

# ZIRKUITU INTEGRATUAK:

## ORDENADOREEN MINIATURIZAZIOAREN BULTZATZAILE

**Amaia Ibarra eta Txelo Ruiz**

EHUko Informatika-Fakultateko irakasleak

**G**aur egun zaila da ordenadoreak edo eta audio eta bideo komunikazio-sistemak bezalako *mirari* modernorik gabeko bizitza imajinatzea. Baina *mirari* hauek edozein arlotan topatzen ditugu. Hain daude sartuta gure bizimoduan, ezen ez bait gara beraien garrantziaz jabetzen. Nork pentsatzen du ikuztailu automatikoak funtzionatzeko barruan gure lana errazteko oso kontrol-sistema konplexuak dituela?. Oro har, gailu automatikoez lana kendu egiten digute. Gailu guzti hauek elektronikan gertatutako aurrerakuntza itzeleki esker izan dira posible.

Bestalde, guztiok dakigu ordenadoreak gero eta txikiagoak direla. Baina miniaturizazio horren zer-gatia zirkuitu integratuen garapenean datzala inor gutxik daki. Konplexutasun-maila bera mantendu edo handiagotu arren osagai edo zirkuitu elektronikoak gero eta txikiagoak direlako, mikroelektronikaz mintzatzen da. Hemen, zirkuitu integratuen funtza azaltzen saiatuko gara.

### Histori pixka bat

#### Erdieroaleak baino lehenagoko elektronika

Duela gutxi, teknologia elektronikoa *huts-balbuletan* oinarritzen

zen, hauek seinale elektrikoak amplifikatzen zituztelako. Erabilpen nagusia irratia zen. Baina lehenengo irratigailu haiek gaur egungoekin konparatuta nahikoa kaxkarrak ziren balbulen ezaugarriak zirela eta. Lehenik eta behin, potentzia elektriko handia behar zuten funtzionatzeko. Baina beste ezaugarri batzuk ere garrantzitsuak ziren: tamaina handiegia zen; funtzionatzen hasteko *berotu* egin behar ziren denbora batez; balbula bakoitzaren batezbesteko iraupena (*bizia*) nahikoa motza zen (ordu batzuetakoa hain zuzen, hau da, irratia ordu batzuetan funtzionatzen aritu ondoren balbularen bat edo beste hondatu egiten zen, irratia konpontzeko horiek aldatzea beha-

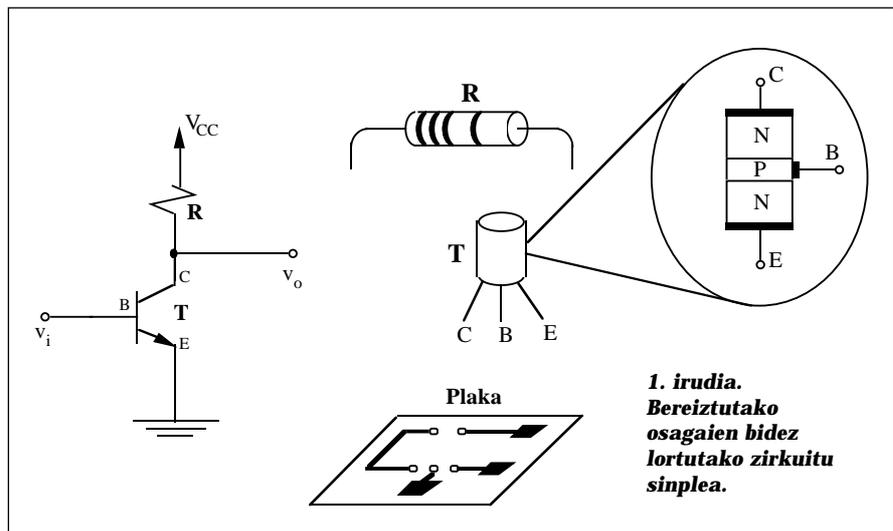
rezkoa izanik). Ezaugarri guzti hauek, miniaturizazio, kontsumo eta fidagarritasuna bezalako ezaugarrientzat oztipoa baino ez ziren.

#### Erdieroaleen aroa

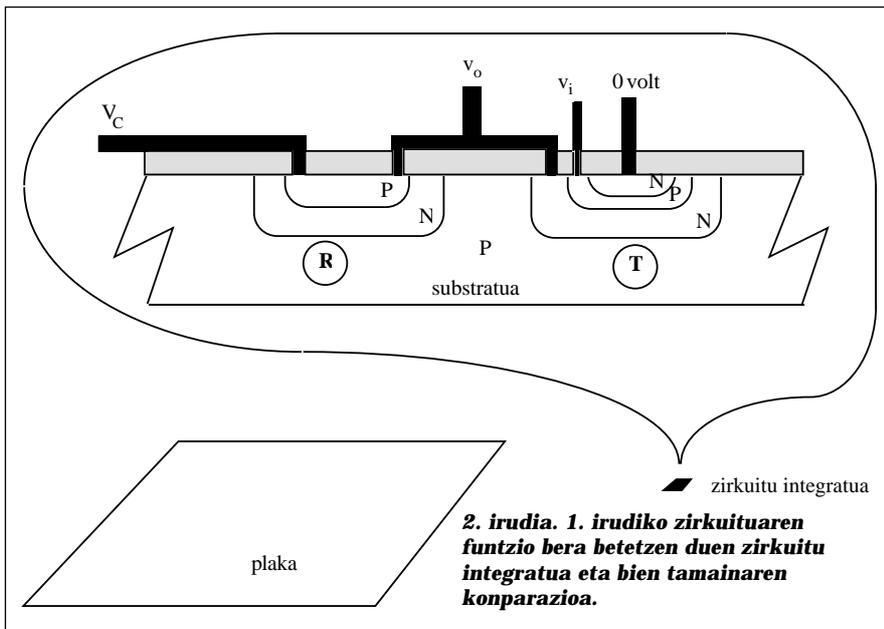
Balbulen mugak gainditu auzoz, hainbat ikerlari-taldeek ikerketari ekin zion alternatiba hobekak lortzearren.

Erdieroaleen aroa 1950. urte inguruan hasi zen, 1947.ean EEBBko Bell laborategietan egoera solidozko fisikan oinarritutako transistorea aurkitu ondoren.

Transistorearen asmatzaileek, Brattain eta Bardeen ikerlariak, urrezko bi kabletxo mehe germa-



**1. irudia.**  
Bereiztutako osagaien bidez lortutako zirkuitu sinplea.



- Etengailu edo konmutadore bezala, zirkuitu digitaletan.

Elektronika digitala da batez ere azken hamarkadetan izugarritzko garapena izan duena. Hori, erdieroale-zati txiki batean zirkuitu oso bat sartzearen —integratzearen— aukerari esker gertatu da. Teknologia honen hasiera 1960an gertatu zen.

Hasieran, sistema elektronikoen transistore, erresistentzia eta kondentsadorea bezalako bereiztutako osagaiak erabiltzen zituzten. Adibidez, 1. irudiko zirkuitu sinplea lortzeko, osagai hauek beharko lirateke: T transistore bat, R erresistentzia bat eta plaka inprimatu bat horien arteko konexioak egiteko.

**Zirkuitu integratuak**

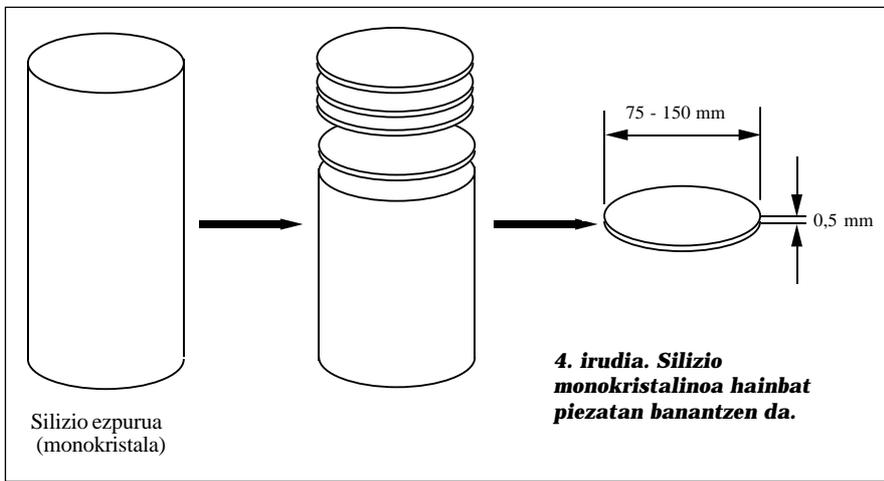
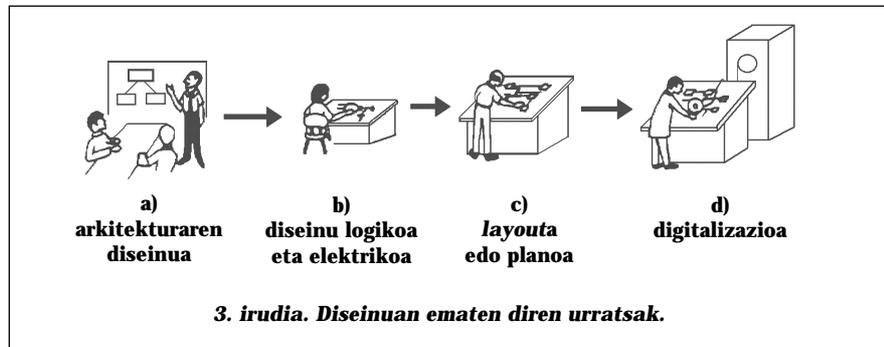
Baina irudikoa bezalako transistore bipolar bat material erdieroalezko hainbat geruzak osatzen dute, erdieroalea silizioa izan ohi delarik. Bestalde, erresistentzia silizioa erabiliz ere lor daiteke, zeren azken finean silizioak, erdieroalea delako, korrante elektrikoa eroaten bait du.

Zirkuitu elektronikoen bateko osagirik arruntenak (transistoreak, diodoak, erresistentziak, kondentsadoreak) siliziozkoak izan daitezkeenez, guztiak siliziozko zati berean sar daitezke edo (gauza bera dena) integra daitezke. Horrela zirkuitu integratuak edo txipak lortzen dira. Beraz, osagai-kopurua teorian edozein izan daiteke. Osagaiak integratuta, beraien arteko konexioak metal batez lor daitezke. Metalak zirkuitu integratuaren azkeneko geruza osatzen du. 1. irudiko zirkuitua 2. irudian ikus daiteke.

Zirkuitu integratuen ideia hau Kirby ikerlariak proposatu zuen 1959an, IRE (Institution of Radio Engineers) Irrati-Injineruen Batzarrereko bilera batean.

Teknologia honek muga batzuk ezartzen dizkie zirkuituei: kapazitate txikiak erabili behar dira; ezin da induktantziarik erabili; zirkuituek ez dituzte potentzia handiak kontsumitu behar, eta abar. Dena den, sistema digitaletan baldintza hauek betetzen dituzte eta arrazoi horregatik zirkuitu integratu digitalak dira azkarren garatu direnak.

Zirkuitu integratuen fabrikazioa posible izan da transistoreak sili-



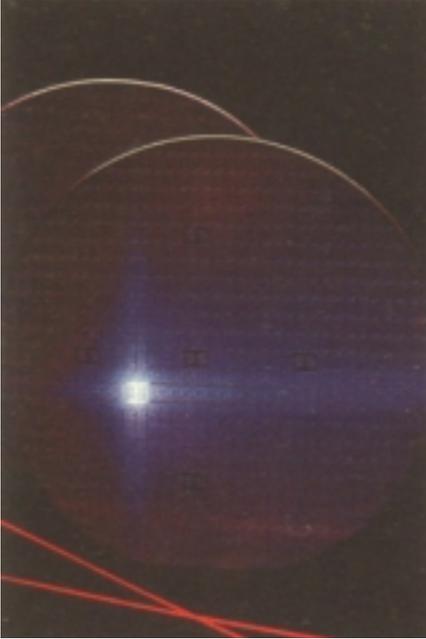
niozko kristal baten gainazala ukitutuz jarri zituzten. Kabletxoak kontu handiz eta elkarrengandik oso hurbil kokatu behar ziren. Horregatik gailua ez zen oso fidagarria; ezta oso erabilgarria ere. Baina horren bitartez gailu erdieroaleek seinale elektrikoak anplifika zitzaketela frogatu zuten. Beraz, huts-balbulak ez ziren jadanik anplifikagailu bakarrak. Pixka bat geroago, Schokley ikerlariak juntura-transistorea proposatu zuen. Honek ez

zuen kableen beharrik eta bere funtzionamendua askoz ere fidagarriagoa zen.

Normalean, egoera solidozko gailuek karga baten zeharreko korrantea edo tentsioa kontrolatzen dute beste aldagai baten bidez, aldagai hau, bere aldetik, korrantea edo tentsioa izan daitekeelarik. Bi eratan erabili daitezke:

- Korrantea edo tentsioa anplifikatzeko, zirkuitu analogikoak sortuz.

**5. irudia.**  
*Prozesatutako fitxan txip asko sartzen da, hala nola hainbat test-egitura, zirkuituak balio duela egiaztatzeko.*



ziozko zatiaren alde bakar batean fabrikatzeko oinarrizko fabrikazio-teknikak lehenik garatu zirelako. Aurrerapenak edo hobekuntzak beti etorri dira batabestearen ondoren. Beraz, ez da bapateko asmaketa izan.

### Zirkuitu integratuen fabrikazio-prozesuaren oinarrizko pausoak

Zirkuitu integratuaren kontzeptua sinplea izan arren, dagokion teknologjari ez zaio gauza bera gertatzen. Horregatik, zirkuitu integratu baten diseinua amaitzen denetik txipa lortu arte zehaztasun handiko prozesu konplexuen segida luzeari jarraitu behar zaio.

Zirkuitu integratu baten diseinu-prozesuan urrats batzuk eman behar dira; 3. irudian ikus daitezkeenak. Lehenengo fasean diseinatzaileek zirkuituak bete beharko duen funtzioa zehazten dute edo, gauza bera dena, arkitekturaren diseinua garatzen dute, eta zirkuituaren ezaugarriak garrantzitsuenak finkatu ere bai. Gero, gailuaren diseinu *erreal*a egiteari ekiten zaio. Lehenik diseinu elektronikoa



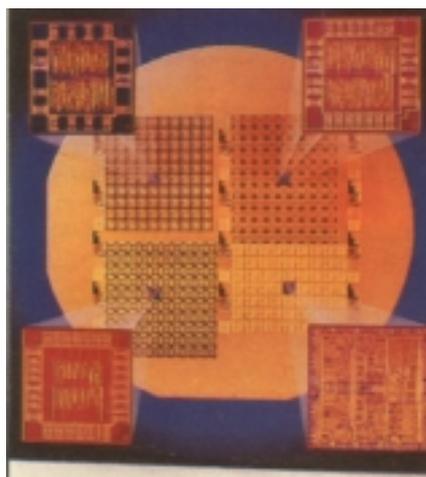
**6. irudia.**  
*Ingurune garbitasuna oso garrantzitsua da.*

burutzen da, non osagai elektronikoak zehazten bait dira. Gero zirkuituaren osagai bakoitzaren tamaina eta posizioa kalkulatu dira gutxi gorabehera, *layout* delako planoak marrazten delarik. *Layout* hau hiri bateko maparen antzekoa da, non osagaiak eraikuntzak bait dira eta osagaien arteko konexioak, aldiz, kaleak.

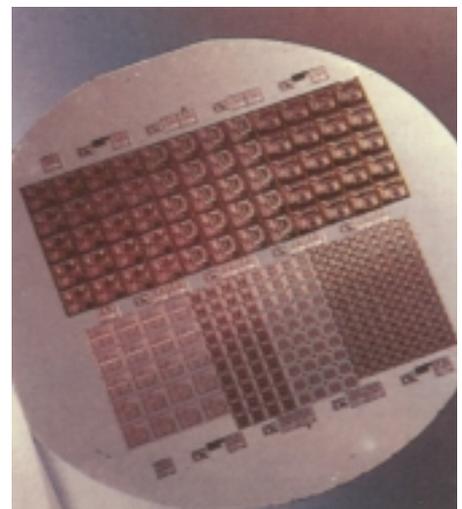
Normalean aurre-diseinu hau egiteko ordenadoreaz baliatzen dira diseinatzaileak, baina ordenadorerik gabe egiten bada, beharrezkoa da horrela sortutako informazioa ordenadorera sartzea, ondorengo pauso guztiak berak burutu ditzan. Informazio honekin txiparen fabrikazio-prozesuari ekiten zaio.

Fabrikazioa N edo P motako ezpurutasunak dituen siliziozko zilindro bat lortuz hasten da (4. irudia). Zilindro hau monokristala izan ohi da eta bere diametroa 75 eta 150 milimetro bitartekoa. Geroxeago zilindro hau 0,5 mm-ko lodieradun fitxa edo geruza finetan banatzen da (5. irudia). Guzti hau oso ingurune garbian egin behar da, zeren edozein hauts-partikulak zirkuituan akatsa sor bait lezake (6. irudia).

Geruza edo fitxa bakoitza sare batez hainbat datotan zatituko da, baina datoak ez dira banatuko prozesu guztiak amaitu arte. Dato hauetariko bakoitzean zirkuitu bat integratuko da. Dato guztietan zirkuitu bera integra daiteke edo hainbat zirkuitu desberdin (7. iru-



**7. irudia.**  
*Fitxa batean zirkuitu desberdinak integra daitezke.*



dia). Fitxan sartzen diren zirkuitu guztiak batera fabrikatzen direnez, hau da, behar diren denbora eta tresnak berak izanik, gailu hauen kostua bereizitako transistorearena baino askoz ere txikiagoa da, erabili behar den teknologia konplexuagoa izan arren.

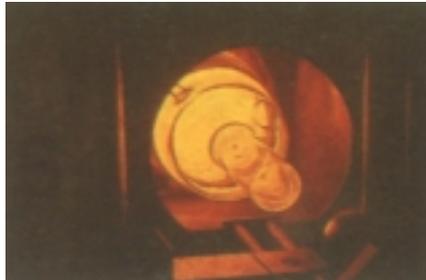
### Transistorearen osaketa

Adibidez, 8. irudian nMOS motako transistore baten fabrikazio-urratsak erakusten dira. Hemen-dik aurrera hartutako fitxa P motakoa dela pentsatuko dugu, eta hau izango da zirkuitu integratuaren oinarria edo substratua.

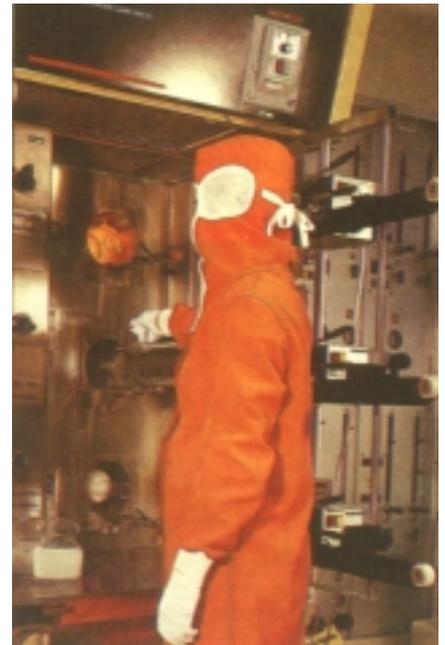
#### Oxidazioa

Hasieran, erdieroalezko fitxa finak babesteko oxigeno purua pa-

9. irudia. Siliziozko zilindroak labera sartu behar dira kimikoki erasotzeko (temperatura altuetan).



sarazten da azal gaineretik. Oxigeno-atomoak siliziozkoekin elkartzen dira silizio dioxidozko ( $\text{SiO}_2$ ) geruza bat osatuz. Geruza hau isolatzailea



da eta honen bitartez fitxaren azala estaltzen da, une horretatik aurrera edozein erreakzio kimiko ezinezkoa izanik. Horrela azala babestea lortzen da (8a irudia). Oxido-geruza honen lodiera oxidazioak iraun duen denboraren araberakoa da.

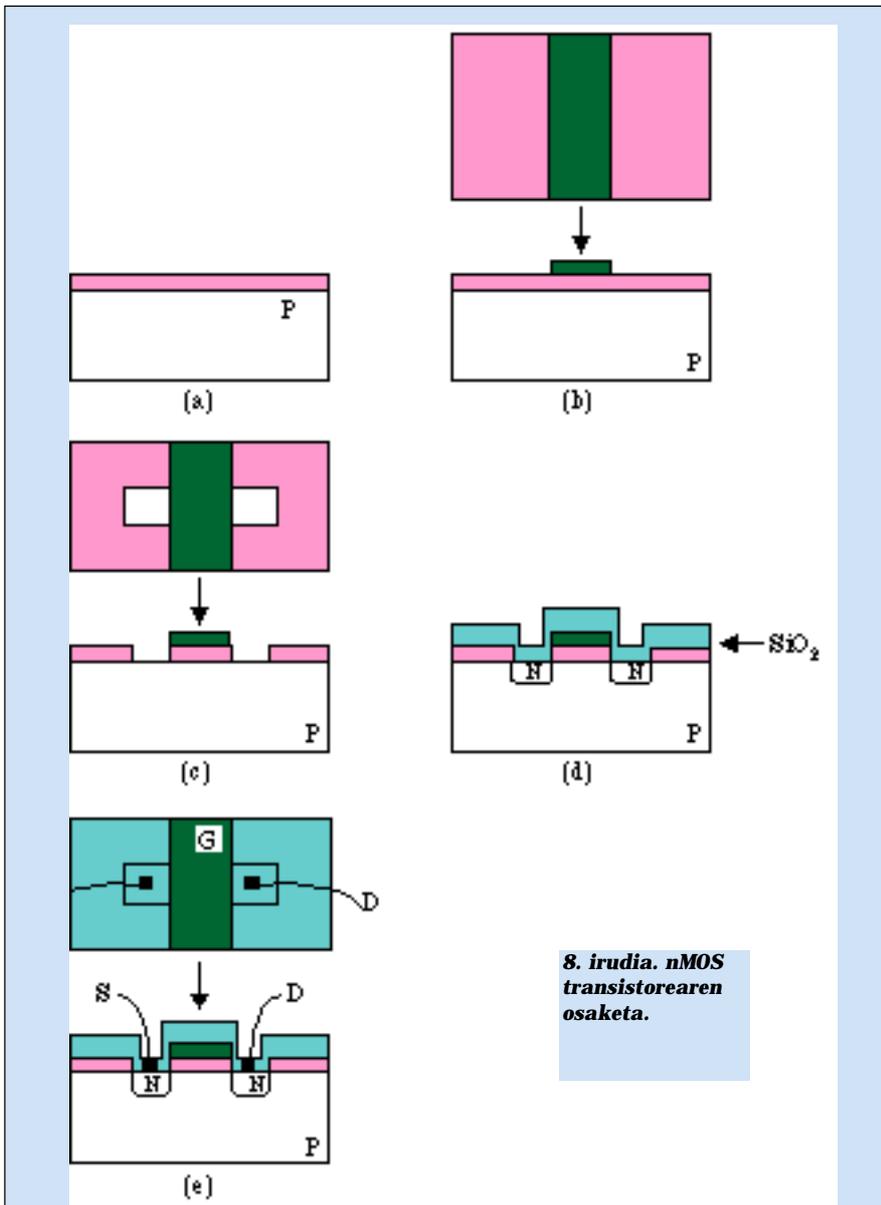
#### Ezarpena

Fase honetan azal gainean (oxido-geruzan, alegia) silizio polikristalinoa uzten edo ezartzen da. MOS transistorearen atea delako terminala lortzeko egokiro moztu edo marraztu behar da (8b irudia).

Gero bi leiho ireki behar dira oxido isolatzailean, geroxeago N motako bi zonak sortzeko. Horretarako ondorengo bi prozesuok burutu behar dira:

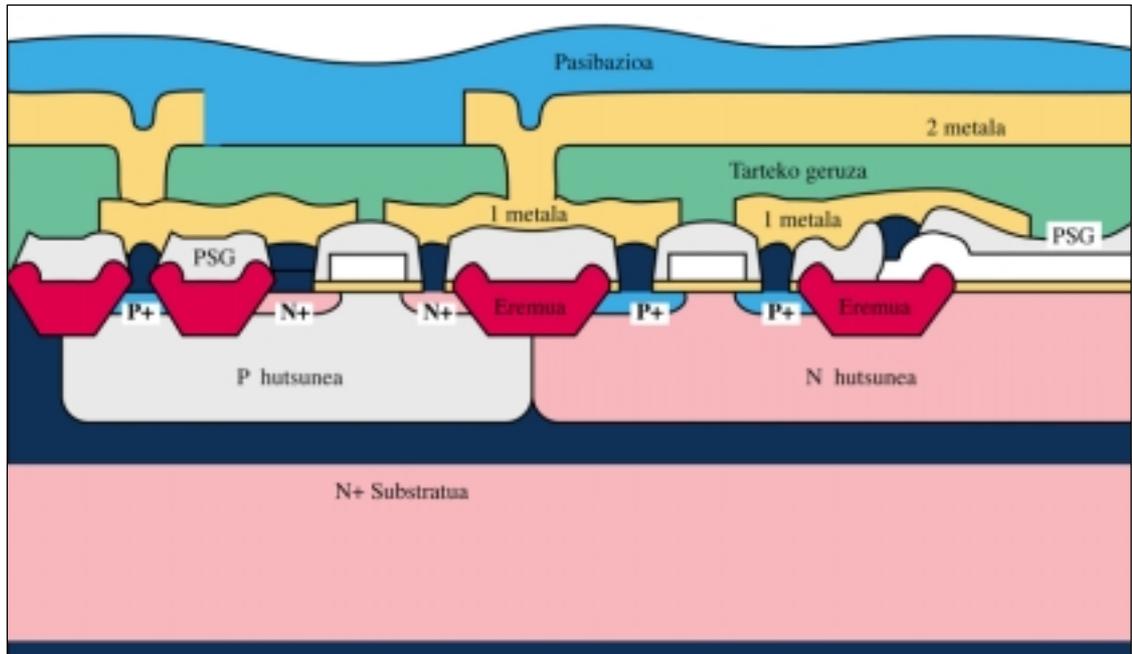
#### Fotolitografia

Pauso honetan erretxina fotosentikor bat ezartzen da azalean. Gero layout delako plano oinarritzat hartuz lortutako mozorro bat jartzen da azal gainean eta fitxa argi ultramorean kokatzen da. Argiaren eragina dela eta, erretxinaren zona batzuei beren ezaugarriak aldatu egingo zaizkie. Aldaketa hauek erretxina-motaren arabera-koak dira: erretxina *negatiboa* baldin bada, argiak jotako zonak disolbaezin bihurtzen dira besteak hasieratik disolbagarriak izanik, eta erretxina *positiboa* baldin bada (argazki-pelikuletan bezalaxe) alderantziz. Ezaugarrien aldaketa honek hurrengo urratsa ematea baimentzen du.



8. irudia. nMOS transistorearen osaketa.

10. irudia. CMOS zirkuitu baten zeharkako ebakidura.



**Grabaketa**

Pauso honetan fitxak erasoja saten du. Eraso hau kimikoa (disolbatzaileak direla medio) nahiz fisikoa (energia handiko ioiak bombardatuz) izan daiteke. Eraso honen bitartez erretxinak babestu gabeko zonetan (erretxina disolbagarria duten zonetan, alegia) oxido-geruza desagertu egiten da leihok irekita utziz (8c irudia).

**Difusioa**

Leihok ireki ondoren ezpurutasunak sartzeari ekiten zaio. Horretarako emaila edo hartzailea den materiala erabiltzen da. Kasu honetan, substratua P motakoa denez, N motako ezpurutasunak sartu beharko dira, material emailak erabiliz: fosforoa P, artsenikoa As,... Ezpurutasunak difusioa dela medio sartzen dira silizioan. Horretarako, aukeratutako material emaila horretan aberatsa den gasa erabiltzen da, tenperatura altuan azal gainetik putz egiten delarik eta fitxa labe berezi batean sartuta dagoelarik (9. irudia). Horrela N motako bi zona sortzen dira. Zona hauen sakonera difusioaren iraupenak eta materialaren kontzentrazioak finkatzen dute (8d irudia).

Difusio-teknikaren alternatiba moduan beste teknika bat erabili ohi da: *ioi-ezarpen* delakoa. Honetan energia handiko ioiak botatzen edo bombardatzen dira fitxaren gainazalaren kontra. Honen abantailak hauexek dira: ezpurutasunen kontzentrazioak eta sakonera errazago

kontrolatzen dira eta behar diren tenperaturak baxuagoak dira.

**Oxidazioa**

N motako zonak sortu ondoren, hurrengo pausoari ekin baino lehen, azala berriro estaltzen da beste oxido-geruza batez (8d irudia).

**Metalizazioa**

Azkenik, metalezko azken geruza ezartzen da, horretan aluminioa erabili ohi delarik. Hasieran azal osoa estaltzen da aluminioz, geroxeago kontaktuak izan ezik zona guztiak beste prozesu fotolitografiko batez garbitu behar direlarik. Horrela transistorearen D drenadorea eta S iturria direlako kontaktuak lortzen dira (8e irudia). Horrela amaitzen da transistore simple baten fabrikazioa.

10. irudian bi transistore, bat N motakoa eta bestea P motakoa, ikus daitezke.

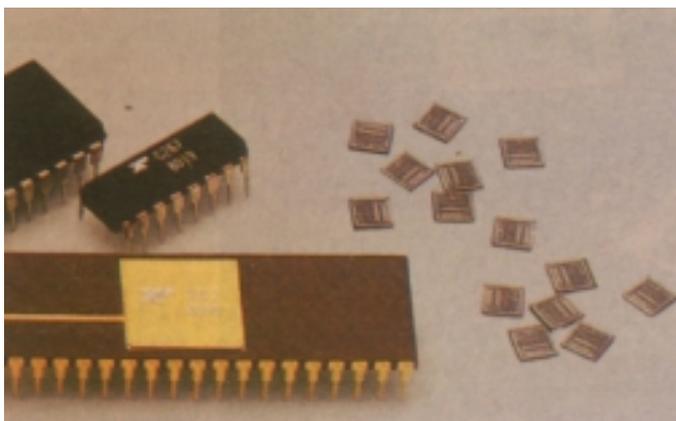
Zirkuitu konplexuagoak (osagai gehiagokoak alegia) fabrikatzeko

pausoak azaldutakoak dira. Desberdintasunik nabariena prozesu fotolitografikoetan erabiltzen diren mozturroen konplexutasuna da. Era berean, transistore-mota desberdinak behar direnez, prozesu-kopurua pixka bat handiagoa izango da beste geruza batzuk behar direlako.

Zirkuitu integratuaren geruza bakoitzari mozturro bat dagokio. Mozturro horretan geruza horri dagokion informazio geometriko eta topologikoa ematen dira *layouta* oinarritzat hartuta. Beraz, txipa fabrikatzeko prozesuaren etapa bakoitzarentzat dagokion mozturroa sortu behar da.

Hasieran komentatu dugunez, fitxa hainbat datotan zatitu da. Hauetariko bakoitzean zirkuitu integratu bat lortzen da aurreko prozesu guztiak segitu ondoren. Horregatik orain zirkuitu desberdinak banatu behar dira hasierako fitxa moztuz (11. irudia).

Honela lortutako zirkuituak ondo dauden ala ez ziurtatzeko kali-

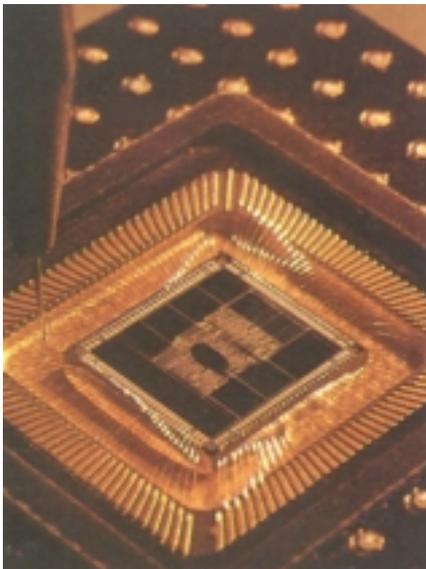


11. irudia. Fitxako datoak edo zirkuituak banatu egin behar dira.

12. irudia. Txipa fabrikatu ondoren oso ondo ikuskatu behar da edozein akats aurkitzeko.



13. irudia. Urrezko hariak direla medio, zirkuitu integratua bere hankatxoekin konektatzen da.



tate-kontrolako prozesu bati ekiten zaio ondoren (12. irudia). Hau egin eta gero, kanpoko kontaktuak soldatzen dira; zirkuitua munduarekin lotzen duten kontaktuak hain zuzen. Kontaktu hauek urrezkoak izan ohi dira (13. irudia). Gero kapsula batean ixten dira (14. irudia), kapsula plastikozkoa edo zeramikazkoa izan daitekeelarik.

### Integrazio-mailak

Siliziozko zati berean integratutako osagaien kopuruaren arabera, integrazio-maila desberdinak bereizten dira, hau da, segun eta azalera-unitateko osagai-dentsitatea zein den. Zentzu honetan, txip bateko transistore-kopurua bi hamarkadetan bakarrik 2 izatetik 500.000 baino handiagoa izatera

igaro da, zirkuitu integratuen be-lanaldiak sortuz (ordenadoretan bezalaxe). Ikusi 1. taula.

Taula honetan honakoa ikusten da: konplexutasun altueneko zirkuituak gaur egun VLSI (Very Large Scale of Integration) mailakoa edo *oso integrazio maila handiko* zirkuituak direla. Berorietan osagai-kopurua oso handia izateaz gain, osagaien tamaina gero eta

URTEA	1947	1950	1961	1966	1971	1980
TEKNOLOGIA	transistorearen aurkikuntza	osagai bereiztuak	SSI	MSI	LSI	VLSI
transistore-kopurua txip batean (gutxi gorabehera)	1	1	3 - 100	100 - 1.000	1.000 - 20.000	20.000 - 500.000 >>>
Osagaiak	—	Juntura-transistorea eta diodoa	Ate logikoak Flip-flop	Kontagailuak Multiplexoreak Batugailuak	8 biteko mikroproz. ROM RAM	16 eta 32 biteko mikroproz. Periferiko sofistikatuak

SSI = Small Scale Integration = Integrazio-eskala txikia

MSI = Medium Scale Integration = Integrazio-eskala ertaina

LSI = Large Scale Integration = Integrazio-eskala altua

VLSI = Very Large Scale Integration = Oso integrazio-eskala altua

1. taula. Mikroelektronikaren garapena.

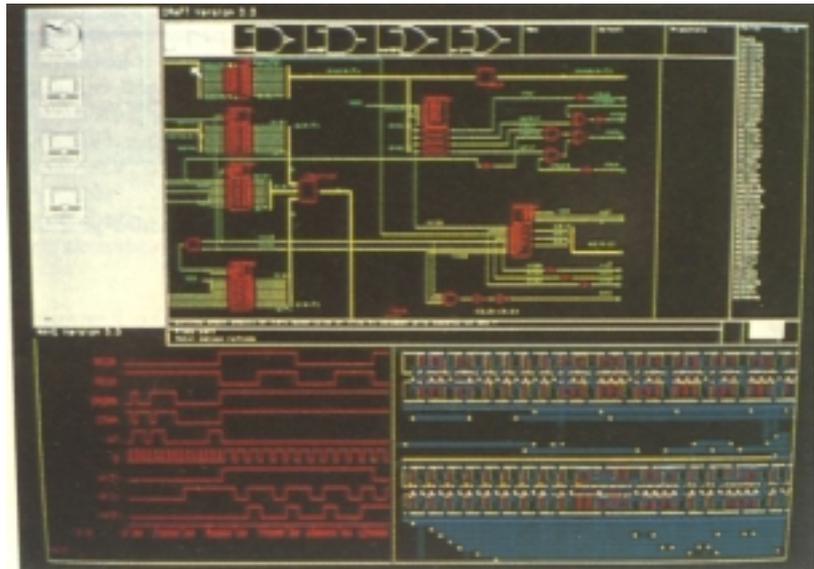


14. irudia. Kapsula-mota asko dago: plastikozkoak, zeramikazkoak, eta abar.

txikiagoa da, osagaiek betetako silizio-azalera oso garrantzitsua izanik. Esate baterako, transistoreen neurriak *mikratan* ematen dira, mikra bat (1µm) milimetro bat baino mila aldiz txikiagoa delarik. Neurri hauetatik datorkie izena mikroelektronikari, mikroprozesadorei eta abarri.

Laburbilduz, hauxe esan daiteke: transistoreen tamaina zenbat eta txikiagoa izan, osagai-kopurua hainbat eta handiagoa izango dela. Honen eragina zirkuitu integratua definitzen duen layout edo planoan

**15. irudia.**  
**Simuladorearen**  
**bitartez**  
**zirkuituaren**  
**funtzionamendu**  
**teorikoa ezagutu**  
**daiteke.**



nabaritzen da. Plano hauek konplexuegiak suertatzen dira pertsona batek marraz ditzan. Horregatik, guztiz beharrezkoa suertatzen da ordenadorearen laguntza diseinu-prozesu osoa eta fabrikazioa errazteko.

**CAD/CAE: ordenadorez lagunduriko diseinua eta injinerutza**

Orokorrean, edozein diseinu egiterakoan diseinua errazteko ordenadorea erabiltzen bada, CAD (Computer Aided Design) hitza erabili ohi dugu. Zirkuitu integratuen diseinuan edo diseinu elektronikoa, bi alderdi bereizten dira: alde batetik, diseinu geometrikoa egin behar da, sistema adierazteko marrazki eta irudiak alegia (blokekako eskemak abstrakzio-mailarik altuenetan; logika-mailakoak ate logikoak adieraziz; transistore-mailakoak edo elektrikoak; fabrikatzailerentzako mozorroak —*layout*— edo fisikoak). Horretarako CAD programak erabiltzen dira.

Baina bestetik, eta garrantzitsuena den diseinu elektronikoa, diseinu-prozesuan zehar beste ezaugarri batzuk zaindu behar dira, lortutako zirkuitu integratua guztiz fidagarria edo (ahal den fidagarriena behinik behin) izan dadin. Ezaugarri hauek funtzionamenduarekin daude lotuta, berarekin kontrolatzeko ordenadore bidezko simulazioak egiten direlarik. Horretarako CAE (Computer Aided Engineering) direlako programak erabiltzen dira. Eta zer da zirkuitua simulatzea? Ba, diseinatutako zirkuituaren funtzionamendua egiaztatzen duen prozesua, hau da, zirkuituaren funtzionamendua ematen duten ekuazioak ordenadore bitartez ebaztea, horrela funtzionamendu teorikoa lortzen delarik. Ekuazio hauek *simuladore* izeneko programek ebazten dituzte. (Seguru asko batek baino gehiagok

ezagutzen ditu hegaldi-simuladoreak —PCetarako jokoak baietz ezagutu!—; hauen bitartez hegazkinetako pilotuak edo hegazkinlariak entrenatzen dira hegazkin eta aireporturik gabe, hau da, inora hegan egin gabe!).

Simulazioaren beharra diseinu-prozesuaren ezaugarrietan datza. Hasieran, diseinatu nahi dugun sistemaren funtzionamendua ezagutzen dugu. Hortik abiatuta, sistema osoa hainbat bloketan banatzen da, bloke horien diseinua errazteko delakoan. Bloke bakoitzarekin banaketa bera egin daiteke, lortutako azken blokeen konplexutasuna edo zailtasuna diseinatzailearentzat jasangarria izan arte, agian bloke hauek bete behar duten funtzioa jadanik diseinatuta dagoelako (batutzaileak, konparatzaileak,... esate baterako) edota oso sinplea delako. Diseinu-metodo honi beheranzko diseinu deitu ohi zaio (*top-down* ingelesez). Azken blokeak diseinatu ondoren, elkartu egin behar dira aurreko mailako blokeak lortzeko, elkarketa hau mailarik altuenetaraino errepikatu behar delarik (hau da, prozesua orain behetik gora egiten da).

Diseinua bukatu ondoren, teoriar zirkuitu fisikoa edo prototipoa eraiki daiteke. Praktikan, arazoa hau da: horren prozesu luzean oso erraza da funtzionamendua akatsak sartu izana. Akats hauek zirkuitua fabrikatu baino lehen detektatzen ez badira, azkenean honakoa izango dugu: zirkuituak guk nahi genuen funtzioa ez betetzea, eta hori garestiegia suertatzen da, zeren diseinu-prozesuari hasieratik berriro ekin behar bait

zaio. Diru-galtze hau ekiditeko simulazioak egiten dira.

Simuladore elektronikoa, oro har, bi eratakoak izan daitezke: simuladore logikoak (ekuazio booleanak erabiltzen dituztenak) eta simuladore elektrikoak (korrante eta tentsioen arteko ekuazioak ebazten dituztenak). Simuladore hauen datu-sarrerak grafikoak (CAD programen bidez sartutakoak) edota ekuazioak (testu-prozesadore baten bitartez sartutakoak) izan daitezke. Era berean, irteera grafikoak izan ohi da; denborazko diagramak edo kronogramak normalean (15. irudia). Simulazioaz lortutako funtzionamendua eta bilatutakoa berdina badira, aurrera segi daiteke zirkuitua integratzeko. Bestela aldaketak egin beharko dira detektatutako akatsak edo desberdintasunak desagertu arte.

Zirkuitu integratuak gero eta konplexuagoak izanik, CAD/CAE ordenadore bidezko laguntza-programak hobetu egin behar izan dira zirkuituen konplexutasun-maila horiei eutsi ahal izateko. Baina programa hauek hobetu direnean, eutsi nahi zen konplexutasun-maila baino altuagoa maneiatu ahal izan da. Hori dela eta, are eta zirkuitu konplexuagoak diseinatu ahal izan dira. Zirkuitu hauek erabiliz eraikitako ordenadoreak ahaltsuagoak suertatu dira. Ahalmen handiago horri esker, programa zailagoak eta luzeagoak exekutatu ahal izan dira denboratarte baliokidetan. Programa hauen bitartez, berriro zirkuitu konplexuagoak, eta abar. Hau da, efektu nabarmen bat agertzen da eta efektu horri elektronikaren *berre-*

likadura positiboa deritzo (16. irudia). Hau da, ekintza baten emaitza edo irteera *berrelikatu* egiten da, sarreran beste sarrera batek bezala eragiten duelarik. Berrelikadura honen eragina positiboa ala negatiboa izan daiteke. Positiboa baldin bada, azaldutako kasuan bezalaxe, irteera berria handiagoa izango da. Negatiboa bada, aldiz, irteera txikiagoa izango da.

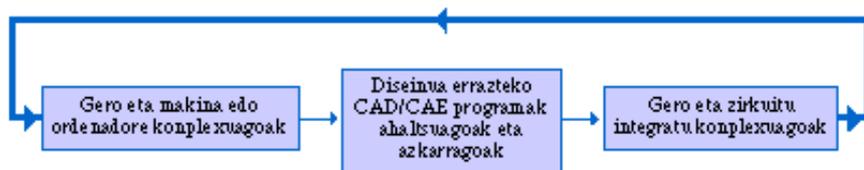
VLSI zirkuituen berrikuntza edo ekarpena, beraz, ez da tamaina edo kostua txikiagotzea bakarrik; horretarako asmatutako diseinu-metodo berri eta bereziak eta laguntzeko asmatutako tresnak ere bai baizik.

Zirkuitu hauekin filosofia klasikoak ez du jadanik balio (hau da, fabrikatzaileak ez ditu jadanik zirkuituak diseinatzen). Beharrezkoa da bezero berak bere zirkuitua definitu ahal izatea. Diseinu-denborak ahal den laburrena izan behar du eta kostuak ahal den txikiena. Ikus ditzagun ba diseinatzailearen esku dauden diseinu-filosofiak.

### Diseinu-aukerak

Sistema digital osoa diseinatzerakoan (zirkuitu integratuak erabiliz) aukera bat baino gehiago dago:

- **Diseinu estandarra**, zirkuitu integratu estandarrak erabiliz. Kasu honetan, zirkuitu integratuen fabrikatzaileak aukeratzen du zirkuituak beteko duen funtzioa. Sistemaren diseinatzaileak horrelako zirkuitu batzuk erabili beharko ditu bere sistema osatzeko, *txipak* zirkuitu inprimatu batean elkartzen direlarik. Zirkuitu inprimatuzko plakak diseinatzeko (zirkuitu integratuen kokapena plakan —*placement*—



16. irudia. Berrelikadura positiboaren eragina zirkuitu integratuen konplexutasun-mailan.

eta beraien arteko konexioak edo bideak —*routing*—) CAD programak erabiltzen dira (17. irudia).

- **Full-custom diseinua** edo erabiltzailearen beharrei guztiz egokitutako diseinua. Kasu honetan diseinatzaileak bere zirkuitu integratu berezia diseinatzen du, fabrikatzaileari fabrikazio-prozesuan zehar erabili behar dituen mozorroak pasatu behar dizkiolarik. Horretarako, gaur egun, guztiz beharrezkoak suertatzen dira CAD/CAE programak, zirkuitu integratuen konplexutasuna dela eta. Aukera hau oso garestia da eta bakarrik erabiltzen da fabrikatu behar den zirkuitu-kopurua oso altua denean (milioi bat zirkuitu adibidez).

- **Semi-custom diseinua** edo erabiltzailearen beharrei aurre egiteko fabrikatzaileak egokitutako zirkuitu integratuak. Fabrikatzaileak zirkuituak diseinatzen ditu, baina askatasun-pixka bat uzten dio diseinatzaileari zirkuituak bete behar duen funtzioa berak aukera dezan. Bi aukera daude: *Gate Arrays (GA)* edo ate logikoen sareak eta *Standard Cells (SC)* edo zelula estandarrak. Ate logikoen sareetan (GA) fabrikatzaileak metalizazioan behar direnak ez eta beste mozorro guztiak diseinatzen ditu. Horrela, fabrikatzaileak osagaien (transistoreen) ezaugarriak, hala nola

beraien tamaina eta kokapen erlatiboak, finkatzen ditu, baina diseinatzaileak, metalizazioaren bidez, osagaien arteko konexioak aukeratzen ditu zirkuituak funtzio konkretu bat burutu dezan. Hau da, diseinatzaileak metalizazioaren mozorroa baino ez du marraztu behar.

Zelula estandarretan (SC) aldiz, diseinatzaileak nahi dituen osagaiak (transistoreak) erabiltzen ditu eta berak nahi duen posizioan kokatu ere. Beraz mozorro guztiak pasatu beharko dizkio fabrikatzaileari honek zirkuitu integratua fabrika dezan. Baina osagaien ezaugarriak (tamaina batipat) fabrikatzaileak definitu ditu, ezaugarri hauek diseinatzaileari zelulen *liburutegi* batean pasatu dizkiolarik.

Garbi dago, beraz, diseinu-aukera hauetan diseinatzaileak askatasun gutxiago duela *full-custom*-ekin konparatuta. Baina prezioa merkeagoa da, eta diseinua burutzeko denbora laburragoa ere bai. Hemen ere CAD/CAE tresnak oso lagungarri suertatzen dira.

Oro har, diseinu-aukera bat edo beste hautatzeko orduan hainbat faktore hartu behar da kontutan: fabrikatu nahi den zirkuitu-kopurua; gastatu nahi den dirua; diseinu-denbora (zirkuitua lehenbailehen merkaturatzeko); ordenadore bidezko tresna lagungarriak erabiltzeko aukera; eta abar.

Azken bi aukerei jarraituz (*full-custom* eta *semi-custom* direlakoei, alegia) lortutako zirkuituei ASIC (ingelesez Application Specific Integrated Circuits edo aplikazio berezietarako zirkuitu integratuak) deritze.

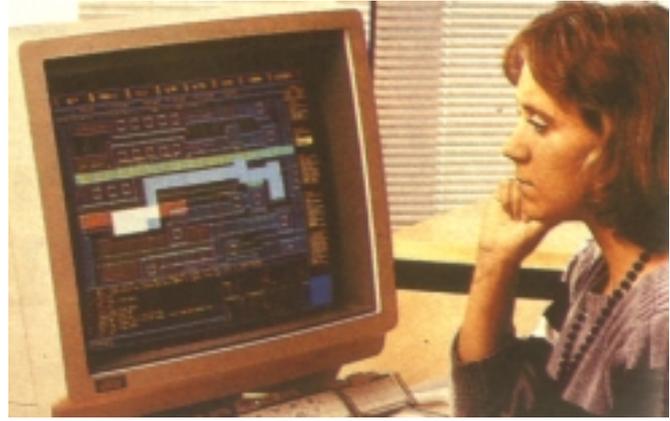
Diseinu estandarri jarraituz, integrazio-maila guztietako zirkuitu integratuak erabil daitezke. Erabilitako zirkuitu-integratuen integrazio-maila zenbat eta baxuagoa izan, hainbat eta handiagoa izango da zirkuitu-kopurua eta, beraz, baita zirkuitu inprimatuzko plakaren tamaina eta konplexutasuna ere, zirkuituen arteko elkarkone-



17. irudia. Sistema konplexuak lortzeko zirkuitu integratu asko plaka inprimatu batean sartzen da.



**18. irudia. Zirkuitu integratuen konplexutasuna gero eta handiagoa da eta maneiatu ahal izateko, ordenadorez lagunduriko diseinua guztiz beharrezkoa da.**



xioak direla eta. Diseinu-aukera hau bakarrik onar daiteke diseinatu edo eraiki nahi den sistema oso konplexua ez denean. Bestalde, oso erraza da horrela diseinatutako sistema kopiatzea, horrek galera ekonomikoa ekar dezakeelarik.

Zalantzarik gabe, desiragarria litzateke zirkuitu bakar batek ahalik eta osagai-kopururik handiena ordezkatzeko. Hori nahiz mikroprozesadore bat nahiz ASIC bat erabiliz egin daiteke.

Mikroprozesadorea, nahiz estandarra izan, oso VLSI zirkuitu konplexua da eta horregatik bere garapen-kostua astronomikoa da. Dena den, oso funtzio desberdinak burutzeko programa daiteke eta horri esker edonon aurki ditzakegu mikroprozesadoreak. Oso sistema desberdinetan: ikuztailu automatikoan ala gasolina-ponpa batean.

Hainbeste aplikaziotan erabil daitekeenez, mikroprozesadore asko fabrika daitezke eta horrek garapen-kostua murriztu egiten du, zeren fabrikatutako unitate guztien artean banatu behar bait da. Horregatik, mikroprozesadore aurreratu batek mila pezeta baino gutxiago balio dezake, bere diseinuan pertsona-urte asko gastatu arren.

Mikroprozesadorea helburu orokorreko zirkuitua da eta horregatik aplikazio desberdinetan erabil daiteke. Baina hori dela eta, aplikazio guztietan ez da oso eraginkorra izango. Hau da, aplikazio konkretu bati horretarako bereziki diseinatutako zirkuitua hobeto egokituko zaio mikroprozesadorea baino. Horregatik dute ASIC zirkuituek garrantzia. Baina hauek sistema-kopurua oso handia denean ba-

karrak suertatzen dira konparagarri (mikroprozesadoreekin), kostu handiagoa dutelako.

Dena den, lehenengo eta beste bi diseinu-aukeren arteko jautzia gero eta estuagoa da, fabrikatzaileak egokitutako zirkuituen multzoa gero eta handiago izanik: PLA (Programmable Logic Arrays edo sare logiko programagarriak), PLD (Programmable Logic Devices edo zirkuitu logiko programagarriak), PGA (Programmable Gate Arrays edo ate logikoen sare programagarriak), eta abar. Izenak aztertuz ikusten denez, guztiak antzekoak dira eta ezaugarriak garrantzitsuenak programagarriak izatea da, hau da, diseinatzaileak bere laborategian lor dezake zirkuitu integratu egokitua fabrikatzaileari itzuli gabe.

### Mikroelektronikaren oraina eta geroa

Zirkuitu mikroelektronikoen tamaina txikiago eta ahalmen handiagoei esker lortutako etekinak oso garrantzitsuak izan dira: sistemen tamaina, pisua eta kostua nabarmen txikiagotu dira eta aldi berean errendimendua asko hobetu da. Izan ere, integrazioak ekarritako etekinak gero eta handiagoak izan dira denbora pasatu ahala, eta guzti honen bukaera ez daukagu oraindik begibistan. Gaur egun silizio gainean eraiki daitezkeen sistema elektronikoak hain konplexutasun-maila altuko eta tamaina txikiagoak dira, ezen mugak gizakiaren edota ordenadorerik ahaltsueneren ezaugarriak ezartzen bait ditu; sistema hauek osoki ulertzeko ezaugarriak bereziki.

Orain arte osagai, zirkuitu eta sistemen arteko desberdintasunak nabariak izan arren, orain de-

sagertu egin dira nolabait. Teorian posible da sistema osoa txip bakar batean integratzea. Erantzuteke gelditzen den galdera bakarra hau da: zein da sistema horren tamaina edo konplexutasuna?

Zirkuitu integratu bakar batean integratutako sistemak ondoko ezaugarri desiragarriak izango ditu: a) Zirkuitu inprimatuzko plaka askoz sinpleagoa izango da; beraz, merkeagoa. Txip desberdinen arteko konexio gutxiago beharko da eta horregatik beharko den lanesku eta makinaren kostuak izugarri txikiagotuko dira. b) Sistemaren fidagarritasun-maila hobetu egingo da, zeren eta zirkuituen arteko elkar-konexioek finkatzen bait dute. c) Sistemaren kontsumitako potentzia nabariki txikiagotuko da. Horrek potentzi iturri edo pila txikiagoak beharko direla adierazten du edo, gauza bera dena, pila batek denbora gehiago iraungo duela. d) Sistema azkarragoa izango da seguru asko. e) Sistemaren diseinua ez kopiatzeko babestea askoz errazagoa izango da, hau da, lehiakideari zailagoa gertatuko zaio sistema hori kopiatzea.

Konputazio-ahalmen handiagoa edonorentzat eskuragarri izatea lortzen bada, gaur egun erabakiezina diren problemak (behar den konputazio-denboragatik batipat) ebatzi ahal izango dira, gaur egungo amets asko egia bihurtuko direlarik.

Mikroelektronika ordenadore eta komunikazio-industriekin elkartu denean, Informazioaren Teknologia delako eremu berria sortu da. Eremu honetan berriz, beste eremu berri batzuk ireki dira, Adimen Artifiziala kasu. Beraz, makina adimendunak lortzen badira, besteak beste mikroelektronikan edo zirkuitu integratuen teknologian gertatutako aurrerakuntzei esker izango da.