

Components electrònics: Circuits digitals

Josep Amat

Introducció

L'evolució de la tecnologia electrònica als últims 10 anys ha seguit un ritme molt accelerat. Molts dels progressos experimentats en diverses branques de la tècnica, i especialment la de la Informàtica, han estat possibles a causa de l'avenç de la microelectrònica.

La història de la microelectrònica és molt recent, ja que comença l'any 1958 en agrupar en un sol element tots els components d'un determinat circuit, gràcies a les tècniques fotolitogràfiques. El primer circuit integrat (Texas Ins.) contenia els transistors i les resistències d'un amplificador. És el 1961 quan Fairchild fabrica el primer circuit integrat digital, un biestable RTL. Des d'aleshores, s'inicia la fabricació de diverses funcions digitals en petita escala d'integració (SSI), i no sobrepasant-se els 64 components per pastilla fins a l'any 1965. A partir d'aleshores apareixen funcions tals com biestables, comptadors, registres, sumadors, multiplexors..., i altres elements de mitja escala d'integració (MSI).

No és fins el 1969 que, ja amb la tecnologia MOS, se sobrepassen els 1000 components per circuit integrat. Això és possible en poder substituir les resistències per transistors MOS, que permet estalvi d'espai i reducció de consum. La dissipació és una de les barreres que no permeten augmentar indefinidament la densitat i, per tant, la complexitat dels circuits integrats.

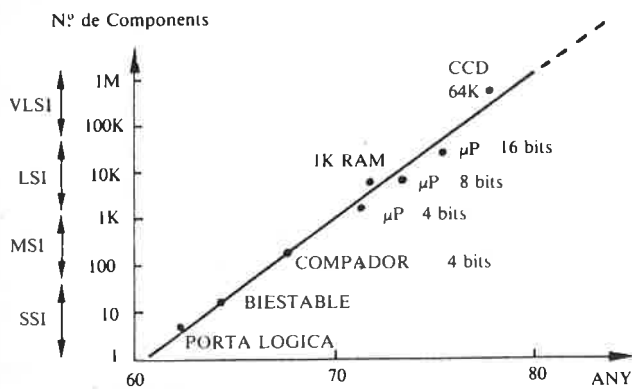


Figura 1. Aument progressiu de la complexitat dels C.I.

La dècada dels 70 és la de l'alta escala d'integració: LSI, (Fig. 1), i en la qual es produeixen els següents avenços:

- 1970 - Primera calculadora de mà (H.P.)
- 1971 - Primer microprocessador de 4 bits (Intel)
 - Primer rellotge digital de polsera, amb leds. (Pulsar)
- 1972 - Primera memòria reprogramable, EPROM (Intel)
 - Primer microprocessador de 8 bits (Intel)
- 1973 - El MIT desenvolupa un sistema d'exploració mèdica no intrusiva, per ultrasons.

- Primera cambra TV d'estat sòlid (Fairchild)
- Primer convertidor D/A monolític (Analog Devices)
- Primera calculadora de mà programable (H.P.)
- Primer analitzador lògic d'estats (H.P.)
- 1974 - Nova família bipolar: I²L (Philips)
 - Primers computadors personals.
- 1975 - Primer cable comercial de fibres òptiques (Corning)
 - Primers convertors A/D monolítics
- 1976 - Primer lector òptic de caràcters (OCR) comercial, per nombres i algunes lletres (Key Tronic)
 - Primer MOS-FET de potència, la tecnologia VMOS (Siliconix)
 - Primer rellotge digital de polsera amb cristall líquid (T.I.)
 - La G.M. utilitza un µP per al control de la injecció en un dels seus models.
 - Primer microcomputador en un sol chip, amb memòria EPROM (Intel)
- 1977 - Primera màquina fotogràfica amb control totalment electrònic, exposició i focus (Honeywell-Konica)
 - Primer circuit LSI amb tecnologia VMOS, 1K RAM (AMI)
- 1978 - A la Universitat de Stanford s'obté el primer Triac amb porta MOS, el TRIMOS.
 - Primer traductor de butxaca.
- 1979 - IBM experimenta circuits lògics d'unió Josephson amb un temps de commutació inferior als 10 ps.
 - T.I. i Intel anuncien la memòria de bombolles de 1Mbit.

El progrés de la microelectrònica observat en aquests 10 últims anys no sembla que tendeixi a minvar, sino que, al contrari, va augmentant dia a dia el seu camp d'aplicació.

1. Evolució de la tecnologia de fabricació de C.I.

La evolució de la tecnologia de fabricació dels circuits integrats, ha estat orientada a augmentar la complexitat de la funció a realitzar per cada element, a augmentar la seva velocitat de commutació i a la reducció dels costos.

Aquests objectius han estat sobradament assolits: la complexitat als últims 10 anys es pot considerar que s'ha multiplicat per 1000. El temps de commutació d'una porta MOS ara és 100 vegades més petit que el 1973, i els elements d'unió Josephson treballant a temperatures pròximes al zero absolut tenen un temps de propagació encara 1000 vegades més petit que les actuals famílies TTL.

En quant a preu, igualment s'han assolit reduccions importants: el cost per bit d'una memòria s'ha dividit per 10 en els últims 5 anys. Un microprocessador de 8 bits, ara val 5 vegades menys que fa 4 anys, i una calculadora de mà, ara val 50 vegades menys que fa 10 anys, el posar-se a la venda les primeres.

Totes aquestes millores, són degudes, en bona part als perfeccionaments de les tècniques fotolitogràfiques utilitzades en la fabricació dels circuits integrats.

Inicialment, s'utilitzava la litografia de contacte amb llum ultravioleta, amb la qual cosa s'aconseguien geometries amb línies d'un gruix de l'ordre de 20 μm . L'any 1973 aquests gruixos s'havien reduït a la meitat. Per aconseguir una reducció més gran es comença a utilitzar la fotolitografia per a reducció, i es passa a obtenir línies de 3-4 μm . Aquesta tècnica quedava limitada per la longitud d'ona utilitzada en la il·luminació. És per això que el 1974 la Bell Lab. comença a utilitzar un feix d'electrons que per deflexió permet escombrar l'oblea (sistema EBES). D'aquesta manera s'obtenen línies d'1-2 μm sense utilitzar màscares, directament a partir de les dades contingudes en la memòria del computador. Aquest sistema té l'inconvenient de l'elevat preu dels equips necessaris i del temps esmerçat en l'escombrament de tota l'oblea. Fig. 2.

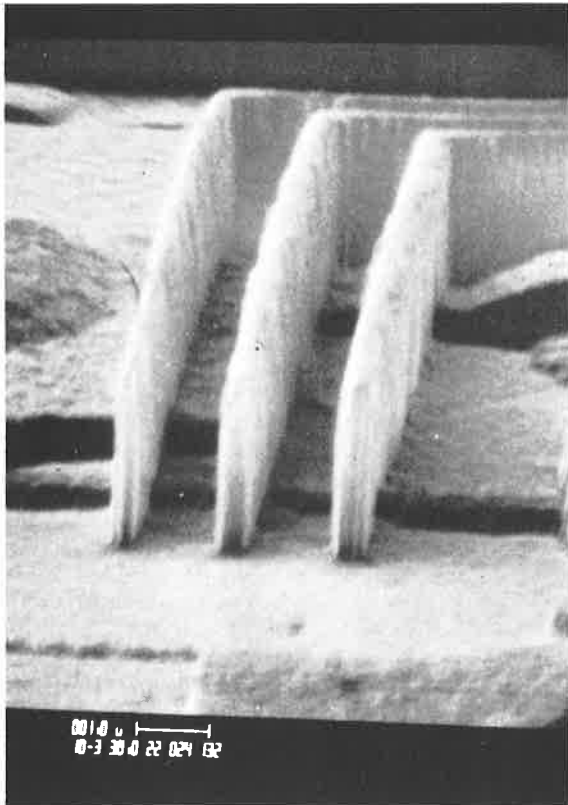


Figura 2.

Per evitar aquests inconvenients, la Nippon Telephone and Telegraph p. Corp. el 1978 comença a introduir un equip per projecció, però per a poder obtenir alta resolució, utilitza raigs X i alineament de màscares controlat per interferòmetre de Laser. Amb aquest sistema i amb màscares fetes amb escombrament, per feix d'electrons, s'aconsegueixen gruixos de línies d'1 μm i d'aquí a pocs anys segurament s'hauran reduït en més de la meitat.

Les millores de les tècniques fotolitogràfiques encaminades a la reducció de mides, ha comportat un apreciable augment de la velocitat de commutació i a la possibilitat d'augmentar la capacitat d'integració a cada pastilla; però necessàriament també s'han hagut de millorar les tècniques del dopat. És per això que la difusió, per exposició de l'oblea a 1000° en presència d'atmosfera portadores de dopants, és substituïda en molts casos per la implantació iònica. Aquesta tècnica consisteix a ionitzar i accelerar els àtoms dopants amb una diferència de potencial adequada perquè els ions s'incrustin sobre l'òxid que recobreix la superfície de l'oblea, i arriben fins al silici, si l'energia dels ions és suficient. La implantació selectiva s'aconsegueix emmascarant la superfície amb una capa més gruixuda d'òxid, o per deposició d'una pel·lícula fina de nitrur de silici. D'aquesta manera s'aconsegueix

controlar amb més precisió la profunditat i la dosi d'impureses injectades a cada zona.

La depuració progressiva dels processos de fabricació, ha aconseguit disminuir el nombre de pastilles defectuoses que surten de cada oblea, i n'augmenten notablement el seu rendiment, la qual cosa permet la reducció dels costos.

2. Les famílies lògiques

En el desenvolupament tecnològic d'aquests últims anys, no s'ha produït únicament una miniaturització creixent, sinó que també s'han anat produint millores estructurals i de concepció.

Les dues grans famílies, bipolar i MOS, s'han anat perfeccionant, aprofitant cada una els seus avantatges o compensant les seves limitacions, sense que es pugui preveure que una tecnologia arribi a desplaçar definitivament l'altra els pròxims anys.

Dins de la tecnologia bipolar, en què la seva limitació és l'elevada dissipació, apareix el 1973 la família TTL/LS (Low-power Schottky), més ràpida que la TTL normal i amb quasi 10 vegades menys de dissipació, la qual cosa produeix el retrocés de les famílies TTL i TTL/H, que estan en plenitud fins al 1975. Fig. 3.

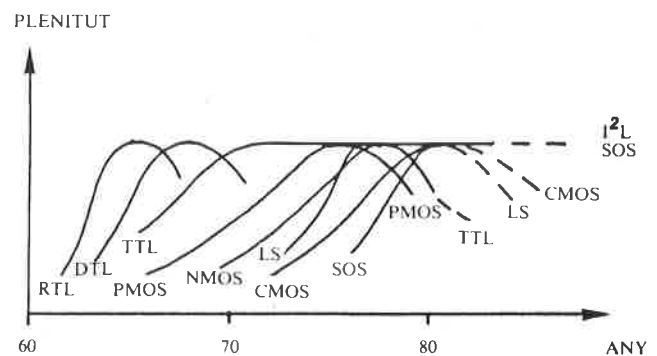


Figura 3. Introducció de les diferents famílies lògiques.

El desavantatge de la tecnologia LS enfront de la MOS és encara la seva elevada dissipació i la grandària ocupada per l'element bàsic, el transistor i les resistències. Aquests inconvenients són superats el 1975 amb l'aparició de la nova tècnica bipolar d'injecció de corrent I²L. Per la disposició dels transistors NPN-PNP que formen la seva estructura, no necessiten illa de separació, i així aconsegueixen una densitat semblant a la tecnologia MOS. Malgrat tot, la velocitat aconseguida amb la tecnologia I²L encara és més lenta que l'ECL, que continua essent, fins ara, la més ràpida. Fig. 4.

En tecnologia MOS, tampoc no són necessàries les illes de separació entre transistors, ja que la seva estructura és autoaïllant. En tenir a més una baixa dissipació, permet la integració en gran escala.

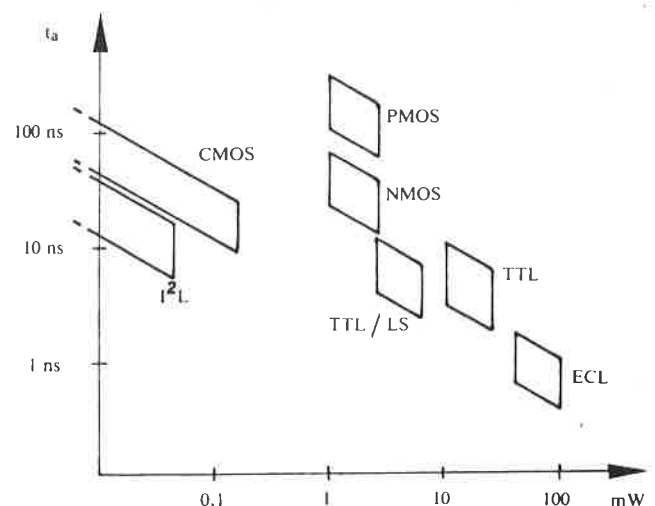


Figura 4. Potència - temps de propagació de diferents famílies.

Inicialment, els transistors MOS formats eren de canal P, que tenen un procés de fabricació més simple. En poder fabricar transistors en canal N, es va poder millorar el temps de propagació, ja que la mobilitat dels electrons lliures és superior a la dels forats.

La tecnologia NMOS no ha desplaçat encara totalment la PMOS, ja que pel seu menor preu, encara s'utilitza en aplicacions en què la velocitat no és fonamental, com pot ésser en les calculadores de poc preu.

Per aplicacions en què cal un molt baix consum, la RCA introdueix el 1972 la tecnologia complementària CMOS. A partir d'aleshores se succeeixen un seguit de millores de la tecnologia NMOS, per obtenir millor velocitat de commutació, especialment en la fabricació de memòries. Així sorgeixen les famílies HMOS, DMOS, VMOS, SOS.

3. Altres components electrònics

Al costat del gran desenvolupament dels circuits integrats digitals, s'han anat produint paral·lelament notables avenços en altres components i equips relacionats també amb el camp de la informàtica.

Entre ells són remarcables els convertors A/D i D/A. L'evolució tecnològica de la conversió comença el 1952 en aparèixer el primer voltímetre digital (a relès). En iniciar-se la dècada dels 70, els convertors A/D i D/A són fabricats amb components discrets. És el 1973 quan Analog Devices fabrica el primer convertor D/A integrat, amb una resolució de 8 i 10 bits. L'any següent ja és disponible el de 12 bits, i es comencen a fabricar convertors A/D amb tecnologia híbrida.

El 1976 es fabrica el primer convertor A/D de quatre integracions, per l'ajust automàtic del zero, i el 1977 es comencen a fabricar els convertors amb sortida de tres estats, compatible amb els microprocessadors.

Actualment es fabriquen convertors A/D i D/A monolítics, a uns preus molt inferiors als de 5 anys endarrera, i mòduls híbrids d'adquisició de dades, amb multiplexor, convertor, i control per connexió al bus d'un microprocessador, amb resolucions de 10 i 12 bits. Existeixen igualment mòduls A/D i D/A de fins a 16 bits.

En el camp de la transmissió de dades, es produeixen aquests darrers 10 anys dues principals novetats: la transmissió de dades a llargues distàncies via satèl·lit, i la utilització de les fibres òptiques.

La transmissió per satèl·lit és utilitzada a partir de 1970, mitjançant els quatre satèl·lits Intelsat. Però aquest sistema no comença a ésser utilitzat en el camp de la informàtica fins al 1974, inicialment per Control Data, Digital i IBM, i així s'inicia la informàtica distribuïda sense pràcticament limitacions de distàncies.

La utilització de les fibres òptiques permet la transmissió a distàncies relativament curtes d'informació a alta velocitat, sense tenir les limitacions de les línies de transmissió elèctriques, i sense estar afectades de perturbacions exteriors. El cable de transmissió per fibra òptica apareix al mercat el 1975, amb una atenuació de 20 db/Km, característica que és millorada ràpidament fins a quedar reduïda a 0,66 db a la darrera del 1978. Actualment s'utilitzen cables d'una atenuació de 0,22 db/Km i amb una velocitat de transmissió de 220 Giga bits/seg.

4. Perspectives futures

No és arriscat preveure que els anys venidors seran els del desenvolupament de la molt alta escala d'integració, VLSI, i que la densitat d'integració arribarà al nivell de la VHLSI, si és que se segueix la mateixa nomenclatura que amb les freqüències.

La complexitat creixent dels circuits integrats, anirà acompanyada també de l'augment de la velocitat. Això es també fàcilment previsible, donats els resultats ja obtinguts amb l'arseniür de gal·li, els circuits MOS sobre Safir i amb la utilització de la superconductivitat.

El futur de la tecnologia bipolar sembla estar en la família I²L, donades les seves bones condicions per la miniaturització i la seva baixa dissipació. En canvi la tecnologia TTL va ésser substituïda per la LS, però que també deuria veure reduït el seu ús a funcions MSI i LSI.

De cara a la informàtica, es pot preveure un gran progrés amb les memòries d'estat sòlid. També és previsible que un perfeccionament de les tècniques dels cristalls líquids permeti la fabricació de pantalles d'alta resolució, o pantalles de descàrrega de gas, de clor, que desplacin les de TRC.

També serà possible la comunicació verbal amb els computadors, utilitzant identificadors i sintetitzadors de paraules.

Els progressos en reconeixement de formes, permetran una més gran utilització dels computadors en els processos de producció, i notables progressos de la robòtica.

Els propers anys seran en definitiva rics en aportacions al camp de la informàtica, per potència de càlcul, reducció del cost dels equips, millores en les comunicacions i millors prestacions dels perifèrics.

Josep Amat

