speciális alkalmazási területre, vagy egyedi eszközöknél más tokozási eljárásokat is kidolgoztak, melyeket összefoglalóan a 13. ábrán tüntettünk fel. A részletekről az ábrán hivatkozott szakirodalomban tájékozódhatunk.

A tokozás előtt az áramkört hordozó fémszalagot (frame) vagy szitanyomással készült fémsíkot elektromosan össze kell kötni az áramkörön levő kivezetési pontokkal. Ez a művelet történhet a tokozással együtt is (ma ez látszik a fejlődés egyik útjának), így a HLSI-vel együtt tárgyaljuk.

A HLSI (Hibrid Large Scale Integration) áramkör vagy eszköz az integrált áramkörök technológiájában ma az 1 cm³-re eső legnagyobb elemsűrűséget biztosítja. Miután azonban előállításra meglehetősen költséges, és előbb említett jó tulajdonságait csak kivételes esetekben lehet kihasználni, jelenleg csak speciális célokra, nagykapacitású, de kis terjedelmű berendezésekben használják. Előállítási technológiáját a kerámia-hártyatechnológia, a vastagréteg-technológia és hibridtechnológia, a chip-carrier technológia és a kerámia-rétegtoktechnológia szellemes összekapcsolásával alakították ki, ahogy azt vázlatosan a 14. ábrán láthatjuk.

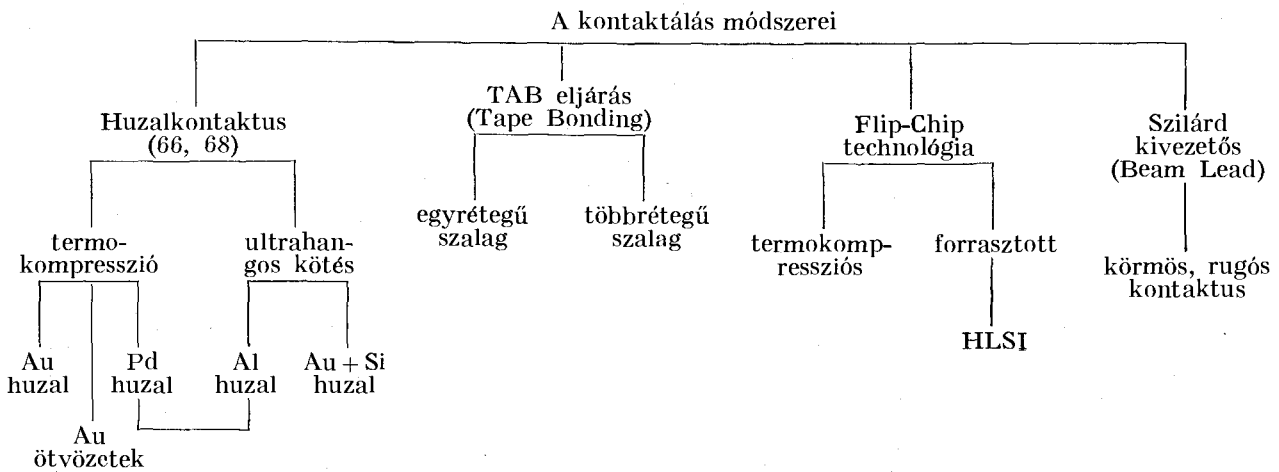
A részleteket az érdeklődők a hivatkozott szakirodalomban megtalálhatják. A HLSI áramkörök készítésének blokk-sémáját vázlatosan a 15. ábra tünteti fel.

Az ábrához az eddig elmondottak alapján külön magyarázószöveg nem szükséges. Az elkészült rétegszerkezet lezárása akár műanyag ragasztással [58] akár a szokásos lágyforrasztásos úton történhet.

A modern integrált áramkörök ma ún. lábaskivitelűek, vagyis az áramkört egy ötvözött acélból készült kivágott fémkeretre rögzítik, melyet nemesfémbevonattal védik korrózió ellen. A műanyag tokozás után a lábakat meghajlítják, így a szerkezet pókhoz, vagy százlábúhoz hasonlóan önmagában is megáll, vagy alkalmasan választott rugós csatlakozókba nyomva rögzíthető. Abban az esetben, ha a kivezetőszál szitanyomással készült fémréteg, a „lábakat” e réteghez forrasztják hozzá. Ahhoz tehát, hogy az integrált áramkör feladatát betölthesse, a kivezetőlábakat és az áramkör kivezetőcsatlakozóit elektromosan össze kell kötni. Ez a művelet a kontaktálás, melynek ma ismert módszereit a 16. ábrán mutatjuk be.

Jelenleg a legelterjedtebb a huzalozás, mert ez nagymértékben rugalmas mind a különböző technológiai mint a tokozási változtatásokkal szemben, ezért széles körűen alkalmazható mindenfajta áramkör és mindenfajta tokozás esetén. Jelentős hátránya, hogy egyszerre csak egy kötés létesíthető, és így a termelékenységet csak igen nagyfokú automatizálással lehet növelni, ami tetemes egyszeri tőkebefektetést igényel. 1980-ban az integrált áramkörök kivezetéseinek huzalozásánál mintegy 2·10¹¹ db kötetést létesítettek, és ez várhatóan a jövőben az eljárás részleges visszaszorulása ellenére is évente mintegy 20–25%-al nő.

Az Al huzalkötés főleg fémüveg és fémkerámia [64] [65] házak (tokok) esetén alkalmazzák. 1980-ban ez az összes kötések mintegy 15%-át tette ki. Az Au huzalozás (termokompresszió) könnyebben automati-



16. ábra



17. ábra

zálható, 1-1 kötés időben modern gépeknél csak 0,2–0,4 sec-et vesz igénybe az Al huzalozás 0,6–0,8 sec-jével szemben.

Az évi 15–20%-os költségnövekedés, és ugyanakkor az integráltsági fok és a chip-méret növekedése miatt várható, hogy az évtized végére a gyártásban csak elektronoptikai illesztéssel ellátott berendezések fognak működni, a kézi szerelés a kutatási és fejlesztési tevékenységre szorul vissza [65] [68]. Ennek realizálásához azonban még sok fizikai, metallurgiai és technológiai problémát kell megoldani.

Miután az 1980-ban a termokompressziós eljárás-hoz felhasznált 25 μm -es aranyhuzal mennyisége elérte az 5–6 tonna mennyiséget, a technológusok most részben ötvözött Au huzalok kifejlesztésére, részben az Au-nak Pd-val való helyettesítésére indítottak kísérleteket, mindkettő azonban még kutatási stádiumban van. Nagyon ígéretesnek mutatkoznak azok a kísérletek is, melyet az Al drót termokomprimálási felhasználhatóságát vizsgálják [69]. Sokan úgy vélik, hogy ezen eljárás még az évtizedben egyed-urakodóvá válhat [80], [81].

Az integráltság fokozásának kérdését képezi a huzalozás és tokozás szempontjából a TAB és a flip-chip technológia. Mindkettő azonban olyan alapelemek igényel, mely a felhasználandó áramkör szempontjából egyedi fémzéssel készül, s melyeknél a hátoldali kötés alkalmazásáról az esetek túlnyomó többségében le kell mondanunk. Ezért a technológiák ma még csak korlátozottan alkalmazhatók, és csak nagy darabszámú gyártás esetén kifizetődők. Műszaki és tudományos szempontból a flip-chip (chip-carrier) technológia az ígéretesebb.

A TAB technika tulajdonképpen a huzalos technológia és a flip-chip technológia között áll. Ha ugyanis a félvezetőeszközök csatlakozási pontjain kis, kúpszerű pontokat képezünk ki forrasztóanyagból, vagy fémről, és egy, az adott félvezetőeszköz-rendszerre jellemző ábrát készítünk egy, esetleg többretegű fémmezett műanyag fólián, akár a műanyag hátyából való kivágás, akár litográfia útján, az összes kötetést egy műveletben tudjuk végrehajtani, ezáltal az egy kötésre jutó kötésideő, és a gazdaságosság is nő [81–83]. Az érintkező részek anyagi minősége szerint ez a kötés lehet akár termokompressziós, akár ötvözéses, az eljárás azonban előnyt csak nagyobb darabszámú, azonos geometriájú rendszerek esetén jelent.

A hátoldalon levő kötés meglehetősen komplikált, így a felszabaduló hő rendszerint csak a homlokfalon levő kötések vezetik el [72]. E hátrány ellenére is a következő években e technológiával készült elemeknek mintegy 40–50%-os növekedését várják [64], [82], [83].

A flip-chip, vagy másnéven chip-carrier technológiáról már szoltunk, alkalmazását az évtized végéig csak speciális HLSI áramkörök vagy nagyberendezések esetén várják.

Ami a jövő perspektíváját illeti, valószínű, hogy az évtized végéig a modernebb kötési eljárások mellett az előbb említett eljárások gyors elterjedését és az igen rugalmasan alkalmazható huzalos kötetést ítélik jellemzőnek, évi 17–20%-os növekedési rátával [64] főleg akkor, ha az automatikus berendezéseknél és az Al felhasználásnál elérhető jelentős fejlesztési

tési tartalmakat is figyelembe vesszük. A szilárd (körmös) kivezetők jelentős elterjedése az 1990-es évekig nem várható.

Az integráltság fokozásánál nem hagyhatjuk ki azon alapvető követelmények biztosítását sem, melyek a mai és a jövőbeli nagybonyolultságú áramkörök megfelelő kihozatalú gyártását kell hogy biztosítsák. Ezeket címszavakban az 1. táblázatban foglaltuk össze.

1. táblázat

A nagyintegráltságú áramkörök gyártásához szükséges alapvető követelmények (infrastruktúra)

1. Nagytisztaságú gázok [74]
2. Nagytisztaságú víz [73]
3. Nagytisztaságú munkatermek (makro- és mikroklíma, [75])
4. On-line (táras, kazettás, automatikus továbbítású) szeletkezelés [76]
5. Nagytisztaságú vegyszerek [76]
6. Különleges minőségű anyagok (szerelés, tokozás)
7. Korszerű szeletellenőrzési módszerek [77]

Mindezeket hovatovább a gyártás „infrastruktúrájának” is nevezhetjük. Az ezekkel szemben támasztott műszaki követelményeket a táblázaton megjelölt hivatkozású legújabb összefoglaló szakirodalomban lehet bővebben megtalálni. Ugyancsak fontos az itt felhasznált anyagok minősítési eljárásainak fokozása, főleg az alapelem mikroinhomogenitása, diszlokációja, felületi simasága és egyenletessége, feszültségek, felületi görbülség foka stb. Ezek részletes tárgyalása azonban nem tartozik munkánk tárgykörébe.

3. Fejlődési tendenciák

A fejlődési tendenciák megállapításánál célszerű az eszközfelhasználók és eszközkonstruktorok szempontjaiból kiindulni.

Az első paraméter a méretcsökkentés alsó határa. [84–87] Ezek között vannak fundamentális (elvi), anyagi, elektronszóródás, mozgékonyosság, hibahely stb. eszközkonstrukciós (áramköri) rendszertechnikai, elvi-fizikai, és technológiai jellegűek. Mi csak a legutolsó kategóriával kívánunk röviden foglalkozni, melyek az említendő új technológiai eljárások [88] [89] bevezetésével is megszabják a gyakorlati technológia által kivitelezhető eszközök komplexitásának felső határát, legalábbis nem „emeletes” technológia esetén. Ezeket a 17. ábrán tüntetjük fel.

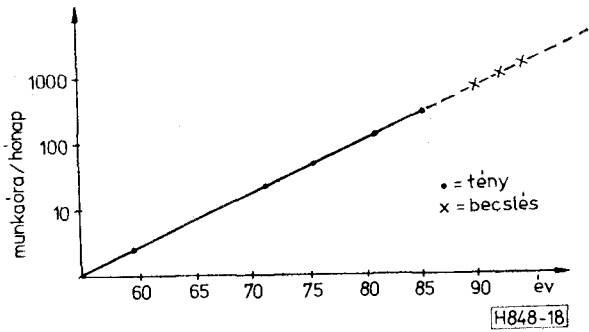
Az eszközfejlesztésre nagy hatással van az egy-egy áramkör kifejlesztésére felhasználandó munkaórák száma [78] melyet logaritmikusan ábrázolásban a 18. sz. ábrán tüntettünk fel.

Látható, hogy egy-egy új eszköz kifejlesztéséhez és realizálásához szükséges idő 1960–80-ig exponenciálisan növekvő munkabefektetést igényelt, a görbe hajlásszöge a logaritmikusan ábrázolásból meghatározva évenként kb. 2,5-szeres emelkedést mutat. Ha tehát az eszközfejlesztéssel foglalkozók száma a következő években nem ilyen arányban nő (ami már nem valószínű) akkor várható, hogy a felhasználók csak akkor fognak újabb, nagybonyolultságú áram-

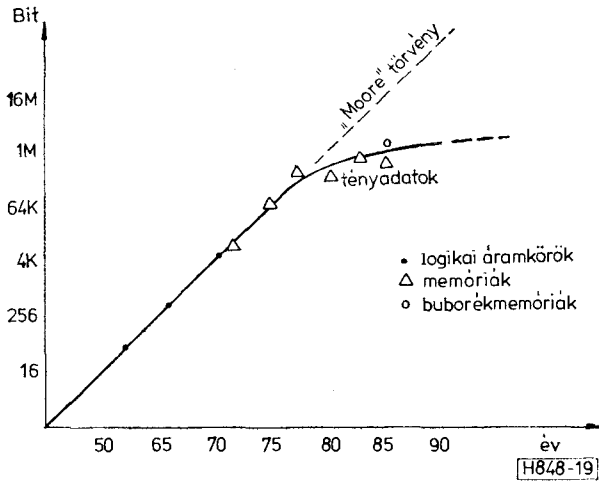
Az eszközkészítési technológia egyes fázisainak várható fejlődési tendenciája az 1980-1990 években

L = LSI, gazdaságosabb termelés
V = VLSI

Technológiai lépés	Várható fejlődési tendencia
Felületi oxidréteggé-sztítés (MOS)	Gőzfázisú HYOX
Ábragenerálás	Számítógép-vezérelt adattárolás, önellenőrzés
Maszkkészítés	„L” számítógép-vezérlés, optikai képalkotás, keménymaszk (Fe ₂ O ₃ v Cr), automatikus ellenőrzés, mechanikus többszörözés. „V” számítógép-vezérlés, elektronsugaras képalkotás, lépkedésre alkalmas mestermaszk. Automatikus ellenőrzés
Litográfia	„L” lakkfejlesztés, 3"-ig vetítős, a felett lépkedő-vetítős képalkotás, vagy távoli Uv és lágyillesztés (fejlesztés) „V” elektronsugaras képátvitel (lakkfejlesztés) röntgenlitográfia (maszkprobl.) Rövid („deep”) Uv, lépkedős vetítős ábra (mestermaszkrol), ion-writing
Képelőhívás és rögzítés	oldószer, gőzfázis, mikroklíma, táras szeletkezelés, IR hevítés
Rétegtávoltítás (marás)	nedves Kémiai (ahol más nem lehet) zárt tér, mikroklíma, táras szeletkezelés száraz kémiai: Plazmás (L) és RIE (V) kisüléssel marás fizikai ion-örlés (ionmilling)
Adalékolás	„L” gázdifúzió transzportreakcióval, implantáció „V” implantáció maszkkal és anélkül
Rétegfelvitel	Gáz v. gőzfázisból „L” (LPCVD) (L) plazmás reakcióval { plazmás bontás (L, V) PLPCVD (V) normál (L) automatikával epitaxia { molekulásugaras (V) v. folyadékából (L)
Fémréteg felvitel	magnetronos porlasztás
Szeletkezelés	táras rendszerű on-line, mikroklíma
Kivezető készítése	huzalos, automatikus (L) TAB, flip-chip (V)
Tokozás	kerámia, (V) rétegtok, műanyag tok, chip-carrier



18. ábra



19. ábra

köröket felhasználni, ha arra, okvetlenül szükség lesz, vagyis a nagybonyolultságú áramkörök választéka csökken. Erre mutat már az a tény is, hogy a MOORE által (79) felállított törvényszerűségtől (mely szerint a bonyolultsági fok évenként kétszerződik) már a hetvenes évek közepétől negatív eltérés mutatkozik, először a logikai, majd a memória áramköröknél, ahogy azt a 19. ábra mutatja [81][86].

A VLSI és HLSI áramkörök fejlődésének hajtóereje elsősorban az, hogy ha egy áramkört már megterveztünk és realizáltunk, a már gyártott áramköröknél az egy-egy aktív elemre eső költség kisebb lesz az integráltsági fok és a chipméret növelésével. Ezért, mivel a memóriaáramkörök teljesítőképességének kihasználtsági foka a logikai áramkörökhöz és a mikroprocesszorokhoz képest még mindig elég alacsony, fejlődés e tekintetben főleg a memória-

2. táblázat

A VLSI-k üzemszerű gazdaságos gyártásához megoldandó feladatok [81]

1. A gyakorlatban reprodukálhatóan elérhető maximális elemsűrűség meghatározása
2. A technológiai folyamatok kölcsönhatásának megállapítása
3. Új adalékolási eljárások kidolgozása
4. Gazdaságos litográfiai eljárás kidolgozása szubmikronos struktúrák esetén
5. Új kontaktuskészítési eljárások bevezetése
6. Új, a technológiai paraméterek kismértékű változására kevésbé érzékeny konstrukciók kidolgozása
7. Kétdimenziós konstrukciós modellek kidolgozása

áramköröknél várható. A mikroprocesszoroknál a kétszerezési törvény még valószínűleg a 90-es évekig érvényes marad, mivel ezek integráltsági foka jelenleg csak a 30–60 kbites memóriákkal azonos [80].

Az integráltsági fok növelésének (a *VLSI* és *HLSI* áramkörök biztonságos, megfelelő kihozatalú gyártásának) azonban még egy sor technológiai probléma megoldása is előfeltétele [81, 84, 89] melyeket vázlatosan a 2. sz. táblázatban állítottunk össze.

A felsorolt problémák megoldása a 80-as évek vége felé várható, de ez még tetemes kutató és fejlesztő munkát kíván.

Az eszközkészítési technológiák fejlesztésének másik nagy hajtóereje a minél jobb gyártási kihozatal. Ebből a szempontból a technológiák várható fejlődési irányait 1990-ig a 3. sz. táblázatban láthatjuk. Itt a *VLSI* irányában várható fejlődési irányokat „V” betűvel, az *LSI* irányában várható fejlődést „L” betűvel jelöltük meg.

A táblázatban az alaplemezzel, illetve a kész eszközök mérésével kapcsolatos tendenciákat – mivel ez nem tartozik tárgyunk körébe – nem tüntettük fel.

A technológia finomításának alapvető problémája, hogy a technológiai műveleteket minél tökéletesebb szerkezetű alaplemezen minél alacsonyabb hőfokon hajtsuk végre, minél tökéletesebb infrastruktúrával. Ez a lézeres műveletek, az „in situ” végzett műveletek, a műveletellenőrzés és visszazabályozás, és a fizikai eljárások várható előretörésére mutat. A méretek csökkenése egyúttal szükségessé teszi az eddigi tiszta fémek helyett az ötvözetek vagy szilicidok alkalmazását az aktív helyek összekötésénél. Mindezeket a 4. sz. táblázatban foglaltuk össze.

4. táblázat

A nagybonyolultságú integrált áramkörök technológiájának fejlődési tendenciái az évszázad végéig

1. Számítógépes, programvezérlésű automatikus maszk- és ábragenerálás.
2. A számítástechnika és az elektronika széles körű alkalmazása, teljesen automatizált önszabályozó, esetleg „in situ” műveletsorok
3. Az emberi manuális munka kikapcsolása, automatikus szelektálás és továbbítás on-line berendezésekkel,
4. Az infrastruktúra minőségi továbbfejlesztése
5. A száraz (kémiai, kombinált és fizikai) rétegmérési eljárások elterjedése
6. Az implantációs adalékolási technika általánossá válása
7. Eltolódás az alacsonyabb hőmérsékletű hőkezelések felé
8. A lézeres kezelések elterjedése
9. A vetítős (lépkedő) rendszerű, mestermaszkról dolgozó optikai maszkillesztők elterjedése, az elektron röntgenlitográfia előretörése.
10. A magnetronos vezetőcsíkfelvitel általános elterjedése, új vezetőanyagokkal.
11. A gőzfázisú rétegekészítési eljárások általános alkalmazása
12. Új adalékolási eljárások elterjedése, háromdimenziós (réteges) szerkezetek.
13. A teljesen automatizált huzalkötés elterjedése, áttérés Al, Au-ötvözet vagy Pd huzalokra.
14. A TAB és flip-chip technika előretörése
15. Új technológiák, kiindulási anyag- és végtermékellenőrző módszerek elterjedése.

1. *Balogh G.* „A fotólitográfiai maszkillesztői.” HIKI jelentés. Budapest, 1981.
2. *M. K. Stetter.* Proc. of SPIE. Development in Semiconductor Mikrolitography. Vol. I. (1976)
3. *R. E. Hopkins.* Kodak Microelectronics Seminar. 1974. Kodak publ. No. G – 41. pp 3743. (1974).
4. *H. J. Smith.* et al. JECS. 121. 11, 1503 – 1506. (1974)
5. *E. I. Walker.* IEE. trans. El. Dev. Ed – 22,7, pp 464–466 (1978)
6. *P. Tigreat.* Development in Semiconductor Mikrolitography. Vol. IV. San José, 1979. Proc. of SPIE. 174, 37 – 45 (1979)
7. *A. C. Tobey.* Electronics. 52. 17, 109 – 112 (1979)
8. *E. W. Mayer. H. E. Leobach.* Dev. in Sem. Litography. Vol. V. Proc of SPIE. 221. pp. 9–18. San José 1980.
9. *J. H. Brunning.* J. Vac. Sci. Techn. 17,5, 1147–1155 (1980)
10. *B. J. Allsop.* Microel. Fabrication and Testing. 4, 7, 28–30 (1981)
11. *O. Christensen; H; L. Bang.* J. Appl. Phys. Letter 28, 491–493 (1976)
12. *Ripka G. Hajdú L.* Hibrid integrált áramkörök. Műszaki kiadó Budapest, 1979.
13. *C. J. Valker.* Device Impact of New Microfabrication Technologies. (Summer Course) Vol. I. Ed. Lab. ESAT. in Universitet Leuween (Belgien) 1980.
14. *J. L. Maissel, R. Glaugh.* Handbook of Thin Film Technologies Mc. Graw Hil. . . ed. N. Y. 1970.
15. *J. L; Vossen, J. J. Cuomo.* Thin Film Processes Academic Press. London 1978. pp. 12–62.
16. *J. A. Thorton, A. S. Penfold.* ibid. pp. 76–110 (1978)
17. *R. K. Waits,* ibid. pp. 131–170 (1978)
18. *D. B. Fraser* ibid. pp. 125–128 (1978)
19. *J. M. E. Harper.* ibid. pp. 175–204 (1978)
20. *W, Kern. V. S. Ban.* ibid. pp. 258–320 (1978)
21. *F. A. Lowenheim.* ibid pp. 208–255 (1978)
22. *G. G. Roberts, M. J. Morant.* „Insulating Films on Semiconductors”. The Inst. of Phys. ed. London 1979.
23. *R. S. Rosler, S. S. T.* 1977. ápr. pp. 63–70 (1977)
24. *A. K. Sinka et al.* JECS. 125, 4, pp. 601–608. (1978)
25. *J. R. Hollahan, R. S. Rosler.* Thin Film Processes. Academic Press. London. 1978. pp. 335–358.
26. *H. Yasuda.* ibid. pp. 361–396. (1978)
27. *E. P. G. Van de Ven* (13) ibid Vol IV. (1980)
28. *H. G. Schneider, V. Ruth. T. Kormány.* Advances in Epitaxie and Endotaxie. Elsevier ed. N. Y. 1977)
29. *D. L. Loose.* (13) ibid Vol. IV. (1980)
30. *Gy. Vágó, T. Szűcs.* Arbeitstagung „Physik und Technik der Hochvakuums dünne Schichten.” (Vortrag) Dresden 1969.
31. *W. Kern. C. A. Deckert.* Thin Film Processes. Academic Press. London 1978. pp. 401–481.
32. *C. Melliar—Smith, C. J. Mogab.* ibid. pp. 497–552. (1978)
33. *Hangos I. Lénárt M., Dévényi N.* Korszerű technológiák. 1980. 3 sz. pp. 28–43.
34. *D. R. Ranadive, D. L. Losee.* (13) ibid. Vol. IV.; C. Hill. ibid Vol IV. (1980)
35. *J. E. Curran.* J. Vac. Sci. Techn. 14, 1 pp. 108–113. (1977)
36. *G. A. Rozgonyi.* (13) ibid. Vol. IV. (1980)
37. *G. C. Schwarz, L. B. Zielinski, T. Schopen.* Proc. of the Symp. on Etching of Pattern Definition. Princeton Univ. ed. N. J. 1976. p. p. 122–131.
38. *H. J. Smith.* ibid. pp. 133–143. (1976)
39. *J. A. Bondur* J. Vac. Sci. Tech. 13, 5, pp 1023–1029 (1976)
40. *E. P. G. T. Van de Ven.* (14) ibid. Vol. III. 1980.
41. *Hangos I. Lénárt M.* „A plazmás marás alkalmazási lehetőségei a félvezetőszekők technológiájában” (Monographie) HIKI kiad. Budapest 1979.

42. H. Kalter, E. P. Van de Ven. Phil. Techn. Rev. 38, 7-8, 200-208 (1979)
43. P. S. Burggraaf. Semiconductor International. 1979 dec. pp. 1-8
44. C. Hill. (13) ibid. Vol. III. (2. Vortrag/1980)
45. J. J. Bessot Symposium über Halbleitertechnologie. (Vortrag) Productronica. München 1981.
46. C. Hill. (13) ibid. Vol. III. (1980)
47. L. Kalinowski, R. Sequin. J. Appl. Phys Letters 35, pp. 211-213. (1979)
48. D.D. Warna, C. L. Wilson. Bell Syst. Techn. J. 59, pp. 1-41. (1980)
49. K. Ploog (45) ibid. (Vortrag) 1981.
50. H. Ryssel (13) ibid. Vol. III. (2. Vortrage) 1980.
51. G. R. Hanson, B. M. Siegel. 15-th Symposium of Electron-Ion-and Photonbeamtechnology. 1978. (Vortrag)
52. J. H. Freeman. European Conference of Ionimplantation. Peregrinus ed. 1979.
53. J. Gyulai et al. International Conference on Ion Beam Modification of Materials. Budapest, 1978 sept. (Acad. Press. Budapest)
54. F. Harmov, et al. Ion Implantation in Semieonductors. Pergamon Press. N. Y. 1977.
55. R. Paquet, E. Thomas. Proc of Internepcon. Brighton. U. K. 1980. (Vortrag)
56. D. A. Sieravski ibid. 1981. (Vortrag)
57. J. H. Davis (45) ibid. 1981. (Vortrag)
58. R. Ecker (45) ibid (Vortrag) 1981.
59. Almási I. Bessenyei E, Hangos I. Korszerű technológiák. 1979. 5. sz. pp. 40-51. (1979)
60. Bessenyei E, Hangos I. Híradástechnika. 30, 3, 83-95. (1979)
61. D. W. Hammer, J. V. Biggers. Thick Film Hybrid Microcircuit Technology. J. Willey ed. 1974.
62. Proc. of El. Component Conf. 1980.
63. Hangos I, Bessenyei E. Magy. Kém. Foly. 86, 4, pp. 185-191 (1980), ibid. 87, 5, pp. 224-228 (1981)
64. Macintosh Consultant Inc. „Semiconductor Assembly Equipment and Materials Outlook 1985”. 1981 ápr.
65. Technical Ventures „The VLSI Capital Equipment Outlook” 1981. febr.
66. „Bonding Wires” Circuit Manufacturing. 1980. jan.
67. H. J. Lissner. Feingerättechnik. 28. 1, pp-16-38 (1979)
68. P. S. Burggraaf. Semiconductor International 1981 febr.
69. K. J. Johnson et al. Proc. Int. Microel. Symp. 1980 okt. (Vortrag)
70. Harsányt G. „Vastagréteg huzalozás, ellenállás és dielektrikumrétegek kölcsönhatásának vizsgálata”. Bp. 1981 (Diplomarbeit)
71. Halécus G. „Vastagréteg huzalozás, és ellenállásrétegek kölcsönhatásának vizsgálata. Budapest 1982. (Diplomarbeit.)
72. T. G. O' Neil Semiconductor International 1981 febr.
73. Hangos I. Korszerű technológiák 1981. 1. sz. pp. 2-23.
74. Hangos I. Korszerű technológiák. 1981. 2. sz. pp. 26-36.
75. Hangos I. Tarnai I. Korszerű technológiák 1980. 4. sz. pp. 21-35.
76. Hangos I. 1. Fachtagung „Mikroelektronik” (Technologie und Applikation). Kari Marx Stadt. 1978 (Vortrag)
77. C. J. Varker. (13). Ibid Vol. I. /2. Vortrag 1980.
78. G. Moore. ISSCC. Digest of Technical Papers. 1979. febr. pp. 54-55.
79. G. Moore. JEDM. Conf. Digest. 1975. dec. pp. 11-13.
80. T. Longo. IEEE Spektrum, 1979 ápr. pp. 30-37.
81. J. D. Plumer (13) ibid. Vol. I. 1980.
82. H. Ulrich. NGT. Fachtagung. 1981. march. Baden-Baden (Vortrag)
83. H. Ulrich. (13) ibid. Vol IV. 1980; J. Lyman. Electronics 1980 jun. pp. 115-126.
84. Bársony I. HMOS-VLSI alapozó tanulmány. Mikroelektronikai vállalat. Budapest, 1982. (Monographie.)
85. B. Hoeneisen, C. Mead. SST. 15, 819. (1972)
86. L. Rideout. IEE. IEDM. Proc. 1980. pp. 144.
87. J. D. Meindl et al. IEE. ISSCC. Digest of Technical Papers 1981. p. 36.
88. IEE. Sol. State Circuits SC-15 (4) 1980.
89. K. N. Ratnakumar et al. IEE. ISSCC. 81. Digest of Technical Papers 1980. p. 72.

Lapunk példányonként megvásárolható

V., Váci utca 10.

V., Bajcsy-Zsilinszky út 76. szám alatti

hírlapboltokban