

Félvezető alapú integrált áramkörök fejlődési irányai

ETO 621.3.049.7-111:621.382.049.7-111:681.326.66

A negyedik évszázada feltalált tranzisztorhoz képest óriási fejlődés tanúi vagyunk a félvezető technika és technológia, valamint a kapcsolódó számítástechnika, híradástechnika, műszertechnika, vezérlés és szabályzástechnika, azaz általában az elektronikai ipar területén. Az elmúlt 25 év félvezető technikai fejlődésének három jelentős történelmi dátuma 1948, 1958 és 1968. Bardeen, Brattain és Shockley 1948-ban a Bell Laboratóriumban dolgozták ki az első ötvözött germánium tranzisztort. Kilby 1958-ban a Texas cégnél fejlesztette ki a világ első szilícium alapú integrált áramköreit; egy multivibrátor és egy oszcillátor áramkört. 1968-ban a legnagyobb félvezető gyártó cégek, mint a Texas, a Motorola a Fairchild és a többiek piacra hozták az első MOS LSI áramköreiket.

A digitális áramkörök területén egyre nagyobb komplexitású áramkörök kerültek megvalósításra. A komplexitás növekedése az LSI áramkörti technika fejlődése és fejlesztése azonban nem határtalan. Gazdaságossági és nem műszaki korlátok következtében a komplexitás növekedési üteme egyre csökkenni fog.

Az egyre nagyobb komplexitású MSI és LSI áramkörök megjelenése az elektronikai ipar strukturális átalakítását követeli meg. Az áramkör tervezési munka egyre jelentősebb részét a készülékfejlesztők helyett az alkatrészgyártók, jelen esetben a félvezető integrált áramköröket gyártó cégek végzik vagy fogják végezni. A digitális és analóg integrált áramkörök újabb területeket hódítanak meg a közhasználatú termékekben (video és hangtechnikai berendezések és elektronikus karóra, valamint az autóiipar).

A félvezető gyártáson belül a leggyorsabb fejlődési ütem a MOS integrált áramkörök területén tapasztalható, csekély eltéréssel ezt a digitális bipoláris áramkörök követik. A lineáris integrált áramkörök fejlődésére évi 20–30%-os növekedés jellemző. A következőkben a fenti felosztásnak megfelelően tárgyaljuk az unipoláris és bipoláris integrált áramkörök fejlődését.

MOS integrált áramkörök

A MOS integrált áramkörök növekedése olyan nagymérvű volt az elmúlt évek során, hogy termelési érték tekintetében manapság elérte az igen elterjedt TTL rendszerű áramkörök volumenét.

A MOS integrált áramkör gyártók specialitása a felhasználói tervezés, amely manapság a szabvány áramkörgyártás felé tolódik el.

Jelenleg a felhasználói tervezésű és szabványos MOS áramkörök termelési érték szerint azonosak, azonban 1976-ra az előrejelzések szerint 4:1 arány várható a szabványos áramkörök javára.

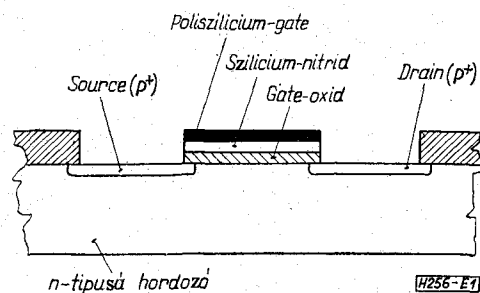
A szabványos MOS áramkörök legnagyobb részét a memóriák adják. Igen jelentős a RAM áramkörök — random acces memory — előretörése; a MOS memóriák 2/3-a 1975-ben RAM lesz. Kisebbségi növekedés várható a MOS fix memóriák és léptető regiszterek területén.

A MOS áramkörök alapeleme a MOS térvezérelt tranzisztor, amely a bipoláris tranzisztorral ellentétben tipikus felületi eszköz, amiből egyaránt adódnak bizonyos előnyök és hátrányok. Az előnyök közé tartozik, hogy a technológiai lépések száma viszonylag kevés, s különösen logikai áramköröknél nagy elemsűrűség érhető el. A hátrányok közé tartozik, hogy az eszköz a felületi rétegek szennyeződésére igen kényes s ezért az egész technológia igen nagy tisztaságú környezetet, vegyszereket stb. igényel.

Napjainkban a MOS integrált áramkörök igen sokféle technológiával készülnek, amelyek egymástól legszembetűnőbben a gate alatti szigetelőréteg szerkezetében, illetve annak kialakítási módjában térnek el.

A már klasszikusnak számító nagyszintű MOS áramkörök sebességkorlátaik (1 MHz), nagyobb teljesítményfelvételük miatt (kb. 1 mW/kapu) egyre inkább háttérbe szorulnak a modernebb technológiával készült áramkörök mellett. Az a körülmény, hogy a TTL áramkörökkel való összeépítésnél a csatlakozó pontokon szintáttéví fokozatokra van szükség, jelentős hátrány akkor, ha a MOS áramkör bonyolultsága kicsi. A komplexitás növekedésével ez a hátrány fokozatosan veszít jelentőségéből és teljesen figyelmen kívül hagyható, ha az áramkör önállóan, TTL csatlakozási pontok nélkül működik. Ez utóbbinak tipikus esete: pl. a zsebalkulátor néhány MOS áramköre, amelyekre nézve a logikai szintek értéke ebből a szempontból közömbös.

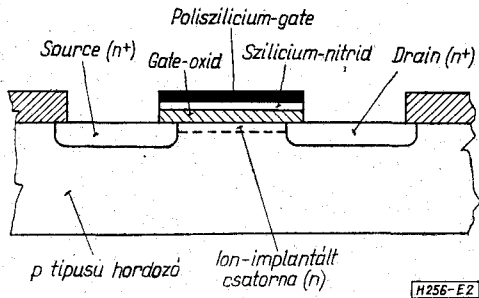
A logikai áramkörök megvalósítása terén kialakult mai helyzetben a MOS áramkörök többsége TTL áramkörökkel közösen kerül felhasználásra s így a TTL kompatibilitás döntő fontosságú. Ennek biztosítására több technológiai megoldás született, amelyek közül a szilícium-gate technológia bír a legnagyobb jelentőséggel (1. ábra). A szilícium-gate tech-



1. ábra. Szilícium-gate technológiával kialakított p-csatornás tranzisztor szerkezete

nológiával a működési sebesség (kb. 2 MHz) és a teljesítményfelvétel (kb. 0,5 mW/kapu) is kedvezően alakult és további nagy előnyt jelentettek a felvitt szilíciumréteggel megvalósítható összeköttetések, amelynek hatásaképp az elemsűrűség lényegesen megnövekedett.

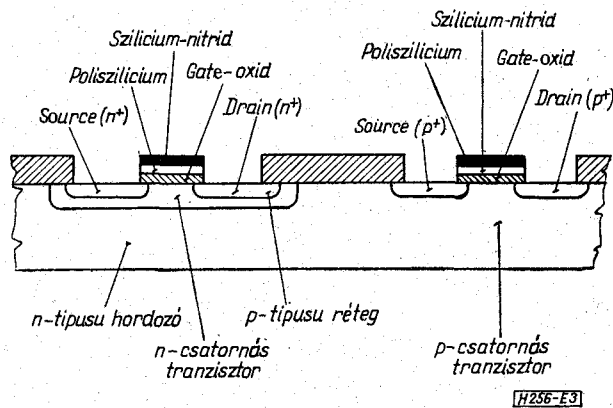
A kiürítéses módusú (DMOS) — depletion MOS — tranzisztorokkal megvalósított áramkörök jelentették a következő lépést a technológiai fejlesztés terén s ennél a szerkezetnél került előtérbe az ionimplantációs művelet is (2. ábra).



2. ábra. Kiürítéses működésű, ion-implantációval kialakított n-csatornás tranzisztor szerkezete

A kiürítéses módusú tranzisztorokkal felépített áramkörök előnye a teljes TTL kompatibilitás (a tápfeszültség is +5 V értékű), a nagyobb működési sebesség (kb. 3 MHz) és a tápfeszültség értékére való érzéketlenség.

Az elmúlt évek nagy technológiai előrelépései közé sorolható a komplementer (CMOS) — complementer MOS — áramkörök megjelenése (3. ábra). Ezeknél a sorbakapcsolt n-csatornás és p-csatornás tranzisztorok közül az egyik mindig zárva van s így nyugalmi állapotban rajtuk telepáram nem folyik.



3. ábra. Komplementer MOS áramköröket alkotó n- és p-csatornás tranzisztorok szerkezete

Ezzel sikerült elérni, hogy kis működési sebességeknél a teljesítményfelvétel elhanyagolhatóan kis értékű (kb. 10 μ W/kapu), ami különösen telepes üzemű készülékeknél és nagykapacitású háttérmemóriáknál igen lényeges szempont.

A CMOS technológiát több forrás is a logikai funkciók megvalósítására tartja leginkább alkalmasnak. Az RCA után már a Motorola is gyártja a 4000-es

sorozatú CMOS családot, sőt a National az L-TTL sorozatával pin-for-pin ekvivalens CMOS sorozatot fejleszt. Az igen alacsony teljesítményigény következtében az elektronikus órák áramkörét, továbbá a nagy zajérzéketlenség következtében autók ellenőrző áramköreit CMOS technológiával állítják elő.

A csak nagyvonalakban vázolt technológiai irányok ugyan nagymértékű javulást eredményeztek az áramkörök elektromos paramétereiben, de egyben a technológiai berendezésekkel és felhasznált vegyi anyagokkal szemben igen szigorú feltételeket követeltek meg. Ez más oldalról azt jelenti, hogy ezen korszerű áramkörök előállítására való felkészülés igen komoly anyagi és szellemi ráfordításokat igényel.

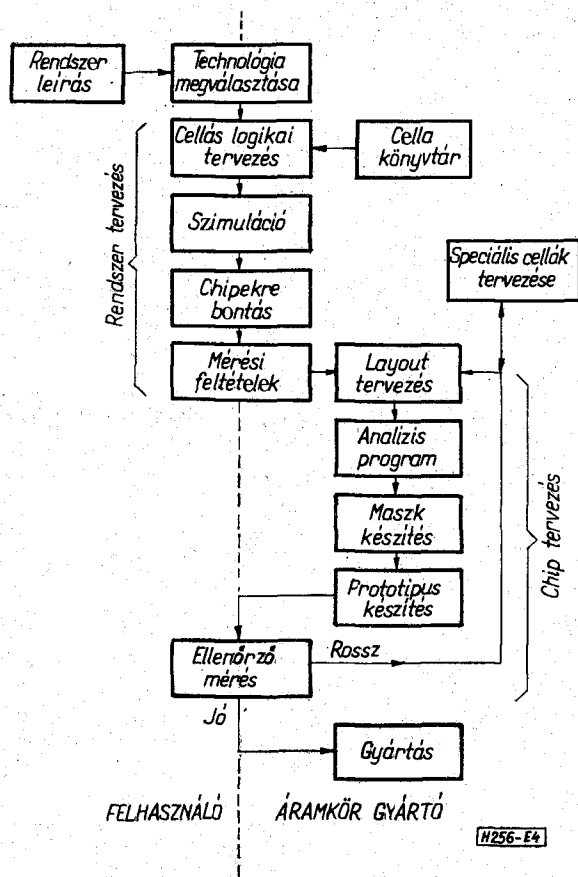
A nem komplementer felépítésű MOS integrált áramkörök egy fontos működési formája a dinamikus üzem. Ennek lényege az, hogy az áramkörben azokat a tranzisztorokat, amelyeken nyugalmi állapotban is teljesítmény disszipálna, dinamikusan üzemeltetjük, vagyis csak egy rövid időre (pl. információátírás stb.) kapcsoljuk be.

A működés holt időiben a tranzisztorok lezárt állapotban vannak és így a teljesítményfelvétel rendkívül kicsi. Példaként említhetnénk egy léptetőregisztert, amelynek statikus változata 1–5 mW/bit teljesítményt vesz fel, míg kétfázisú dinamikus változatának 0,5–1 mW/bit, négyfázisú változatának pedig csupán 0,1–0,5 mW/bit teljesítményfelvétele van.

MOS integrált áramköröknél az alkatrész (tranzisztorok, kapuk, tárolóelemek) igen kis geometriai mérete következtében igen nagy elemsűrűség, más szóval adott chipméret mellett igen nagy komplexitás érhető el. A logikai áramkörök MOS technikával való megvalósítása során a problémát többnyire nem is annyira a komplexitás, ill. az ebből adódó geometriai méretek jelentik, hanem egyszerűen az áramkör disszipációs teljesítménye, másrészt a kivezetések korlátozott száma. A disszipációs kérdésben ugrásszerű javulás állt elő a dinamikus üzem bevezetésével, valamint a CMOS áramkörök alkalmazásával. A kivezetések korlátozott száma ezzel szemben ma is komoly probléma és sok esetben egy-egy logikai áramkör felépítésében alapvető átalakításokat kell végezni pusztán azért, hogy adott számú kivezetéssel bírő áramkörökre (tokokra) bonthassuk szét azokat. Ebben a tekintetben a korszerű, nagybonyolultságú (LSI) áramkörök sok rokon vonást mutatnak a nyomtatott áramköri kártyákkal, különösen ha ezen utóbbiak egyszerűbb (SSI) TTL áramkörökből épülnek fel. Ha egy kártyán és egy MOS/LSI áramkörben azonos logikai funkciót kívánunk megvalósítani, akkor közelítő számítások szerint már néhány száz darabos gyártás esetén is gazdaságos lehet a logikai funkció megvalósítása felhasználói tervezéssel (custom design) készült MOS/LSI áramkörrel. Ennek okai egyrészt a nyomtatott áramkörök járulékos költségei (szerelés, csatlakozó), másrészt a nagyobb teljesítményfelvétel, ami a tápegységen, hűtőrendszeren keresztül növeli a költségeket.

Ahhoz, hogy a TTL, SSI áramkörökkel szerelt nyomtatott kártyákat és a MOS/LSI áramköröket összevethessük, ismernünk kell a felhasználói tervezés megoldásait és költségkihatásait.

A 4. ábra a felhasználói tervezés blokk-sémáját



4. ábra. Felhasználói áramkörtervezés blokkvázlata

mutatja be, meglehetősen leegyszerűsített formában. A felhasználó valamilyen rendszernek a leírásával jelentkezik, amely lehet ugyan egy adott logikai kapcsolat, de valószínűleg nem konkrétan az, amit az áramkörgyártó meg fog valósítani.

A következő lépés a technológia megválasztása, amit periferiális teljesítményfelvételi stb. szempontok határoznak meg. Ezután következik a rendszer konkrét logikai kapcsolásának a felépítése azon áramkörcellák felhasználásával, amelyek, mint a választott technológiához tartozó logikai rendszer építőelemei, a cellakönyvtárban rendelkezésre állnak. A kapott logikai terv helyességét számítógépen a szimulációs program ellenőrzi. A következő lépés a rendszer felbontása chipekre, ahol a döntő szempont a kivezetések számának minimalizálása. A felosztás után meg kell határozni az egyes chipék mérési feltételeit, s ha itt kedvezőtlen eredmény adódnék, úgy a chipekre való bontást is módosítani kell.

Míg a fenti lépéseket a felhasználó és az áramkörgyártó közösen dolgozták ki, a továbbiakban a gyártó a felhasználótól függetlenül dolgozik. Az első lépés a geometriai elrendezés (layout) megtervezése, ami a cellák megfelelő elhelyezéséből és összekötéséből áll. Szükség esetén lehetőség van a cellakönyvtáron túlmenően speciális cellák tervezésére és az áramkörbe való beillesztésére is. A tapasztalat szerint a layout tervezés számítógéppel lényegesen olcsóbb és gyorsabb, de nagyobb chipméreteket eredményez. A kézi tervezés igen lassú, de (különösen nagy szakértelmű tervezőgarda esetén) rendkívül jó helykihasználást

eredményez. A layout-tervezés helyességét az analízisprogrammal ellenőrzik számítógép segítségével, amelynek során lehetőség van az áramkör dinamikus (tranzien) viselkedésének vizsgálatára. A felhasználói tervezésnek ez a lépése elengedhetetlen, mivel a tervezésnél elkövetett bármilyen hiba (figyelmen kívül hagyott, parazita terhelőkapacitás stb.) márcsak a kész áramkörtől derül ki s így sok felesleges ráfordítást eredményez.

Ha az analízisprogram alapján a tervezett elrendezést jónak találják, úgy elkészülhetnek a maszkok, ezek segítségével a prototípus, majd a prototípus igen részletes és pontos mérése után kerülhet sor az áramkör gyártására.

A felhasználói tervezés, mint látható, igen komoly számítógéppel rendelkező bázist igényel a magas szinten álló technológián és mérésen kívül. A számítógépes bázis, a programok és a kidolgozott cellakönyvtár birtokában viszont a tervezés már viszonylag gyorsan keresztülfutatható. Ezzel lényegében az történik, hogy a különböző felhasználók (készülékfejlesztők és -gyártók) áramkörtervezésének egy része áttevődik az alkatrésziparba, hiszen a logikai feladat megoldásának kidolgozása és áramköri megvalósítása az alkatrésziparban, jelen esetben a félvezetőiparban megy végbe. Ez a tény, noha a mikroelektronika megjelenésével kézenfekvővé vált, olyan strukturális átalakulást követel meg az elektronikai iparban, ami érthetően csak lassan, sok visszahúzó erő ellenében valósul meg.

Ha hűek kívánunk lenni a valósághoz akkor azt mondhatjuk, hogy a felhasználói áramkörtervezés még világviszonylatban is új és sok buktatót rejtő megoldás. Igazán teret eddig csak ott hódított, ahol az óriási darabszámok szinte minden tervezési/fejlesztési költséget elviseltek, mint pl. az asztali és zsebalkulátorok áramköreinek vagy olyan készülékekben, ahol ez minőségileg új lehetőséget teremtett s ez ellensúlyozta a költségtöbbletet, kockázatot. Nem szabad elfelejteni azonban, hogy az említett példák igen nagy bonyolultságú (LSI) áramkörök, vagyis semmiképpen sem vonhatók párhuzamba egy szokványos TTL-SSI áramkörökből felépített nyomtatott kártyával!

A világviszonylatban elért áramkör komplexitásra vonatkozóan álljon itt egy példa, nevezetesen egy 8 bites központi egység (CPU) — central processor unit.

Az egyetlen chipen megvalósított áramkör egy 8 bites akkumulátort, hat 8 bites adatregisztert, két 8 bites átmenő (időzítő) regisztert, egy 14 bites programszámlálót, hét 14 bites címregisztert, 8 bites paralell aritmetikai egységet és egy sor kontrollegységet tartalmaz, 48 belső utasítással rendelkezik és egy 8 bites adatbuszra dolgozik maximálisan 800 kHz óra frekvenciával, kb. 500 mW teljesítményfelvétel mellett. Ez az áramkör-komplexitás valóban megdöbbentő, hiszen ezt az egyetlen 18 kivezetésű tokot néhány további áramkörrel (RAM, ROM, interface) kiegészítve egy komplett mikrokomputert kapunk. Ez az áramkör is jó példája annak, hogy már a rendszertervezés is jórészt a félvezetőiparba tevődik át.

A mikrokomputer összeállítása már nemcsak hardware, hanem software feladat is. A mikroprog-

ramnak tárolására szolgáló fix memóriák (ROM) — read only memory — programjának kidolgozását a felhasználó software fejlesztése végzi s így látszólag szoros kooperációra van szükség. Ezen a problémán segítenek az elektromosan programozható és törölhető fix memóriák (REPRO) — reprogramable read only memory —, amelyből már 2048 bites áramkörök is készülnek. Ha ezek után az „alkatrészgyártó” a mikrokomputerét ilyen újraprogramozható fix memóriákkal építi fel, akkor lehetőséget ad a felhasználónak, hogy utólag saját software fejlesztése alapján tetszés szerinti mikroprogramokat építsen be a készülékbe. Ezzel szinte a teljes hardware feladat az alkatrészparba csúszik át, s csak a software marad az alkalmazó hatáskörében.

A MOS integrált áramkörök gyártási választékában a mikrokomputerek még csekély hányaddal vesznek részt. A felhasználói tervezésű áramkörök 40—45%-át a kalkulátor chipek adják. A következő nagy felhasználói tervezésű terület a 3—5 chipes megoldású mikroprocesszor áramkörök lesznek és 1976-ra túlhaladják a kalkulátor chipek volumenét.

A MOS áramkörök típusválasztékában legnagyobb hányaddal a különféle tárolók szerepelnek. A nagyobb típuscsaládok: a nagy bitszámú (hosszú) léptető regiszterek, a véletlen hozzáférésű memóriák (RAM) és a maszk programozású fix memóriák (ROM). A következőkben röviden áttekintjük a tárolók területén az elmúlt évek jelentősebb új áramkörüi eredményeit.

Az n-csatornás MOS memóriák fejlődése igen jelentős. Az 1024 bites n-csatornás RAM áramkör hozzáférési ideje kevesebb 100 ns-nál. A nagy áttörést 1973-ban a 4096 bites RAM jelentette 300—400 ns-os hozzáférési idővel (Intel, Signetics, National, Mostek, Texas). A közeljövőben várható az 1024-es komplexenter statikus RAM megjelenése (Inselek, RCA).

Az n-csatornás MOS technológia várhatóan teljesen egyeduralkodóvá válik a fix memóriáknál. Az Advanced Memory Systems 1024-bites ROM-jának 60 ns-os hozzáférési ideje van és a Motorola 8192 bites ROM áramkör hirdetési ára 18 \$.

A nagy tömegű felhasználás miatt elsősorban a léptető regiszterek ára alakult kedvezően. A perifériális berendezésekben alkalmazott nagy bit számú léptetőregisztereknél a fajlagos ár 0,5 Ft/bit alá csökkent. A véletlen hozzáférésű memóriáknál a felvétel lassúbb. A számítógépek központi egységében való alkalmazás kérdése még nem dőlt el véglegesen, a nagy verseny a félvezető és a mágneses memória között még tart, de kimenetele aligha lehet kétséges. Ennek megfelelően a memóriák ára még viszonylag magas kb. 1,5 Ft/bit, s bár még így is jóval a mágneses memóriák ára alatt van, lényeges csökkenésére lehet számítani. Különösen nagy árcsökkenés várható, ha a számítógépipar háttérmemóriájaként jelennek majd meg a félvezetőmemóriák, amely irányban szintén komoly erőfeszítések történnek.

Bipoláris integrált áramkörök

A digitális MOS és bipoláris integrált áramkörök legnagyobb területét — a termelési érték szerint — a TTL rendszerű integrált áramkörök képezik; részesedésük 40—45%.

A bipoláris áramkörök legfőbb előnye a nagy sebesség, a nagy terhelhetőség és alacsony tápfeszültség-igény.

A TTL rendszerű áramkörök területén igen jelentős fejlesztési és gyártási növekedés tapasztalható különösen Schottky (S—TTL) és a kis teljesítményű Schottky (LS—TTL) sorozatú áramkörök tekintetében. Nagy sebességű alkalmazásoknál a gyártók szívesebben használják az igen kedvelt TTL rendszer Schottky-s változatát az ECL — emitter coupled logic — áramkörök helyett.

A normál és kis teljesítményű Schottky TTL áramkörök kidolgozása a TTL áramkörüi rendszer versenyképességét továbbra is biztosítja; nagy sebességű alkalmazásban az ECL rendszert, míg kis teljesítménykövetelmény esetében néhány MHz-es frekvenciatartományban a CMOS rendszer legjobb tulajdonságait közelíti meg.

Míg 1968-ban a TTL rendszerű áramkörök közül mindössze 4% volt MSI szintű, addig 1973-ban darabszám tekintetében 23%-ra változott ez az arány (ebből memória 1%). Termelési érték tekintetében 1968-ban 13%-os volt az MSI áramkörök részesedése és ez 1973-ban igen erősen megnövekedett; 16% a memóriák és 47% az egyéb MSI és LSI funkciók részesedése.

1975-re a digitális áramkörüi egységek 50%-a várhatóan MSI és LSI szintű lesz (a termelési érték kétharmada). Az MSI és LSI áramkörök jelentős előretörését lényegesen segítette új szerkezeti és technológiai megoldások kifejlesztése, melyek elsődleges célja az elemsűrűség növelése, a nagy működési sebesség és alacsony teljesítményfelvétel biztosítása volt, megfelelő kihozatali százalékok elérése mellett.

A legkülönbözőbb funkciójú, nagy komplexitású logikai áramkörök és különösen új memóriaáramkörök kidolgozására jelentős investíciók történtek anyagok, szerkezetek és technológiák fejlesztésére. A számítógép fejlesztők és rendszer tervezők egyre nagyobb és univerzálisabb számítógépeket terveznek, és memóriák területén is egyre nagyobb kapacitást igényelnek magas szintű műszaki követelményekkel.

Nem hanyagolható el a gazdaságossági követelmény sem; alacsony árszintű gyártástechnológiát kell kifejleszteni. Ezek a követelmények a maximális funkcionális sűrűség és nagy chipterületen a magas kihozatali százalék elérésében csúcsosodnak ki.

Az aktív memóriaáramkörök tervezői az 1—2 elem/bit szintet közelítik meg az utóbbi időben az eredeti 6 elemmel szemben. A hagyományos fotolitográfiai eljárást a korábbi 7—10 μm -os vonalszélességről 3—5 μm -ra csökkentették. Az elektronsugaras litográfia 1/2—1 μm -os megmunkálást tesz lehetővé. Mint látható az elemek méretében egy nagyságrendnyi javulás érhető el.

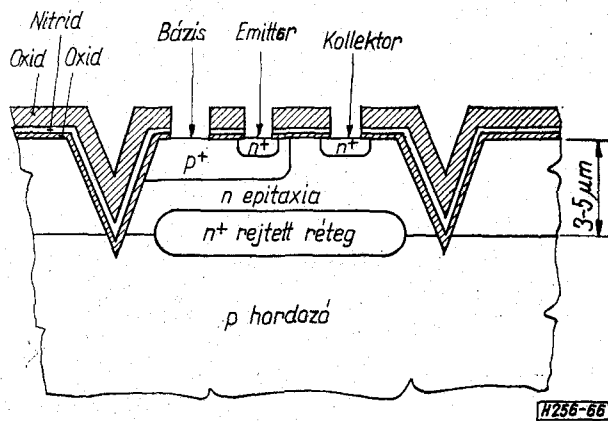
További lényeges kérdés a teljesítményfelvétel csökkentése. Az átlagosan jellemző 300 μW /bit teljesítményt 10 μW /bit alá kell csökkenteni.

Érdekes összevetni a hagyományos mágnesmagos és integrált áramkörüi memóriák jelenlegi helyzetét és perspektíváját (RAM memóriák összehasonlítása; lásd az 1. táblázatot).

A hagyományos p^+ diffúziós szigetelésű bipoláris integrált áramkörös szerkezettel maximálisan 256-bites RAM és 1024-bites ROM vagy hasonló bonyo-

1. táblázat

Megnevezés	Mágnes magos		Integrált áramkör	
	Jelen	Jövő	Jelen	Jövő
Elem/bit	1	1	4	1—2
Sűrűség bit/inch ²	3,10 ³	10 ⁴	5 · 10 ⁴	10 ⁶
Blokk vagy bit szám	1	1	10 ² —10 ³	2,10 ⁴
Teljesítmény/bit [μW]	100	50	3 · 10 ² —10 ⁴	10
Árszint cent/bit	1	0,5	1—10	0,1



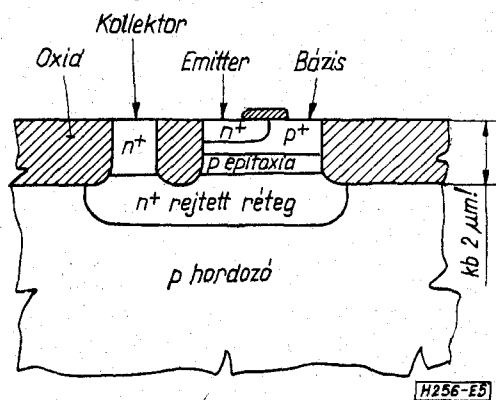
6. ábra. V-ATE eljárással kialakított tranzisztor szerkezete

lultságú áramköröket célszerű előállítani. Nagyobb kapacitású memóriák esetében — a cellák számát növelve — csökkenteni kell az egy cella által felvehető teljesítményt és minél kisebb lesz ez a teljesítmény, annál tovább tart a cellák áttöltése, vagyis nő a hozzáférési idő, csökken a sebesség. A hagyományos szerkezettel készülő 1024-bites aktív memória hozzáférési ideje 150 ns lenne, Schottky-diódák beépítésével ezt 100 ns-ra tudnánk csökkenteni, azonban a felhasználók 50 ns alatti hozzáférési idejű, nagy kapacitású memóriákat igényelnek.

A kutatók és fejlesztők célja 1970-től kezdve a bipoláris áramkörök elemsűrűségének növelése volt. Főleg memória áramkörök területén kívánták elérni a MOS szerkezet és technológia nyújtotta magas elemsűrűséget, természetesen megőrizve a bipoláris eszközök biztosította nagyobb sebességet.

Bipoláris memóriák területén az elemsűrűség, illetve a kapacitás növelését új szigetelési technikák kidolgozásával valósították meg.

Az isoplanár oxid szigetelésű szerkezetet (ISO) — isoplanar oxide-isolation — a Fairchild cég dolgozta ki és először 1971-ben publikálta. Az isoplanár technológia lényege, hogy laterális irányban a hagyományos p⁺ diffúziós szigetelés helyett oxid szigetelést használ igen vékony epitaxiális réteg alkalmazása mellett (5. ábra). Az isoplanár szerkezettel az elemek mérete és a parazita kapacitások jelentősen csökkennek, ezáltal nő az elemsűrűség és javulnak a dinamikus jellemzők.



5. ábra. Isoplanár technológiával kialakított tranzisztor szerkezete

A Fairchild cég 1973-ban publikálta az isoplanár eljárás továbbfejlesztett változatát (ISO—II), ahol már az emittor diffúziót is oxidréteg határolja két vagy három oldalról. Ezáltal tovább csökkentették a tranzisztorok bázisterületét és a parazita kapacitásokat, azaz tovább növelték az elemsűrűséget és a működési sebességet.

Az ISO—I eljárással 40%-os, míg az ISO—II technológiával 70%-os helymegtakarítást értek el a hagyományos planár technológiával szemben.

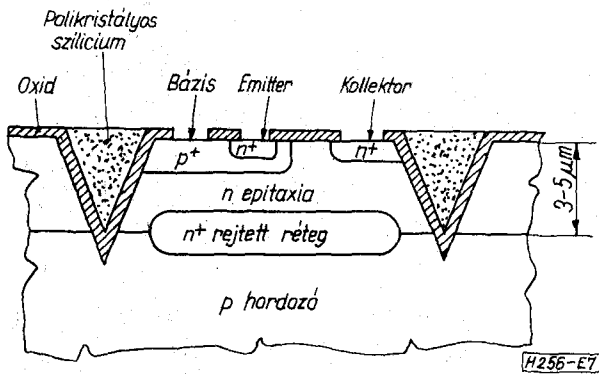
Az isoplanár eljárás előnyei:

- az oxidszigetelés és vékony epitaxiális réteg következtében jelentősen megnő az elemsűrűség;
- igen erősen csökkennek a parazita kapacitások, így jelentős sebességnövekedés érhető el;
- a technológia kevésbé érzékeny az oxid lyukakra és egyéb hibákra az oxidszigetelés következtében. (Az isoplanár technológiával az LSI áramkörök és memóriák kihozatalát kétszeresére lehet növelni a hagyományos planár technológiához képest).

A vertikális anizotróp marású szigetelési eljárást (V—ATE) — vertical anisotropic etch — a Raytheon cég dolgozta ki. Az eljárás lényege, hogy laterális irányban a hagyományos p⁺ diffúziós szigetelés helyett egy vertikális irányú szelektív marást és oxid-nitrid-oxid szigetelést használnak (6. ábra).

A V—ATE technika kétszeres elemsűrűséget biztosít a hagyományos eljáráshoz képest és jelentős sebességnövekedést. A V—ATE eljárás előnyei mellett feltétlenül megemlítendő, hogy a nagy oxidlépcsők miatt jól kidolgozott, speciális fémzés szükséges a jó kihozatal biztosítása érdekében.

A V alakú polikristályos szigetelési eljárást (VIP) — vee-shaped isolation filled with polycrystalline silicon — a Motorola cég fejlesztette ki. A VIP technológia a Raytheon cég V—ATE eljárásának továbbfejlesztett változata, amennyiben az anizotróp marás után keletkezett V alakú vágatot polikristályos szilíciummal tölti ki. Hasonló továbbfejlesztés a Harris cég POLYPLANÁR eljárása. A polikristályos szilícium növesztése során az aktív felületet oxid- és nitridréteg védi (VIP eljárás) vagy csak oxidréteg (polyplanár eljárás), majd növesztés után a szelet



7. ábra. VIP vagy polyplanár technológiával kialakított tranzisztor szerkezete

felületét polírozni kell (7. ábra). A V-ATE eljárás-hoz képest a szigetelés bonyolultabbá vált a VIP és polyplanár technikában, azonban a felület planár maradt és így lényegesen egyszerűbb a fémzés.

Meg kell állapítani, hogy a hagyományos, záró-irányban előfeszített p-n átmenetes „aktív” szigetelési technikával szemben

az újonnan kidolgozott „passzív” szigetelési eljárások a nagy kapacitású bipoláris memóriák és nagy sűrűségű LSI digitális áramkörök perspektivikus és leg-jőbb technológiai irányzatai.

A következőkben a bipoláris memóriaáramkörök legkorszerűbb típusait ismertetjük.

A fix memóriák területén elmondható, hogy legnagyobb fejlődés az elektromosan programozható memóriáknál van. A Harris cég előrejelzése szerint 1975-ben a fix memóriák 75%-a PROM – program-able read only memory – lesz. Gyártásban levő leg-korszerűbb bipoláris PROM a 2048-bites (512×4 bit szervezésű) memória (Harris, Intersil, Monolithic Memories). Hozzáférési idő 40–50 ns, teljesítmény-felvétel 0,2–0,25 mW/bit. 1973. év végére a fenti cégek kifejlesztik a 4096-bites PROM memóriaáram-köröket.

A technológiai folyamat során maszk-programozott bipoláris fix memóriák csúcstípusait a Monolithic Memories Inc. dolgozta kis és gyártja. Az MM 6280 típusú 8192 bites (1024×8 bit szervezésű) ROM hozzáférési ideje 100 ns, teljesítményfelvétele 60 μW/bit és ára 74 dollár (0,9 cent/bit). A 9 kbités MM 6260 típusú bipoláris ROM 1024×9 bit szerve-

2. táblázat

Típus	256×1		1024×1	
	93410	95410	93415	95415
Rendszer	TTL	ECL	TTL	ECL
Hozzáférési idő	35 nsec	25 nsec	60 nsec	45 nsec
Teljesítmény/bit	2 mW	2 mW	0,5 mW	0,5 mW
Ár/tók	40 \$	50 \$	87 \$	95 \$
Ár/bit	15 cent	19 cent	8,5 cent	9,3 cent

zésű, hozzáférési ideje 120 ns, teljesítményfelvétele 50 μW/bit, ára 65 dollár (0,7 cent/bit).

Az aktív bipoláris RAM memóriák területén gyár-tásszinten a Fairchild cég jár az élen.

Az isoplanár eljárással kidolgozott 256-bites ECL és TTL rendszerű aktív memóriák után kidolgozta már az 1024-bites RAM áramköröket is.

Igen figyelemre méltó az IBM-nél kidolgozott injekciós csatlósú memóriarendszer, ahol a cellában elhagyták a kollektorköri ellenállást, az n-p-n flip-flop tranzisztorokhoz aktív p-n-p terhelő tranzisztort integráltak; a memóriacella n-p-n tranzisztorainak emittérét a meghajtó vonalakról közvetlenül lehet vezérelni. Oxid szigetelési eljárással a RAM cella területe 1,1 mil²-re csökkenthető (30×35 μm!). Ez a cellaméret a legoptimistább MOS memóriatervezők előrejelzésénél is kisebb. Lehetővé válik 8000–16 000 bit kapacitású bipoláris aktív memóriák meg-valósítása egyetlen chipen. Az IBM-nél fejlesztés alatt van egy 8192 bites aktív bipoláris memóriaáramkör, amelynek hozzáférési ideje 50 ns, készletli teljesít-ményfelvétele kisebb 0,1 μW/bit. A chipen a perifériá-lis áramkörök is integrálva vannak és a chip mérete 4,06×4,32 mm².

Az ismertetett nagy kapacitású bipoláris memória-áramkörök fejlesztése, kidolgozása és gyártása az áramkörtechnikai, szerkezeti és technológiai meg-oldások legkorszerűbb szintjét igénylik; a korszerű technológiai berendezések, eljárások, nagy tisztaságú környezet és korszerű mérés-technika, ellenőrzési rendszer elengedhetetlen követelmények.

A bipoláris digitális áramkörök rendszer szerinti százalékos megoszlása a termelési értéket figyelembe véve a 3. táblázat szerint alakult 1967 és 1973 kö-zött.

3. táblázat

	1967 %	1973 %
TTL	22	67
ECL	10	10
DTL	43	17
RTL és egyéb	25	6
Összesen	100	100

Mint a táblázatból látható a TTL rendszer mellett a DTL és ECL rendszerű integrált áramkörök lényegesen kisebb részarányt képviselnek.

A DTL-el kapcsolatban elmondható, hogy a teg-nap rendszere volt és az RTL után ezen áramkörök felhasználása is egyre jelentéktelenebb mértékű.

A leggyorsabb ECL logikai rendszer az elmúlt 6–7 évben is megőrizte 10%-os piaci részesedését. 1971-ben jelent meg a Motorola a legkorszerűbb MECL 10 000-es sorozatával és a következő évben már olyan jelentős cégek is gyártásba vették, mint a Fairchild, National, Signetics és a Texas.

Távlatilag az ECL rendszer igen perspektivikus nagy gyorsasága miatt. A következő generációs gyors és nagy számítógépekben alkalmazásuk jelentősen megnövekszik 1975–1976 körül. Jelenleg az ECL

rendszerrel előnyösen használják RAM áramkörök előállítására, főleg nagyon gyors scratch-pad típusú alkalmazásra.

Digitális áramkörök területén feltétlenül megemlítendő még, hogy a Texas kis teljesítményigényű bipoláris elektronikus óraáramkört fejleszt, mellyel a CMOS óraáramkörök piacának egy részét kívánja megszerezni.

A bipoláris áramkörök másik nagy területe a lineáris integrált áramkörök. Ezen belül a legnagyobb fejlődés az autotechnikai áramkörök területén tapasztalható. 1973. évi 15%-os részesedésüket 1974-re 25%-ra becsülik a lineáris áramkörök piacán. Irodalmi közlések alapján a következő funkciók ellátására alkalmas áramkörök kerültek fejlesztésre és gyártásra; gyújtásszabályozó és -ellenőrző, feszültség szabályozó, belső hőfokszabályozó, fékszabályozó, fordulatszám-mérő, sebességmérő és mérőföldszámláló, valamint biztonsági áramkör az autó nem kívánt indításának megakadályozására.

A közhasználatú szórakoztató lineáris integrált áramkörök szintén jelentős fejlődést mutatnak. Nagy számban jelentek meg rádió- és tv-technikai áramkörök, és ezen a területen a fejlődés ma is folyamatos. Az előrejelzések szerint néhány éven belül a tv-készülékek 80–90%-ban integrált áramkörös felépítésűek lesznek. Ugyanez várható video felvevő, lejátszó és hangerősítő rendszerek tekintetében is.

A rádiókészülékekben integrálták a középfrekvenciás erősítő, a demodulátor és hangerősítő fokozatot. Tv-készülékeknel a középfrekvenciás fokozattól kezdve minden funkció ellátása integrált áramkörrel történhet.

Az integrált áramköri funkciók bemutatását a következő csoportosításban végezzük:

- rádió- és középfrekvenciás erősítők,
- demodulátor áramkörök,
- tv-képteknikai áramkörök,
- hangfrekvenciás erősítők.

Mind rádiófrekvenciás, mind középfrekvenciás célra alkalmas a Fairchild μA 703 típusú áramköre, amely 150 MHz-ig használható. Ilyen áramkör még pl. a National LM 171 típusa. Középfrekvenciás erősítők sokkal nagyobb választékban kaphatók: Siemens TBA 120 típusai, Philips TBA 420, 480, 570, 690 és 700 típusai, a National 172, 273, 274 és 3071 típusai, valamint Fairchild μA 754 típusa.

Az AM/FM demodulátorok legtöbbször össze vannak integrálva a középfrekvenciás erősítőkkel, mint például a Siemens TBA 120 típusai és a National LM 273 és 274 típusa.

A fáziszárt hurkos (PLL) FM demodulátorok jellemző példái: Signetics NE 560–567, Fairchild μA 780 és a National LM 565 típusai. Az FM sztereo demodulátorok közül a legismertebben: Fairchild μA 729, 732, 767, a Philips TCA 290A és a National LM 1800 típusai.

Igen sok tv szín demodulátor áramkör kapható: Philips TAA 630 S, 500, 510, 520, 530, 540, 560, Fairchild μA 786, National LM 746, 3067, ITT TBA 500, 510, 520, 530.

A Secam rendszerű szín demodulátor fejlesztését az NDK kezdte meg.

64 μs -os sorkésleltető áramkört készített az ITT (TCA 360) Secam rendszerű tv-készülékekhez.

A tv-képteknikai áramkörök területén sor oszcillátor és szinkronizáló áramkörök a Fairchild μA 785 és a Philips TBA 550, 720, 890, 900 típusai.

Legismertebb hangfrekvenciás erősítők az Ates TBA 810, TCA 940, a National LM 380, a Philips TBA 915, TCA 210 típusai.

A hangerősítő áramköröknél az utóbbi időben a különleges, hűtőbordával ellátott tokozású áramkörök jelentek meg egyre nagyobb kimenőteljesítmény-nyel. Így a fenti példában szereplő TCA 940 típusú áramkör 10 W kimenőteljesítményű.

Az ipari felhasználású lineáris integrált áramkörök területén különös fejlődés nem várható, mivel a lineáris áramkörök fejlesztésének kezdeti szakaszában nagyobb részt ezeket az áramköröket dolgozták ki.

Már néhány évvel ezelőtt a műveleti erősítők, komparátorok, analóg számítástechnikai áramkörök és feszültségstabilizátorok széles választékát alakították ki.

Megoldatlan területnek látszik még a nagyfrekvenciás műveleti erősítők előállítása. Irodalmi utalás található arra, hogy nagy sebességű műveleti erősítők előállítására a Bell Laboratóriumban ionimplantációs technológiát alkalmaznak. A legutóbbi időben a műveleti erősítő és komparátor négyesek jelentek meg. Ez a megoldás a funkcionális egységre vetített árat jelentősen csökkenti.

A bipoláris integrált áramkörök területén megemlítendő még az interface áramkörök. Kialakulásukat a számítástechnika fejlődése és a különböző logikai rendszerek kialakulása tette szükségessé. A számítógép perifériális egységeivel a kapcsolatot interface áramkörök segítségével tartja. Ilyen áramkörök pl. a kábel adó és vevő, memória meghajtó és olvasó, valamint periféria meghajtó áramkörök. Kifejlesztésre kerültek olyan áramkörök, melyek a különböző logikai rendszerek közötti jelátalakítást végeznek.

A jövőben várhatóan az interface áramkörök egy része megszűnik, mivel funkciójukat más úton váltják. Így például ferrit memória meghajtó és olvasó áramkörökre nem lesz szükség a számítógépekben, ha a ferritgyűrűs memóriákat félvezető alapú memóriák váltják fel. Általánosan elmondható, hogy az interface áramkörök fejlődését nem önmaguk határozzák meg, hanem a különböző logikai rendszerek és perifériális egységek fejlődése.

A hazai félvezető alapú integrált áramkörök kutatása a Híradástechnikai Ipari Kutató Intézetben koncentrálódott.

A műszaki fejlesztés jelenlegi alapvető feladata a hagyományos integrált áramköri technológia olyan szintre való fejlesztése, amely alkalmas a közepes és nagybonyolultságú integrált áramkörök megvalósítására.

A gyakorlati alkalmazás szempontjából, a kidolgozás alatt levő típusok a hazai számítástechnikai program és a legfontosabb elektronikai területek különleges igényeinek részbeni kielégítését tűzi ki célul.

MOS áramkörök, illetve technológiák területén a TTL kompatibilis szilícium-gate technológia stabilizálása és üzemeltetése az elsődleges cél, melynek alapján lehetőség van hosszú léptető tárolók, nagy kapa-

citású fix és aktív memóriák előállítására. A műszaki haladás érdekében távlati terveinkben szerepel az ionimplantációs műveletet is igénylő DMOS és CMOS integrált áramkörti technológiák kidolgozása, hogy a számítástechnikai fejlesztés távlati feladatához kidolgozhassuk a nagy elemsűrűségű (LSI) áramkörök, illetve a ferrittáracat kiváltó félvezető alapú memóriák megfelelő típusait. Felkészülünk az egyedi kívánásoknak megfelelő felhasználói tervezésű (custom design) áramkörti igények gazdaságos kielégítésére.

Bipoláris áramkörök, illetve technológiák területén az alaptechnológiák korszerűsítése és a számítástechnikai program megvalósításához szükséges áramkör típusok fejlesztése és kísérleti gyártása az elsődleges cél. Távlati terveinkben szerepel a Schottky-diódás TTL áramkörök technológiájának kidolgozása nagy sebességű MSI áramkörök és memóriák fejlesztésére.

A különlegesen nagy kapacitású és gyors bipoláris félvezető alapú memóriák előállítására kidolgozzuk az isoplanár technológiát, hogy a számítástechnikai fejlesztés távlati feladataihoz biztosítsuk a gyors memória típusokat.

A korszerű ipari és közfogyasztású lineáris integrált áramkörök fejlesztésével is foglalkozunk. Célunk, hogy az ipari analóg áramkörök (interface áramkör-család, műveleti erősítők, stabilizátorok) mellett a legfontosabb közfogyasztási célú lineáris áramkör-típusokat is kifejlesszük és előkészítsük azok kísérleti gyártását, hogy kellő időben legyenek kielégíthetőek a hazai közfogyasztási elektronikai készülékipar igényei.

A félvezető alapú integrált áramkörök kutatásának és fejlesztésének eredményessége megbonthatatlan kapcsolatban van a korszerű gyártó és ellenőrző, mérőberendezések színvonalával, a technológiai műveletek fejlődésével és természetesen a tisztasági követelmények biztosításával.

A nagy megbízhatósággal kézben tartott, homogén és reprodukálható korszerű technológiai műveletek sorozata biztosíthatja csak az áramkörti elemek, a nagy kapacitású memória, valamint LSI szintű áramkörök — általában a félvezető alapú integrált áramkörök — magas követelményű nagy megbízhatóságú működését, az áramkörök megfelelő kihozatalának biztosítását és nem utolsósorban a gazdaságos gyártást.

I R O D A L O M

- [1] *E. J. Boliky*: MOS Travels In Fast Bipolar Crowd. Electronics, July 20. 1970. pp. 82—85.
- [2] *L. Curran*: LSI Starts to Go Standard. Electronics, Oct. 26. 1970. pp. 119—120.
- [3] *G. F. Watson*: LSI and Systems, The changing Interface. Electronic, March 31. 1969. pp. 78—85.
- [4] *D. Peltzer*: Isolation Method Shrinks Bipolar Cells For Fast, Dense Memories. Electronics, Marc., 1971. pp. 53—55.
- [5] Szerző nélkül. Bipolar Memory Cells Strike Back in War with MOS. Electronics, March 1. 1971. p. 19.
- [6] Szerző nélkül. Bipolar Process Promises RAMs with MOS Density. Electronics, June 7., 1971.
- [7] *J. A. DeFalco*: Coming Up Fast From Behind-Denser Bipolar Devices. Electronics, July 19., 1971.
- [8] *H. Schmid*: Making LSI Circuits: A Comparison of Processing Techniques. IEEE Trans. on Manufacturing Technology. Vol. MFT-1. Dec. 1972. pp. 19—31.
- [9] *S. K. Wiedmann*: Superintegrated memory shares functions diffused islands. Electronics, February 14. 1972. pp. 83—89.
- [10] *L. Altman*: Semiconductor RAMs land computer main-frame jobs. Electronics, August 28. 1972. pp. 63—77.
- [11] *D. A. Hodges*: Large-Capacity Semiconductor Memory. Proc. of the IEEE. Vol. 56. No. 7. July 1968. pp. 1148—1161.
- [12] *R. H. Collins*: Silicon Process Technology for Monolithic Memory. IBM. J. RES. DEVELOP. January 1972. pp. 2—10.
- [13] Szerző nélkül. C-MOS moves in fast on TTL territory. Electronics, October 9. 1972. pp. 127—128.
- [14] *T. E. Miles*: Schotky TTL vs ECL for High Speed Logic. Computer Design. October 1972. pp. 79—86.
- [15] *B. Kurz*: Iproved Schottky Clamped (T²L) Circuits. IEEE. J. Solid State Circuits, Vol. SC—7. No. 2. april 1972. pp. 175—179.
- [16] *B. Henkel*: Isoplanar process stirs IC houses. Electronics, March 29. 1971. pp. 79—80.
- [17] Szerző nélkül. Fairchild advances bipolar technology. Electronics, February 15. 1973. pp. 42—42.
- [18] *W. D. Baker*: Oxide isolation brings high density to production bipolar memories. Electronics, March 29., 1973. pp. 65—70.
- [19] Szerző nélkül. VIP for bipolars: dielectric isolation Electronics, July 3, 1972. pp. 39—40.
- [20] *J. Mudge*: V-ATE memory scores a new high in combining speed and bit density. Electronics, July 17. 1972. pp. 37—42.
- [21] *T. Mitchell*: A Bipolar Control Storage Memory — Design Consideration and Test Problems. Solid-State Technology. March 1973. pp. 41—44.
- [22] *MM. Schlacter*: Some Reliability Considerations Pertaining to LSI Technology. IEEE J. of Solid-State Circuits, Vol. SC—6. No. 5. October 1971. pp. 327—334.
- [23] Szerző nélkül. Bipolar ROMs offer 8192 bits of storage Electronics, March 29, 1972. p. 111.
- [24] *K. Hart*: Integrated Injection Logic: A New Approach to LSI. IEEE J. of Solid-State Circuits. Vol. SC—7. No. 5. October 1972. pp. 346—351.
- [25] Szerző nélkül. Super-dense memories made of IBM's labs. Electronics, Marc 1. 1973. pp. 38—40.
- [26] *J. P. Murphy*: Enhancing an LSI computer to handle decimal data. Electronics, March 1. 1973. pp. 77—82.
- [27] *H. Wolff*: 4096-bit RAMs are on the doorstep. Electronics, April 2. 1973. pp. 75—77.
- [28] *T. J. Sanders*: Polysilicon-filled notch produces fiat, well-isolated bipolar memory. Electronics, April 2. 1973, pp. 117—120.
- [29] Szerző nélkül. N-channel ROM stores 8192 bits. Electronics, May 10. 1973. p. 135.
- [30] Szerző nélkül. IBM big memories. Electronics, February 14. 1972. p. 83.