

VASZENKOV A. A.

a Szovjetunió Elektronikai Ipari Minisztériuma Tudományos Központjának főmérnöke

A 70-es évek mikroelektronikája*

ETO 621.3.049.77 „107”

A tudományos-technikai forradalom jelenlegi szakaszában a mikroelektronikának vezető szerepe van. A mikroelektronika egyrészt az összes alapvető műszaki tudomány és iparág szintézise, másrészt ezen tudományok és iparágak fejlődésének katalizátora.

A mikroelektronika jellemző sajátossága fejlődésének nagy dinamizmusa, amely mind az elméletek és műszaki megoldások felújításában, mind pedig a termelésnövekedés ritmusának felgyorsításában megnyilvánul. Nő a felfedezések száma, bővül a mikroelektronikai eszközök létrehozására felhasznált jelenségek köre és csökken az eszközök fejlesztéséhez és gyártásába vételéhez szükséges idő.

Egyre több olyan tényező jelentkezik, amely az elektronikai ipar fejlődésében új irányokat határoz meg. Ezek közül a legjelentősebbek a következők:

1. A lakosság számának növekedése és a fokozódó urbanizáció a szolgáltatások körének bővüléséhez és ezáltal az elektronikus készülékek egyre intenzívebb felhasználásához vezet.

2. A feldolgozandó információmennyiség ugrásszerű növekedése és az emberek közötti kommunikációs lehetőségek fejlődése megkívánja a mechanikai eszközök és gépek elektronikus készülékekre való cserélését, a híradástechnikai, közlekedési és irányítástechnikai problémák megoldását.

3. A munka termelékenységének növelése (különösen az elektronikai iparban) állandó erőfeszítést igényel a munka minden fázisára és területére kiterjedő automatizálás tekintetében. Ez a „munkaerő” terén mérnöki szinten is jelentős eltolódásokhoz vezet a kvalifikáltabb munka irányába.

4. Sok iparilag fejlett országban a nyersanyag-utánpótlással, az energiatartalékokkal és az atmoszféra, illetve bioszféra szennyeződésével kapcsolatos problémák egyre élesebben jelentkeznek. Ezen problémák leküzdése pedig elképzelhetetlen a legfejlettebb technikai megoldások felhasználása nélkül.

Ezek és más nem kevésbé komoly tényezők ösztönzik az elektronikai ipart egyre gyorsabb ütemű fejlődésre és hogy mind újabb lehetőségeket használjon fel a legmerészebb tervek megvalósítására.

Hosszú távra, pontosan meghatározni a mikroelektronika fejlődésének tendenciáit túlságosan nehéz feladat lenne, célszerűnek látszik a közelebbi feladatokat meghatározni, a távlatiakról pedig csak kvalitatív, de valószínű képet alkotni.

A technológia tökéletesedésével és a „parti rendszerű” gyártás bevezetésével, amely lehetővé teszi, hogy egyidejűleg nagyszámú (millió nagyságrendű) eszközön végezzék el a technológiai lépéseket és csak a végső műveleteknél kelljen szétválasztani a partikat különálló eszközökre, illetve eladásra kész áramkörökre, egyre több lehetőség nyílik a széles körű automatizálásra és ezáltal a munka termelékenységének fokozására. A mind konstrukciós, mind pedig funkcionális szempontból egyre bonyolultabb félvezető eszközök, ezen belül az integrált áramkörök tömeggyártása megkövetelte új technológiai módszerek kidolgozását. Napjainkban ilyen új módszereknek számítanak az elektron és lézersugaras megmunkálás, az ionimplantáció és a nagy vákuumban történő megmunkálás.

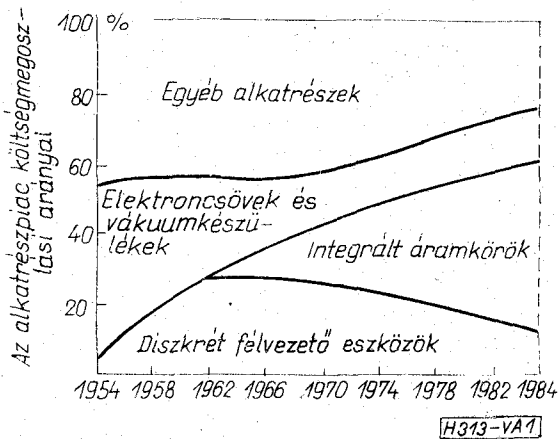
Míndez lehetővé teszi olyan mikroelektronikai eszközök készítését, amelyekben az elemek mérete néhány mikron, sőt néhány száz Å, ami viszont a technológiai műveletek végrehajtásánál szubmikron-pontosság betartását igényli.

A funkcionális lehetőségek, a konstrukció és a technológiai folyamat tökéletesítése terén fellelhető tartalékok biztosítják, hogy a 70-es évek fő építő elemei, a félvezető elektronika „klasszikus” eszközei — a diódák, tranzisztorok és integrált áramkörök lesznek.

Míg a 60-as években az integráltáramkör-gyártás főként a számítástechnikai igényeinek kielégítésére irányult, a 70-es évek mikroelektronikájának egyik sajátossága lesz a rádióelektronikai berendezések gyakorlatilag minden csoportjához megfelelő integrált áramkörök kifejlesztése és tömeggyártása. Az integrált áramkörök gyártása az elektronikai ipar teljes termeléséhez viszonyítva folyamatosan nőni fog (1. ábra).

* A Szovjet Kultúra és Tudomány Budapesti Székházában a szerző által vezetett kerekasztal-megbeszélés bevezető előadása (1974. ápr. 26.).

Beérkezett: 1974. V. 28.



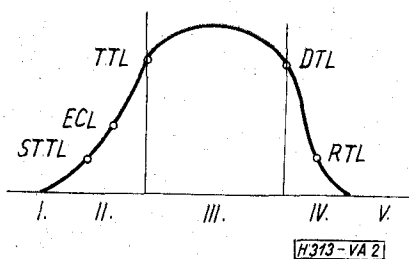
1. ábra

A digitális integrált áramkörök területén a MOS áramkörök jelentőségének fokozása várható. Feltehető, hogy 1975-re a kibocsátott digitális integrált áramkörök 50%-át MOS áramkörök alkotják. A kibocsátott MOS integrált áramkörök szerkezetében is jelentős változás figyelhető majd meg. Egyre nagyobb arányban fognak készíteni komplementer MOS és zafir alapú MOS áramköröket. A MOS áramkörök a nagy sebességű digitális integrált áramkörök területén is a bipoláris áramkörök komoly vetélytársaivá válnak. A Schottky diódás μm csatorna hosszúságú MOS áramkörök már napjainkban is 1 ns alatti késleltetési időt biztosítanak 1 pJ mellett. Rádióelektronikai berendezéseknél egyre inkább eltekintenek az analóg áramkör technika alkalmazásától és ha lehetséges áttérnek a digitális megoldások alkalmazására, ami észrevehetően megváltoztathatja a termelés eloszlását, bár a lineáris integrált áramkörök fejlesztése és gyártási kapacitása várhatóan nagyobb ütemben fog nőni, mint a digitális integrált áramköröké.

A digitális integrált áramkörök szerkezetében jelentős változások várhatók. A 2. ábra grafikonja egy készülék úgynevezett „életciklusának” 5 fázisát mutatja:

- I. A gyártásba vezetés fázisa;
- II. A termelés növekedésének fázisa;
- III. A termelés stabilizálódásának fázisa;
- IV. A termelés hanyatlásának fázisa;
- V. A termelés elhalásának fázisa.

A logikai áramkörök alaptípusai közül az RTL (ellenállás-tranzisztor logika) és a DTL (dióda-tranzisz-



2. ábra

tor logika) a termelés hanyatlásának és elhalásának fázisában vannak. A TTL (tranzisztor-tranzisztor logika) áramkörök termelése stabilizálódik az ECL (emitter csatolású logika) áramkörök és a Schottky-diódás TTL áramkörök pedig a gyártásba vezetés és a termelés növekedésének fázisában vannak.

Az integráltáramkör-család új elemei az injekciós logikai integrált áramkörök I^2L , amelyek nagy lehetőségeket rejtenek magukban:

- a sebesség-teljesítményszorzat 0,1 pJ vagy kevesebb (a modern TTL áramköröknél 100 pJ), ami lehetővé teszi felhasználásukat kis teljesítményű, szabványos logikai mátrixokként, mikroproceszorokként, valamint elektronikus órák és ipari berendezések logikai áramköreiként;
- a megoldás rugalmassága lehetővé teszi, hogy egy kristályon digitális és analóg eszközöket is létrehozzunk. Példaként szolgálhatnak: a digitális voltmérők áramkörei, amelyek néhány száz 10 számláncot és dekodert tartalmaznak; a fix memóriák, léptető regiszterek és a kalkulátorok bonyolult logikai áramkörei; analóg digitális és digitális analóg átalakítók a memóriákkal és egyéb logikai egységekkel egy kristályon: digitális áramkörök a színes televíziók jelének beállítására és ellenőrzésére;
- a technológiai műveletekhez csupán öt maszkból álló maszkcsorozat szükséges. Olyan kapu-konstrukció alakítható ki, amely szükségtelenné teszi az áramgenerátorok és terhelő ellenállások felhasználását. Mindezek nagyon gazdaságos termelést biztosítanak. A standard TTL áramkörök drágáknak bizonyulhatnak az I^2L áramkörökhöz viszonyítva.

Az injekciós logikai elemekben egészen egyszerű bipoláris szerkezetet használnak fel, amelyben egy kapunak egy komplementer tranzisztorpár felel meg. A vertikális, több kollektoros n-p-n tranzisztor inverterként működik, míg a horizontális p-n-p tranzisztor áramgenerátornak és terhelésnek alkalmazzák. Külön ellenállások felhasználása nem szükséges. (Egy tipikus TTL kapu 6–8 tranzisztorot tartalmaz.)

Talán a legjelentősebb, hogy a Si kristályon a két elem akkora területen elhelyezhető, amekkorát egy hagyományos tranzisztor igényelt, ami kiküszöböli a szigetelési problémákat. Egy ilyen szerkezet bonyolultsága azonos egy planár tranzisztor bonyolultságával.

Az I^2L áramkörök sajátossága, hogy az inverter elemek topológiájának változtatásával egy kristályon különböző sebességű elemek készíthetők. Ha például a bázisréteg az injektorra merőleges, akkor a bázisellenálláson létrejövő horizontális feszültségesés a bázis áramsűrűség csökkenéséhez vezet. Ahhoz, hogy minden kollektor kapcsolási sebessége maximális legyen az inverterek az injektorral párhuzamosan helyezendők el, aminek következtében minden kollektorra egyenlő áram jut, de ebben az esetben az elérhető elemsűrűség csökken, így csupán konstrukciós megoldás kérdése, hogy a szükséges arányt beállítsuk a sebesség és az elérhető elemsűrűség között.

1. táblázat

Kalkulátor logikai egységének kristályméretei

Az áramkör típusa	Terület mm ²	A MOS és a I ² L áramkörök területének aránya
I ² L	0,75	1
CMOS	1,11	1,48
Statikus, p-csatornás MOS áramkörök „ÉS—VAGY”	1,30	1,73
Statikus p-csatornás MOS áramkör kiürítéssel üzemmódban dolgozó terhelő tranzisztorokkal „ÉS—VAGY”	1,17	1,56
Dinamikus p-csatornás MOS áramkörök „ÉS—VAGY”	1,08	1,44
Dinamikus p-csatornás MOS áramkörök „NEM—ÉS”	1,41	1,88

Az 1. táblázatban egy I²L kalkulátor áramkör kristályméreteit hasonlítjuk össze különböző MOS áramkörök méreteivel. Az alapul vett I²L és a Si vezérlőelektródás MOS áramkörök topológiai felépítése megegyezett.

Különösen rohamosan fognak kifejlődni a memóriarendszerekben felhasznált félvezető alapú integrált áramkörök (2. táblázat).

2. táblázat

	1970	1975	1980
A memóriák teljes információkapacitása milliárd bitben	44	212	2240
Félvezetős memóriák információkapacitása milliárd bitben	1,1	70	2000
A félvezetős memóriák, %	3	33	90

Komoly perspektívák állnak a statikus és különösen a dinamikus félvezető alapú memóriák előtt, amelyeket nagy működési sebesség és alacsony teljesítményigény jellemző. Már napjainkban kidolgozták 1024 bites, beépített vezérlőrendszerrel rendelkező bipoláris aktív memóriákat, MOS integrált áramkörök terén pedig már elérték a 4 K, illetve a 8 K bit kapacitást.

Integrált áramkörök minden csoportjára jellemző az integráltság fokának növekedése.

Az áttérés LSI áramkörökre, amelyek 1000-nél több elemet tartalmaznak egy kristályon, jelentős változásokat idéz elő a technológiai folyamatban is. Mindenekelőtt az ilyen integrált áramkörök gyártása — az áramkörtervezéstől az ellenőrzésig — megkívánja a teljes automatizálást elektronikus számítógép felhasználásával. Az új technológiai műveletekhez sorolhatjuk az elektronsugaras fotolitográfiát, az ionimplantációt, a plazma-kémiai megmunkálást stb.

AZ LSI áramkörök fő fejlődési iránya ezen áramkörök szubrendszerekké válásához vezet, amelyre egy tipikus példa az 5×5 mm-es kristályon elhelyezett 8 bites szöszervezésű mikroprocesszor. A mikroprocesszor alapeleme egy 16×16 bit szervezésű operatív memória. A memóriához a 16 regiszter valamelyikén keresztül férhetünk hozzá. Ez az egyedi felépítés

65536 8 bites szó tárolását teszi lehetővé. A 25 „mikroutasítás” teljes végrehajtásához 6 μs idő szükséges.

R. Noyce, az Intel cég elnöke szerint a mikroprocesszor létrejöttét egyenlő értékűnek tekinthetjük az elektromos motor létrehozásával, amelynek megjelenése az emberi tevékenység minden területén forradalmat váltott ki.

A nagy integráltságú áramkörök létrejötte, fejlesztése és gyártása a rádióelektronikai berendezés építés és a rádióelektronikai alkatrészek fejlődésének törvényszerű következménye.

A rádióelektronikai berendezések bonyolultságának fokozódása, a méretek, súly, megbízhatósági és energetikai jellemzők iránt támasztott igény a nagyintegráltságú áramkörök létrejöttéhez vezetett, és szükségessé tette minden áramköri elem méretének jelentős csökkentését. Ily módon az integrált áramkörök kidolgozása hatással volt az áramköri elem értelmezésére. Eddig az áramköri elemeken diódákat, tranzisztorokat, ellenállásokat, kondenzátorokat stb. értettek, és az áramkörök ezekből az elemekből épültek fel. Elméleti szempontból ez az állapot nem változott, de bizonyos esetekben más áramköröket vagy funkciókat is elemeknek tekinthetünk.

A fejlesztőket egyre inkább foglalkoztatja az a gondolat, hogy az integrált áramköröket ne diszkrét elemekből állítsák össze, hanem olyan funkcionális egységekből, amelyek megvalósítása minden szempontból kifizetődőbb lenne.

Elteltekintve attól, hogy a klasszikus integrált áramkörök egyelőre domináló jelentőségűek maradnak, megállapítható, hogy fejlődési lehetőségeiket a következő tényezők korlátozzák:

Energetikai korlát

A félvezető eszközökben információ hordozásra az elektromos töltést (q), használják, amelynek egy hőpotenciált KT/q kell legyőznie, ez pedig P = (KT/q)² · R teljesítményvesztéssel jár. T = 300 °C hőmérsékletnél P = 10⁻⁶ W, amely határérték valamennyi félvezető eszközre nézve.

Hőkorlát

A félvezető eszközök működésének jellemzője, hogy a készülékek bemeneti C kapacitását (amely magába foglalja a p-n átmenetek, illetve a MIS szerkezetek kapacitását), valamint a kontaktusok és vezetékek közötti kapacitásokat is, egy V működési feszültségre kell feltételeznünk. Ehhez egy P = CV²/τ teljesítményre van szükség (τ — az eszköz beállási ideje). Az eszköz túlmelegedésének megakadályozása érdekében, ezt a teljesítményt el kell vezetnünk. Az eddig elért P_z szint 10⁻¹⁰J. Ez az érték korlátozza az elem-sűrűséget és a működési sebességet (az elméleti határ 10⁻¹²J)

Konstruktív határ

Az integrált áramkörök, különösen a nagyintegráltságúak, bonyolult elektronikus áramkörök megvalósítását teszik lehetővé nagyszámú, különböző elem egyesítése által (p-n átmenetek, MOS struktúrák, ellenállások, kondenzátorok kontaktusok, stb.). Követ-

kezésképpen, a klasszikus elemek felhasználása a növekvő integráltságú áramkörökben az úgynevezett „mennyiségi tirannizmus” — a mennyiségi eluralkodás — problémájához vezet. A nagy elemszám és az elektromos összekötések nagy száma, amelyet csak többrétegű fémezéssel valósíthatunk meg, a kihozatal szempontjából határt állít (következésképpen korlátozódik a gyakorlatilag megvalósítható integráltsági fok) és ezen kívül nagyon nagyfokú integráltság esetében a megbízhatóság sem lehet jobb, mint 10^{-9} óra⁻¹.

Funkcionális határ

A rádióelektronikai berendezésekben a félvezető-alapú integrált áramkörök lehetőségeiknek megfelelően a logikai egységekben, a memóriarendszerben, vagy az erősítő fokozatokban kerülnek felhasználásra, ami e berendezések szerkezetének csak a felét teszi ki. Ugyanakkor a kommutációs (különböző típusú relék, csatlakozók, végrehajtó eszközök), a lezáró (terminál) és kijelző egységekben az integrált áramkörök felhasználása nem számottevő.

A félvezető alapú mikroelektronikában új tendencia figyelhető meg, amely a félvezetőkből lejtátszódfogati jelenségek felhasználását tűzi ki célul. Ide sorolhatjuk elsősorban az erős elektromos terek doménjeit (Gunn-effektus), az áramvezetőket és a töltődési jelenségeket. A doméneken alapuló mikroelektronikai eszközök nagyon sok funkcionális lehetőséget rejtenek magukban. A Gunn-effektuson alapuló elemek az ultranagy-frekvenciás generátorokként és erősítőként történő felhasználásukon kívül lehetőséget nyújtanak a következő funkcionális egységek megvalósítására: impulzus kódmodulátorok, komparátorok, analóg-digitális átalakítók, neurisztor készlettelő vonalak, logikai elemek teljes sorozata, összetett formájú jelgenerátorok, léptető regiszterek és memóriák. Ezen elemek alapján ultragyors kapcsolási idejű áramkörök hozhatók létre (az elméleti határ 10^{-12} s), amelyek sebesség szempontjából legalább egy nagyságrenddel jobbak a legkiválóbb szilícium alapú áramköröknél, azonos disszipációs teljesítmény mellett.

A Gunn-diódákon alapuló miniatűr UHF generátorok már túljutottak a kidolgozás laboratóriumi fázisán. Ezek a generátorok a klisztronokhoz képest kis zajszintűek és elegendően nagy teljesítményt biztosítanak ahhoz, hogy az 1–80 GHz tartományban működő rádiólokációs berendezésekben felhasználhatók legyenek. Ezek a diódák lavina üzemi generáció esetében folyamatos üzemmódban 20–350 mW, míg impulzus üzemmódban 1–400 W kimenő teljesítményt biztosítanak. A tértöltés-felhalmozást korlátozó üzemmódu Gunn-dióda 3–6 kW impulzus teljesítményt biztosít 1,5–2 GHz frekvenciatartományban, 10–20%-os hatásfok mellett. A Gunn-diódákon alapuló, impulzus üzemmódban használt UHF generátorok teljesítmény és frekvencia szempontjából felülmúlják az összes többi hasonló alkalmazási területű szilárdtest eszközt (tunnel dióda, lavina dióda stb.).

A közeljövőben tervezik a tértöltés felhalmozást korlátozó üzemmódban működő Gunn-diódák kidolgozását, amelyek kimenő teljesítménye impulzus

üzemmódban a 3–6 cm-es tartományban 10 kW lesz. Az áramvezető fonalak felhasználása a félvezető eszközökben szintén sok lehetőséget biztosít a felhasználók számára, új funkcionális egységek létrehozására.

Azok a funkcionális áramkörök, amelyekben a töltésfelhalmozódás és továbbítás effektusát alkalmazzák már jelenleg is $3 \cdot 10^5$ elem/cm² sűrűség elérését teszik lehetővé. Ezek az eszközök lényegében MOS szerkezetek és technológiai szempontból igen egyszerűek (a szükséges technológiai lépések száma a hagyományos MOS technológiához képest felére csökkent). A töltéstovábbító, vagy a töltéscsatolású eszközök (CCD) logikai áramkörök, készlettelő vonalak, memóriarendszerek és kijelzőegységek alapelemeiül szolgálhatnak. A CCD eszközök technológiája a hagyományos MOS tranzisztorokhoz viszonyítva meglehetősen egyszerű, az áramkör területigényének majdnem tízszeres csökkenése (0,0016 mm²/bit) ezen áramkörök önköltségének jelentős csökkenéséhez vezet. Már napjainkban is készülték egysoros 1600 elem felbontású 128×256 mátrix elemű fotoelektromos képátalakítók. A CCD eszközökkel elért működési frekvencia 1 GHz, 0,9999-es átviteli effektivitás mellett. Szilíciumnitrid szigetelésű tervezérlésű tranzisztorok (MNOS) felhasználásával lehetőség nyílik a félvezető alapú memóriák egyik legjelentősebb hátrányának, a tápfeszültség-kimaradás okozta információvesztés leküzdésére. Az ilyen memóriák lehetővé teszik 10^8 elem/cm² sűrűség megvalósítását 10^{-6} beírási idő mellett.

A nagy kapacitású, nagy sebességű memóriák megvalósíthatók az amorf anyagok alkalmazásán alapuló, szimmetrikus S-alakú feszültség — áramkarakterisztikával rendelkező kapcsolók segítségével is. Ezen eszközök kapcsolási ideje $1,5 \cdot 10^{-10}$ s. Kalkogénid üvegből készült elemek alapján már sikerült létrehozni nagy elemsűrűségű, 256 bit kapacitású fix memóriát. A memóriakapacitás 10^6 bit-ig bővíthető. Ezek főbb előnyei: a sugárzásállóság (2–3 nagyságrenddel jobb, mint a bipoláris áramköröknél), lehetőség energiavesztés nélküli információ tárolására, a feszültség-áram karakterisztika szimmetrikussága a küszöbfeszültség széles határokban belüli változása mellett, az eszközök tömeggyártásának gazdaságossága. Perspektivikus felhasználási lehetőségei: nagy kapacitású memóriák, adatmegjelenítő rendszerek (síkképernyők), sugárzásálló készülékek. Figyelembe véve az elmondottakat a mikroelektronikában továbbhaladás várható ebben az új műszaki-tudományos irányban, vagyis a funkcionális mikroelektronikában, ahol információhordozóként több dimenziós jelet használnak, amelynek paraméterei dinamikusan vezérlődnek, a szükséges időben a vezérlőjel hatására létrejövő közeginhomogenitások által. A funkcionális elektronika elemeinek legfőbb sajátossága, hogy nem választhatók szét elemi területekre, amelyek egy speciális funkció kielégítésére szolgálnak és rendeltetésüknek megfelelően képesek feldolgozni több dimenziós funkciókat. Ez jelentősen megnöveli az információ-felfolgozó rendszer termelékenységet, kibővíti a funkcionális lehetőségeket és a klasszikus integrált áramkörökhöz képest az integráció fokának ugrászerű növekedését teszi lehetővé.

A funkcionális készülékek körében nyílnak a legperspektivikusabb lehetőségek a koherens elektromágneses hullámokat (különösen az optikai tartományt), ezenkívül az akusztikai, a szpin- és plazmajelenségeket hasznosító eszközök terén.

Az új információhordozók felhasználása, újabb lehetőségeket biztosít a funkcionális mikroelektronika — optoelektronika, akusztoelektronika, magneto-elektronika, kvantum-mikroelektronika — főbb irányainak fejlődésére.

Ezáltal olyan készülékek és rendszerek létrehozása válik lehetővé, amelyek minőségileg eltérnek a hagyományos integrált áramköröktől és kiemelkedő műszaki paraméterekkel rendelkeznek. A következőkben részletesebben tárgyaljuk az új irányzatok lehetőségeit.

Optoelektronika

Az utóbbi időben rohamosan nő az optoelektronikai eszközök felhasználása az elektronikus berendezésekben.

A funkcionális mikroelektronika a következő követelményeket támasztja a fényforrásokkal szemben: kis méretek, kis teljesítményszükséglet, nagy hatásfok, megbízhatóság és élettartam, egyszerű kivitelezhetőség. Ezen kívül természetesen integrált blokk illetve vékonyréteg rendszer formájában megvalósíthatók és nagy sebességűek kell hogy legyenek. Napjainkban ezeknek a követelményeknek leginkább az infravörös tartományban működő GaAs és a látható tartományban sugárzó GaAsP injekciós fotodiódák felelnek meg. Sikertült létrehozni 2 W ($I=1$ A) teljesítmény mellett 17000 N fényerejű eszközöket.

Jelenleg a GaAlAs fotodiódák 1 mW körüli tipikus teljesítmény mellett (a nyitó irányú áram néhány tized μ A) 500–2500 N fényerőt biztosítanak.

A napjainkban kibocsátott fotodiódák hatásfoka nem haladja meg az 1–3%-ot. Az elkövetkezendő évek feladata, hogy 10–20% hatásfokú fotodiódákat hozunk létre, amelyek vezérlőárama 1 mA alatti, fényereje pedig eléri az 500–1000 N-t. Intenzív kutatások folynak 4-rétegű fényemittáló diódák kidolgozására, amelyek S-alakú feszültség-áram karakterisztikával rendelkeznek majd (hatásfokuk 2,3%, kapcsolási sebességük 0,5 μ s). Igen perspektivikusak továbbá a heteroátmenetet felhasználó injekciós fényforrások.

Az optoelektronikai rendszerekben fotovevőként jelenleg leggyakrabban fotodiódákat és fototranzisztorokat alkalmaznak.

A fotodiódák nagy sebességet (néhány GHz) biztosítanak, de szükségessé teszik a kapott jel utólagos erősítését. Az optronokban használatos Si alapú fototranzisztorok fotoáram-erősítési tényezője 300–400 a 10^5 – 10^4 Hz frekvenciatartományban.

Az optoelektronikai eszközök legperspektivikusabb csoportja a galvanikus szétválasztást biztosító optoelektronikai mikroáramkörök (3. táblázat).

Meg kell jegyeznünk, hogy az intenzív fejlesztés eredményeképpen az optoelektronikai eszközök paraméterei jelentősen javulnak, áruk pedig rohamosan csökken.

Az egyre növekvő információ tömeg felfolgozása a hagyományos rádióelektronika módszereivel még

Optoelektronikai mikroáramkörök	Rendeltetésük
Nagysebességű optoelektronikai átkapcsolók	Számítástechnikai rendszerek és kommunikációs vonalak egy-egyének és csomópontjainak jó minőségű elektromos szétválasztására szolgál. (Az átkapcsolók bemeneti és kimeneti paramétereit illeszteni kell az adott logikai áramkör típusához.)
Analog jelek optoelektronikai kommutátorai	Ezek az eszközök felhasználhatók vezérlő számítógépek mérőkapcsolóiként a jelek átkapcsolására a mérőadókról az analog átalakítókra, továbbá valamennyi szelektív, analog jelfeldolgozásra szolgáló rendszerben.
Optoelektronikai áramkapcsolók	A jelvonal és a végrehajtó mechanizmusok szétválasztására szolgál
Analog optoelektronikai eszközök Különléges felhasználástú optoelektronikai eszközök	Felhasználhatók az analog jelek funkcionális feldolgozását végző rendszerekben

olyan jelentős módosítással sem lenne perspektivikusan megoldható, mint az optikai összeköttetések alkalmazása. Csupán elvükben új módszerekkel — így optikai téren a koherens, ill. nem koherens fény felhasználásával — lehet a jövőben ezt az alapvető fontosságú feladatot megoldani.

Az információ feldolgozásra jelenleg felhasználható optoelektronikai módszerek, amelyekhez hasonló módszert a modern rádióelektronikában még nem találunk, lehetőséget adnak egész sor olyan speciális számítógép kidolgozására, amelyek alkalmasak a következő matematikai műveletek elvégzésére:

- összeadás, kivonás, szorzás, osztás kétdimenziós függvények integrálása;
- két függvény kölcsönös korrelációja;
- Furie transzformáció;
- függvények lebontása.

A nemkoherens optoelektronika segítségével már napjainkban megvalósíthatók olyan speciális számítógépek, amelyek a képlógikát használják fel és sebességük meghaladja a 10^{12} művelet/s-ot. Az ilyen gépekben az információk nagy tömegeinek feldolgozása egyidejűleg több csatornán történik (több mint 10^4).

A koherens optika felhasználásával (például holográfia) olyan számítógépek valósíthatók meg, amelyek memóriakapacitása 10^{13} bit és a beírás-kiolvasási ciklus mindössze 20 ns.

Elképzelhető, hogy optikai módszerek bevezetésével az információfeldolgozás minden fázisában sikerül elérni a 10^{14} művelet/s sebességet.

A magneto-optikai hatáson alapuló lasereket alkalmazó memóriák kutatása is rendkívül perspektivikus. Az ilyen eszközökben a beírt információk sűrűsége elérheti a 10^8 bit/cm²-t. Így megoldható 10^{14} bit kapacitású memória kidolgozása is. Ezek a memóriák nagy sebességűekkel (a frekvenciatartomány 100

MHz-ig terjed) tűnnek ki és azzal, hogy az információk többszöri átírását és törlését, valamint hosszú idejű tárolását teszik lehetővé.

Akusztoelektronika

A félvezetőkben létrejövő elektron-fonon kölcsönhatás alapján az akusztikában és az UHF technikában jól használható passzív és aktív eszközök hozhatók létre.

Piezo-elektromos félvezetőkben miniatűr ultrahang-generátorok és erősítők (800 MHz-ig), valamint késleltető vonalak készíthetők, amelyek felhasználhatók az információfeldolgozó és egyéb rendszerekben.

A piezo-elektromos félvezető anyagokon alapuló vékonyréteg integrált szűrők és rezonátorok frekvenciatartománya eléri 100–3000 MHz-et. Az információfeldolgozó optoakusztikai rendszerekben lasersugár-moduláló egységeket, fény deflektorokat használnak, amelyeknek kapcsolási ideje 10^{-8} s.

Rugalmas hullámok felhasználásával az UHF hálózatok elemeivel analóg fázisfordítókat, irányított csatlókat és csillapító egységeket hoznak létre.

A felületi akusztikus jelenségeket felhasználva a lasersugarat (fényugarat) vezérlő rendszerekben nagy integráció és funkcionális sűrűség érhető el.

A felsorolt eszközök kis méretükkel és nagy megbízhatóságukkal tűnnek ki.

Magnetoelektronika

A cilindrikus mágneses doménokon (ortoferritek, ferritgránátok) alapuló memóriaelemek rendkívül perspektivikusak. Egy — laboratóriumi feltételek mellett létrehozott — memóriaelem információsűrűsége elérte a 10^5 bit/cm²-t, információfeldolgozási sebessége pedig a 3 M bit/s-ot (feltételezhető, hogy a közeljövőben elérhetővé válik a 10^7 bit/cm²).

5 cm³ térfogatú, 6 W teljesítményű, 15 millió bit kapacitású szilárdtest alapú mágneses memória kifejlesztése várható. Az ilyen típusú memóriák ára $2 \cdot 10^{-3}$ cent/bit, az energiavesztés pedig 10^{-14} J/bit lesz. Ezeknek az eszközöknek a fő előnye, hogy a mágneses domének azonos elemekből álló rendszert alkotnak és általuk logikai függvények, memóriák, kommutációs rendszerek valósíthatók meg a hordozóanyag szerkezeti egyenletességének megbontása nélkül. Így a mágneses domének kristálya befejezett számítóközegnek tekinthető, melynek felületén további áramkörök helyezhetők el, amelyek a legkülönbözőbb logikai kombinációk, átkapcsolási és memóriafunkciók ellátására szolgálhatnak.

Ezek az eszközök perspektivikusan alkalmazhatók a következő területeken: számítógépek külső memóriája, videojelek rögzítésére alkalmas szilárdtest diszkek, speciális rendeltetésű mágneses integrált áramkörök, memóriával és hívógombbal rendelkező telefonberendezések jeleinek átkapcsolására és a vizuális információ kijelzésére szolgáló egységek.

Az anyagok kutatása sok perspektivikus lehetőséget nyújt különböző funkcionális egységek építésére — a mágneses félvezetők például kontaktus nél-

küli összekötések és vezérlések létrehozására ajánlhatók, vagy aktív és UHF elemeket tartalmazó UHF monolit integrált áramkörök továbbá N és S alakú feszültségáram karakterisztikával rendelkező eszközök, Hali-adókat helyettesítő és más egységek megvalósítására alkalmazhatók.

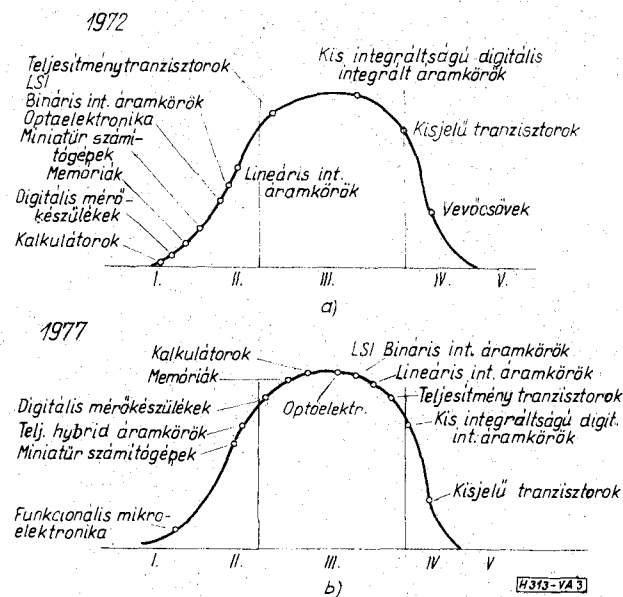
A mágneses spinelek lehetővé teszik a ferritmémóriákkal analóg memóriák megvalósítását. A spinelek technológiája jelenleg könnyebben kivitelezhető, mint a ferriteké. Ezenkívül olyan aktív eszközök is készíthetők belőlük, amelyek a beírással és kiolvasással párhuzamosan közvetlenül a mágneses közegben elvégzik a szükséges információfeldolgozást is.

Kvantum mikroelektronika

A kvantum mikroelektronika egyike a mikroelektronika legígéretesebb irányzatainak. Intenzív kutatás folyik olyan memóriaelemek kidolgozására, amelyek a szupravezető-fém fázis átmenetet használják fel. Ilyen szupravezető elemek — kriotronok — lehetővé teszik kriotronokon alapuló LSI áramkörök létrehozását, amelyek logikai, memória és vezérlési funkciókat látnak el. A kriotronokon alapuló asszociatív memóriaelemek kapacitása elérheti a 10^7 -től 10^8 bitet. A kriotronok lassú működése (néhány μ s) és folyékony He felhasználásának szükségessége jelenleg a hagyományos félvezető alapú integrált áramkörökhöz képest komoly hátrányoknak számít.

A Josepson-effektus felfedezésével, amely két gyengén kapcsolódó tunel átmenetén jelentkezik, lehetővé vált olyan információfeldolgozó rendszer felépítése, amely napjainkban rekordparaméterekkel rendelkezik

Működési sebességük eléri a 10 ps-ot, a teljesítménydisszipáció pedig a 0,1 mW, így a működési sebesség és teljesítmény sorzata 10^{-18} J nagyságrendben van, ami milliószor jobb, mint a szilícium alapú integrált áramkörökben elérhető határérték. Josepson-effektuson alapuló LSI áramkörök fejlesztésénél a legfőbb nehézséget stabil és reprodukálható, vékony (20 Å)



3. ábra

szigetelőréteg elkészítése jelenti. Megállapítható, hogy a Josefson-effektuson alapuló eszközök létrehozása új minőségi ugrást jelent a mikroelektronika fejlődésében.

Az eszközök életciklusát 1972-ben és 1977-ben a 3. ábra grafikonjai mutatják. Látható, hogy 1977-ben az LSI áramkörök és az optoelektronikai eszközök a termelés stabilizálódásának fázisában, az alacsony

integráltságú áramkörök a termelés hanyatlásának fázisában, míg a funkcionális mikroelektronika készülékei a gyártásba vezetés, illetve a termelés felfutásának fázisában lesznek. Az alapkutatások frontjának és a funkcionális mikroelektronika alapvető irányainak kiszélesítése a legfontosabb végrehajtandó feladat az iparág magas műszaki-tudományos potenciáljának biztosítása érdekében.
