

TÈCNIQUES DE SEMICONDUCTORS

per Jordi Pallicera i Domènech

6 (158/Volum 2/març 1982

ciència 14)

Una condició per a comprendre el món de la microelectrònica és descobrir els processos bàsics de construcció de microcircuits i del seu sosteniment, els semiconductors. En aquest article Jordi Pallicera fa un resum de les principals etapes que constitueixen el procés industrial de fabricació dels microcircuits tal com es fa al nostre país i arreu del món.

Jordi Pallicera i Domènech (Barcelona 1946) va estudiar a l'escola de perits industrials de Barcelona. Des de 1969, treballa a Piher Semiconductors S.A., al laboratori d'aplicacions.



El silici és un material molt abundant a la superfície de la Terra, ja sigui formant part de certs compostos minerals (en aquest cas caldrà separar-los dels altres elements per a la seva utilització posterior), ja sigui en forma de diòxid de silici (SiO_2), que constitueix la sorra disponible a alguns llocs, amb un contingut molt baix d'impureses. Aquestes terres constitueixen un bon punt de partida per a la fabricació d'oblies de silici.

El 1823 Berzelius aconseguí per primer cop l'aïllament del silici, que presentava les característiques següents:

- Estructura cristal·lina cúbica, de cares centrades, tipus diamant

- Paràmetres cristal·logràfics a 298 °K
 $a = 5,4307 \text{ \AA}$ $c/a = 1,17$

- Nombre atòmic: 28,09

- Densitat: 2,33 g/cm³

- Quantitat d'àtoms per cm³ = 4,96 · 10²²

- Punt de fusió: 1.410 °C

- Punt d'ebullició: 2.477 °C

- Calor específica (0 a 100 °C) = 0,18 cal/g °C

- Duresa Brinell: 240

- Conductivitat tèrmica (300 °K) = 1,3 W/cm °C

- Altura de la banda prohibida (300 °K) = 1,12 V

- Concentració intrínseca (300 °K) = $n_p = 2,2 \cdot 10^{-20} \text{ cm}^{-6}$

- Mobilitat dels electrons (300 °K) = 1.300 cm²/Vs

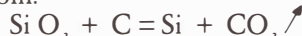
- Mobilitat dels forats (300 °K) = 500 cm²/Vs

- Resistivitat intrínseca (300 °K) = 230 kΩ cm

- Constant de difusió dels electrons (300 °K) = 35 cm²/s

- Constant de difusió dels forats (300 °K) = 13,1 cm²/s

Les etapes del procés per a la realització de silici semiconductor són les següents:
1.- Es barreja el diòxid de silici (sorra) amb carbó i es redueix per formar silici, amb un 97 per cent de puresa, i diòxid de carboni.

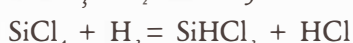
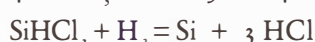
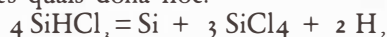


Tanmateix, el grau de puresa del silici obtingut no supera encara els requeriments de les actuals tecnologies de producció, de manera que caldrà sotmetre'l a tractaments complementaris a fi d'eliminar les impureses excedents.

2.- El silici metal·lúrgic obtingut anteriorment se sotmet a la calor i al mateix temps s'hi fa circular àcid clorhídric a sobre. Els vapors despresos es condensen entre -40 °C i -100 °C (mètode Pechiney i Wacker-Chemie).



3.- El triclorosilà es descompon en presència d'hidrogen en un tub de quars escalfat a 950 °C. El mecanisme de la descomposició presenta aspectes complicats en funció de les successives reaccions a les quals dona lloc.



Al final, s'obtenen blocs compactes de silici policristal·lí, mecanitzables i d'uns

quants quilos, preparats per al creixement de monocristall.

CREIXEMENT DELS CRISTALLS

Actualment s'utilitzen dos mètodes de creixement: el Czochralski i el "Float Zone", les abreviatures més comunes dels quals són CZ i FZ.

El mètode CZ parteix d'un cristall constituït interiorment per blocs de silici policristal·lí que han de ser escalfats a 1415 °C, on es troba el seu punt de fusió (figura 1). Mitjançant una inducció de RF, o bé amb un circuit resistiu, el cristall experimenta un gir a mesura que es va fonent, de manera que hom pugui evitar tant els punts calents com els freds. Tot plegat es realitza en una atmosfera controlada a base de gas argó que impedeix la contaminació del silici. Quan la temperatura s'estabilitza, es fa baixar un braç, en l'extrem del qual hi ha una peça de silici que entra en contacte amb el silici fos. La peça mencionada es coneix com "la llavor del cristall", ja que constitueix l'origen d'un cristall monocristal·lí molt més gran.

En el moment que la llavor comença a fondre's, s'inicia un moviment giratori d'extracció que provoca l'adherència de partícules de cristall a l'estructura de la llavor, partícules que aniran creixent en longitud segons la continuïtat del moviment cap a fora i mentre no s'escoti el silici del gresol. Mitjançant un control molt estricte de la temperatura del gresol, de la seva velocitat de rotació i de la vareta, s'aconsegueix mantenir un diàme-

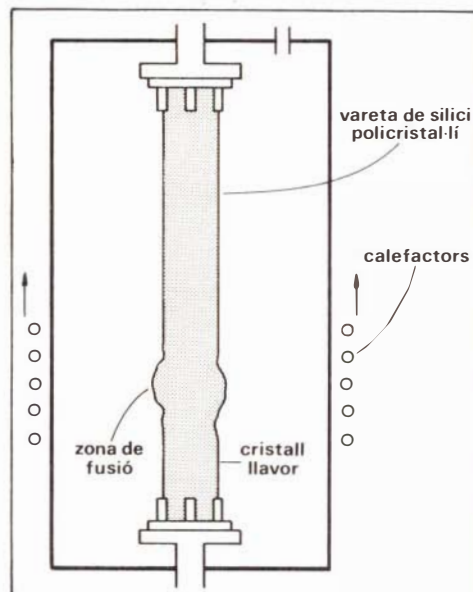
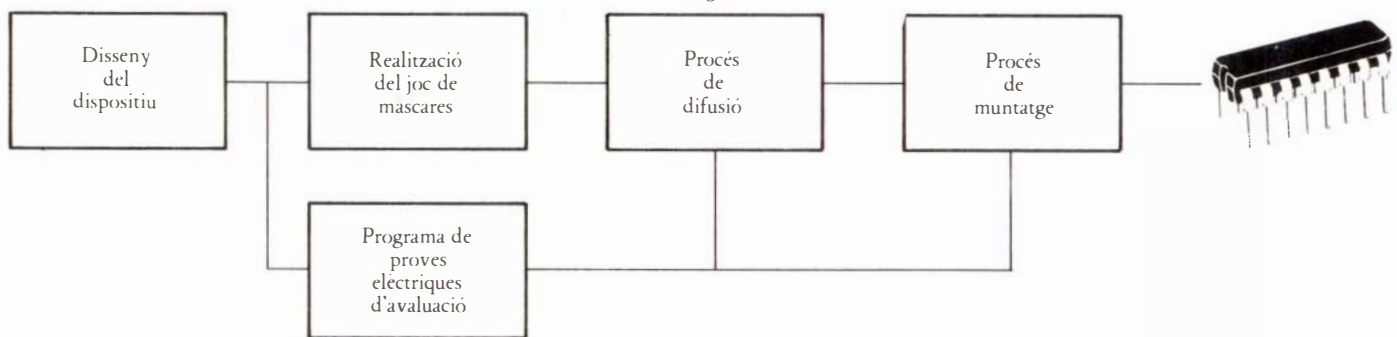
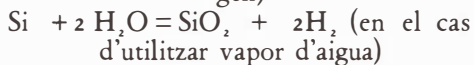
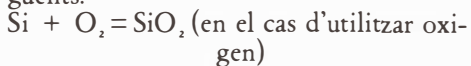


Fig. 2. Mètode de creixement "Float Zone"

Fig. 3



°C. Les reaccions resultants són les següents:



L'oxidació tèrmica del silici es realitza en un forn de tub obert, controlat electrònicament en $\pm 1/2$ °C de temperatura, i en el qual les oblies ocupen l'interior d'un tub de quars pel qual circula el gas oxidant.

Aquesta operació ha de ser precedida d'una extrema neteja, a fi d'eliminar totes les contaminacions, especialment les contretes durant el seu maneig, de manera que s'ha d'evitar el contacte amb la pell humana com a font potencial de sodi, que es manifesta com el principal responsable que en els dispositius apareguin falles ocasionades per corrents superficials de fuga. Així és com, deixant les oblies netes, seques i col·locades sobre un suport de quars, quedaran llestes per a la seva oxidació.

El gruix de la capa d'òxid tèrmic crescuda se situa entre els 500 Å i els 12.000 Å, en funció de les variables següents:

- Temperatura d'oxidació
- Temps d'oxidació al forn
- Mètode de creixement: sec (O₂) o humit (vapor d'aigua, H₂O)

Evidentment, la quantitat d'òxid a créixer dependrà dels factors de disseny del dispositiu que hagi determinat l'enginyer de producció en establir el procés.

DIFUSIÓ

L'addició d'impureses en un semiconductor provoca un canvi en les seves principals característiques elèctriques, essent la difusió la tècnica més comuna per a realitzar unions, així com per a alterar els perfils de dopant en implantació iònica o epitaxial.

Les difusions aplicades durant la realització d'un procés intervenen en dues fases:

- Pre-deposició: introducció molt controlada de la totalitat de les impureses.
- Difusió, pròpiament dita: redistribució de les impureses per a obtenir un perfil previst.

Per a aconseguir aquests resultats han de controlar-se rigorosament les següents variables del sistema:

- 1.- Temperatura de difusió (variacions menors de $\pm 0,5$ °C)
- 2.- Temps de difusió per al marge de temperatura de difusió.
- 3.- Control de la totalitat de la font dopant, de la pressió de vapor i de la puresa.
- 4.- Distribució uniforme del dopant en la zona de difusió.
- 5.- Eliminació de contaminants no desitjats en reaccions secundàries.

Els mètodes bàsics de difusió són:

- 1.- Tub tancat.
- 2.- Difusió en el buit.
- 3.- Dopants líquids.
- 4.- Tub obert.

Dels sistemes enumerats, el més utilitzat

i versàtil és el de tub obert (figura 7), que consisteix a arrossegar el dopant cap a l'oblia mitjançant un gas que resta inert durant la reacció (N₂). Els dopants líquids que s'utilitzen més donada la seva aplicació són:

Tipus	Element	Difusivitat a 1.100 °C	Compost
N	Fòsfor	3×10^{-13} cm ² /s	POCl ₃
P	Bor	3×10^{-13} cm ² /s	BBr ₃

EPITÀXIA

En atenció a la rigidesa mecànica mínima de les oblies de silici i, segons sigui el seu diàmetre, les dimensions del seu gruix poden oscil·lar entre 160 µm i 500 µm; no obstant això, la regió activa d'un circuit integrat es localitza entre 3 µm i 10 µm de la superfície. Un procediment apte per a fabricar aquesta estructura es fonamenta en el creixement d'una capa d'alta qualitat, com a extensió del substrate, amb una distribució de dopant aproximadament igual.

Aquest procés es porta a terme fent circular un compost de silici gasós sobre els substrates, els quals estan sotmesos a una elevada temperatura que descompon el gas de silici, bé per reacció química, bé per piròlisi i dona com a resultat el creixement d'àtoms de silici sobre els cristalls del substrate.

Els compostos químics que intervenen en

FABRICACIÓ DE I CIRCUITS INTEGRATS DE SILICI

Fig. 1. Mètode de creixement Czochralski

tre constant del cristall. Si es desitja una determinada concentració d'impureses, han d'afegir-se durant la fusió.

El creixement pel sistema FZ parteix directament de la vareta de silici policristal·lí que, tenint un diàmetre apropiat, es manté en la part superior de la cambra de creixement (figura 2).

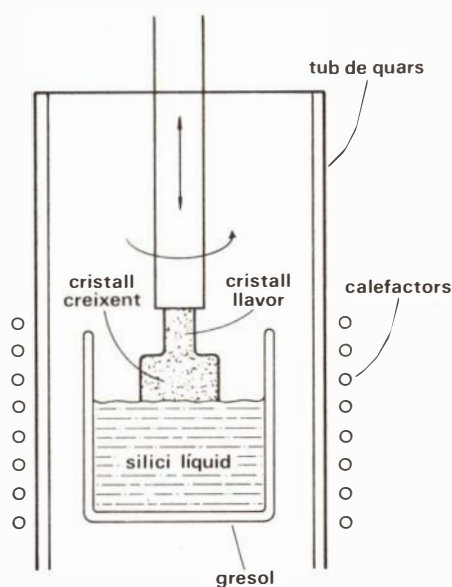
A la zona inferior de la cambra, se situa un cristall-llavor que fa contacte amb l'altre extrem de la vareta sotmesa a l'acció d'una atmosfera controlada i de bobines d'escalfament per inducció disposades al seu voltant.

Una petita porció de la vareta tocant al cristall-llavor entrarà en fusió progressiva ascendent, mentre la bobina vagi desplaçant-se cap amunt. En aquesta mateixa operació, al contrari, farà que la zona pròxima a la llavor sigui la primera a refredar-se, de manera que adquireix ja la seva estructura cristal·lina. D'aquesta manera és com, des de la fusió fins al refredament, l'estructura policristal·lina de la vareta es converteix en monocristal·lina. Durant aquest procés es controla el diàmetre de la vareta mitjançant el desplaçament del calefactor.

Per obtenir silici amb una determinada concentració d'impureses, es parteix d'un material prèviament dopat.

MECANITZACIÓ DELS CRISTALLS

De cara a aplicar industrialment aquests cristalls, es procedeix a tallar els lingots en discs el gruix dels quals serà determinat per les necessitats particulars del destinatari. La mecanització ha de realitzar-se sense afectar la xarxa cristal·lina ni alterar les característiques del cristall que, donada la seva estructura, presenta uns plans preferencials de trencament detectables amb raigs X de manera que es pot **determinar l'orientació correcta del tall**. És molt important reduir les pèrdues de material ocasionades pel gruix de les moles de tall, que són constituïdes per un disc de metall extraprim amb pols de



diamant incrustada al voltant del seu perímetre.

A conseqüència del material que s'arrenca en l'operació de tall i de les línies de ruptura intrínseques, es causa dany a la xarxa cristal·lina i es deixen senyals inevitables que han d'ésser eliminats amb un esmerilat mecànic de pulimentació sobre el cristall afectat, per tal d'evitar noves irregularitats. Si convé, es complementa l'operació amb un atac químic del qual resulta un acabat espectacular. El procés conclou un cop les oblies posseeixen un gruix normalitzat i una qualitat òptima de superfície.

Tota possible contaminació residual de les oblies se suprimeix amb una operació de rentat, per ésser sotmeses posteriorment a rigorosos controls que permetin verificar objectivament la qualitat de les seves característiques.

Els fabricants reben d'aquesta manera les oblies tractades en les quals s'observen alguns valors normalitzats com els següents:

- Diàmetres normalitzats: 2", 3", 4", 5", 6"
- Orientació cristal·logràfica: 1-1-1, 1-0-0
- Tipus: p, n

- Dopants: p/bor, n/fòsfor, n/antimoni
- Resistivitats: tipus p 0,01 Ω/cm a 100 Ω/cm
tipus n 0,006 Ω/cm a 30 Ω/cm
- Gruix: variable per a cada diàmetre
exemples: per a 2", 280 μm
per a 3", 381 μm
per a 4", 525 μm

A partir d'aquest moment s'inicien una sèrie de processos físico-químics, anomenats genèricament "difusió", que s'apliquen a l'oblia de silici per convertir-la en un dispositiu semiconductor. Aquest procés queda representat esquemàticament al diagrama de la figura 3. Les figures 4, 5 i 6 proporcionen una informació més detallada de la seqüència de producció.

A la figura 5 s'observen operacions que, al llarg de tot el procés, es repeteixen sistemàticament però que, si bé posseeixen detalls diferencials, conserven la mateixa base operativa teòric-pràctica, com és ara el cas dels pre-rentats, la difusió, fotolitografia, etc.

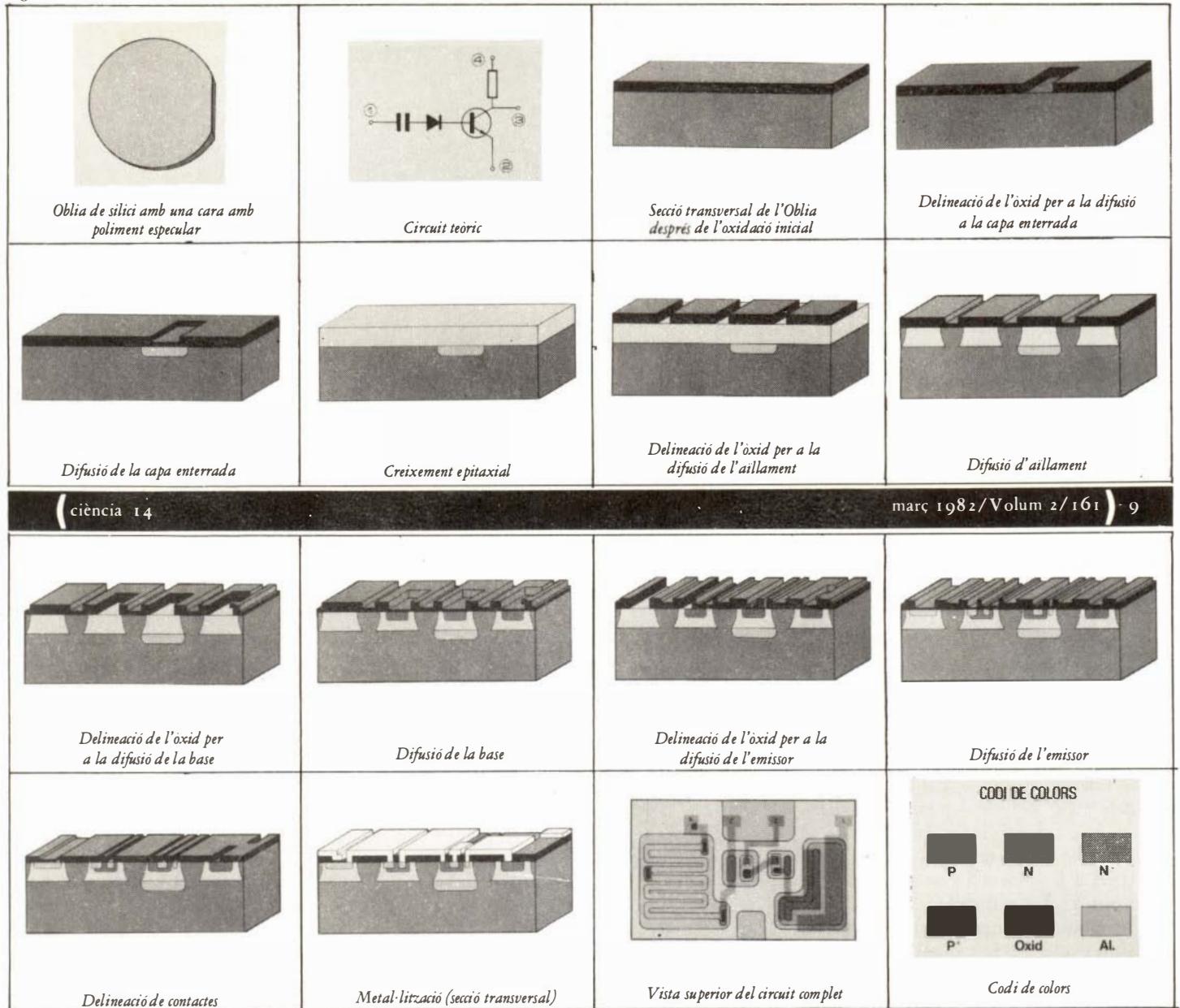
Els punts clau a tractar en primer lloc són: **oxidació, difusió, epitàxia, fotolitografia i metal·lització**.

OXIDACIÓ

La facilitat de realitzar una capa de protecció d'òxid de silici (SiO_2), químicament estable i de característiques uniformes i repetitives, permet que aquest òxid actui com a barrera contenidora de la majoria de les impureses que intervenen en el dopatge del silici. Aquest procés es porta a terme prèvia eliminació fotolítica de l'òxid dipositat sobre certes regions específiques, mentre que les restants continuen protegides per l'òxid.

En el cas particular dels circuits MOS, l'òxid actua com un dielèctric entre l'elèctrode de la porta i el silici.

La mencionada capa protectora creix en atmosferes que contenen oxigen (O_2), o bé vapor d'aigua (H_2O) sotmeses a temperatures compreses entre 960 $^{\circ}C$ i 1.300



aquesta reacció són: SiCl_4 ; 4SiCl_2 ; H_2SiCl_2 i SiH_4 . Si s'utilitzen els compostos clorats, la descomposició té lloc en el substracte mitjançant una reducció química amb l'hidrogen, mentre que si el reactiu és el silà (SiH_4), la descomposició és pirolítica i es produeix en la via de circulació del gas situada sobre el substracte, sota l'acció de la temperatura.

L'equip utilitzat en l'execució d'aquestes operacions es coneix amb el nom de "reactor epitaxial", la particularitat del qual és la quantitat realment important de prestacions que ha de complir. D'una banda, l'origen gasós de la reacció exigeix la neutralització de fugues en la cambra reactiva, dins del marge de temperatures; de l'altra, la perillositat d'aquests mateixos gasos requereix controls exhaustius i sofisticats, tant en equips com en instal·lacions.

La seqüència en un procés epitaxial és la següent:

1.- Neteja del substracte.

Els substractes se sotmeten a una operació desengreixant, que inclou una neteja física, seguida d'una sèrie d'atacs químics, en la qual intervenen certs compostos àcids com per exemple: H_2SO_4 , HNO_3 , HCl i HF ; l'operació conclou amb un assecat final.

Cal destacar la gran importància de la neteja, donat que qualsevol partícula residual constitueix un centre potencial d'imperficcions en la capa dipositada.

2.- Càrrega de les oblies.

A partir del punt anterior, s'ha de canalitzar, inexcusablement, qualsevol manipulació de les oblies en rigoroses condicions ambientals i severes normes de procediment, per col·locar els substractes en el subceptor de la cambra de reacció.

3.- Augment de temperatura.

Un cop tancat el reactor, es fa circular nitrogen per purgar qualsevol gas residual. Seguidament, i en presència d'un notable cabal de nitrogen, la temperatura del reactor puja fins als 500°C aproximadament, a partir dels quals s'aplica gas hidrogen en substitució del nitrogen.

4.- Atac de HCl.

Culminat el cicle d'elevació de temperatura, es procedeix a eliminar una finíssima regió del silici de la superfície de l'oblia, a base d'un atac amb gas HCl.

La quantitat de silici atacada ha de ser la mínimament necessària per a poder preparar les oblies, garantint al mateix temps que les característiques dels dispo-

sitius no siguin afectades durant aquesta operació.

5.- Creixement.

En un procés epitaxial, les fases de creixement de l'oblia es porten a terme a partir de la prèvia determinació del gruix i la resistivitat.

El control relatiu al gruix s'efectua mitjançant l'ajustament de les condicions de creixement previstes per a minimitzar l'error ocasionat per les diferències detectades en cada cicle. Per altra banda, la precisió d'un valor concret de resistivitat s'obté afegint petites concentracions de gas dopant en el cabal del gas principal.

6.- Descens de temperatura.

Un cop concloua la fase de creixement, es provoca una disminució de la temperatura, mantenint el mateix cabal d'hidrogen, fins a arribar a un nivell situat a la vora dels 500°C , moment en què aquell gas serà substituït per la presència del nitrogen al llarg del cicle complet de refredament.

7.- Descàrrega.

Les precaucions descrites en l'operació de càrrega són les mateixes que hauran d'adoptar-se per a aquest darrer pas del procés.

FOTOLITOGRAFIA

Mitjançant la tècnica fotolitogràfica es porta a terme el procés complet de la transferència d'un determinat dibuix sobre un substrate semiconductor. Es tracta d'un procediment essencial tant per a la fabricació de dispositius de qual-sevol classe, siguin discrets o integrats, com per a la fabricació d'una gran varietat de microcircuitus.

La trajectòria d'aquest procés pot desglossar-se en dues etapes bàsiques:

- Fabricació de la màscara, des del disseny fins a la generació de plaques.
- Fotolitografia (transferència de la placa al substrate semiconductor).

El primer apartat pot qualificar-se com de matèria primera auxiliar, factible de ser creada per un mateix, o, en cas contrari, deixant la tasca a l'empreses especialitzats que confeccionin el joc complet de màscares, sota les directrius marcades en el disseny.

En tots dos casos és necessària una transformació del circuit electrònic en un microcircuit, de manera que cal salvar els passos intermedis que condueixen a l'últim estat, on la grandària adquireix la seva dimensió real (1:1). Gràcies a les avançades prestacions dels actuals computadors s'han produït grans progressos sobre la fiabilitat dels dissenys. Cal destacar els avenços aconseguits gràcies a les prestacions dels computadors actuals que inclouen programes desenvolupats sobre un dibuix interactiu, sistema CAD (*Computer Aided Design*) i permeten un diàleg amb l'operador que disposa a més d'una biblioteca de dispositius i elements perfectament definits, com si es tractés d'un joc de construccions. Si es recorre a aquest banc de dades és possible aconseguir una simulació del circuit a tots els nivells, des del comportament electrònic fins a la recerca de la seva millor interconnexió.

No cal esmentar les operacions restants que completen el procés, donat que són molt semblants a les que intervenen en les tècniques fotogràfiques.

La realització de la fotolitografia exigeix

Fig. 5

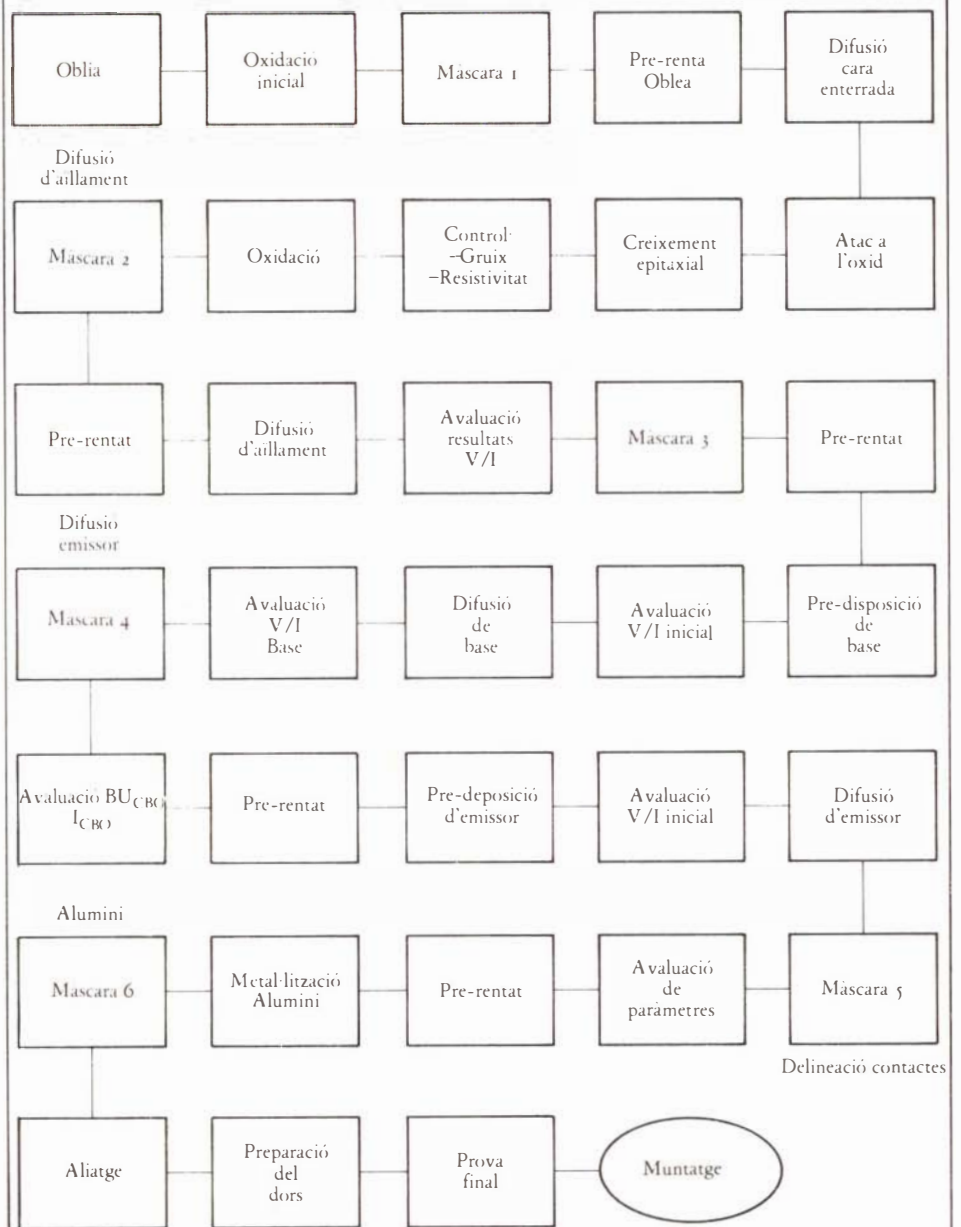
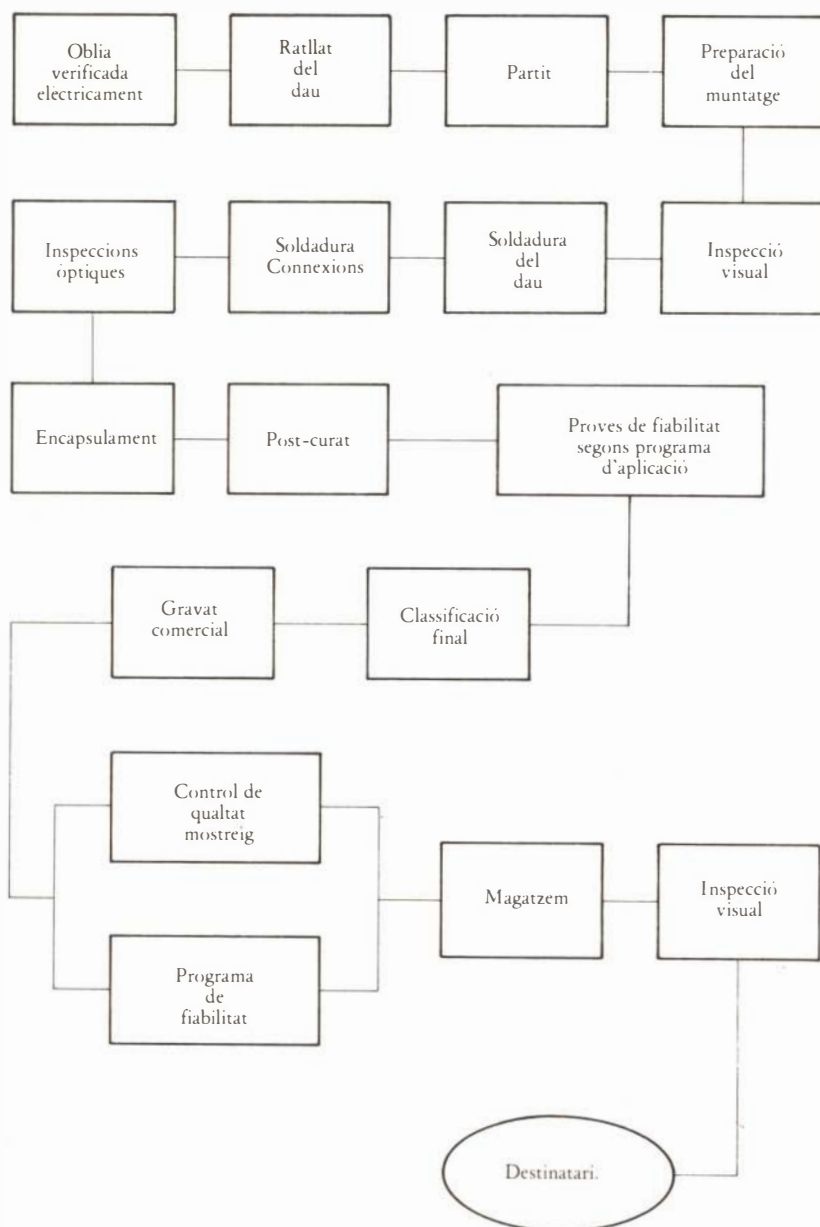


Fig. 6



el compliment d'una sèrie d'etapes que s'enumeren seguidament:

1.- Preparació del substrate

Considerant que l'òxid de silici tèrmic de la superfície de l'oblia és propens, d'una banda, a una fàcil contaminació orgànica i, per l'altra, a la retenció d'aigua, que resulta ser un compost totalment incompatible amb la major part de les fotoresines, és imprescindible sotmetre la superfície a una meticulosa operació de neteja i assecat amb nitrogen, per tal d'aconseguir una perfecta adherència de la resina al substrate.

2.- Col·locació de resina fotosensible

La centrifugació és el procediment més usualment utilitzat en microelectrònica per a dipositar sobre l'oblia una capa de resina uniforme i repetitiva.

Aquesta operació es realitza dipositant unes gotes de fotoresina sobre el substrate, després de col·locar-lo en un suport mitjançant el buit; seguidament se centrifuga l'oblia durant un temps preestablert, segons la viscositat i el gruix de la capa desitjada.

3.-Pre-adobat

Amb aquesta operació s'eliminen els dissolvents de les fotoresines, utilitzant una estufa o un petit forn d'infraroigs.

4.- Alineació de la màscara i exposició

L'alineació de la màscara sobre el substrate i la consegüent exposició de la fotoresina a través de la màscara són operacions que requereixen alguns dels més sofisticats equips dedicats a la fabricació de semiconductors, donat que les alineacions se cenyeixen a valors de fins a 0,5 μm .

Alguns dels sistemes vigents fins al moment són els que s'han aplicat mitjançant contacte, proximitat o projecció. Amb la incorporació recent de les tècniques d'"e-beam" i raigs X s'aconsegueix la definició de línies d'amplada micromètrica, per tal com, un cop la màscara ha estat alineada i fixada per buit sobre el substrate, se substitueix el microscopi, destinat habitualment al control, per una font de UV calibrada i complementada per un obturador que s'obre durant un temps determinat. Quan l'obturador es tanca, la

màscara és retirada del substrate, que seguidament passarà al procés de revelat.

5.-Revelat

La trajectòria d'aquesta operació és molt similar a la seguida pels professionals i els afeccionats a la tècnica fotogràfica comuna, amb l'excepció que el revelador a utilitzar és recomanat pel mateix fabricant de resines i sota les condicions que s'hi indiquen.

6.- Postadobat

Després del revelat, la fotoresina adquireix la consistència d'una goma que, sotmesa a una temperatura de 120 °C a 180 °C, s'adherirà perfectament al substrate. Els valors relatius a les condicions de temps i temperatura vénen donats per la resina i la naturalesa de les operacions que segueixen en el procés.

7.- Atac químic

La naturalesa del material que ha d'ésser eliminat per atac químic determina les característiques del compost, generalment líquid, que intervindrà a la reacció; no obstant això, l'ús d'atacs químics en sec, mitjançant plasmes, ha iniciat un procés evolutiu de normalització.

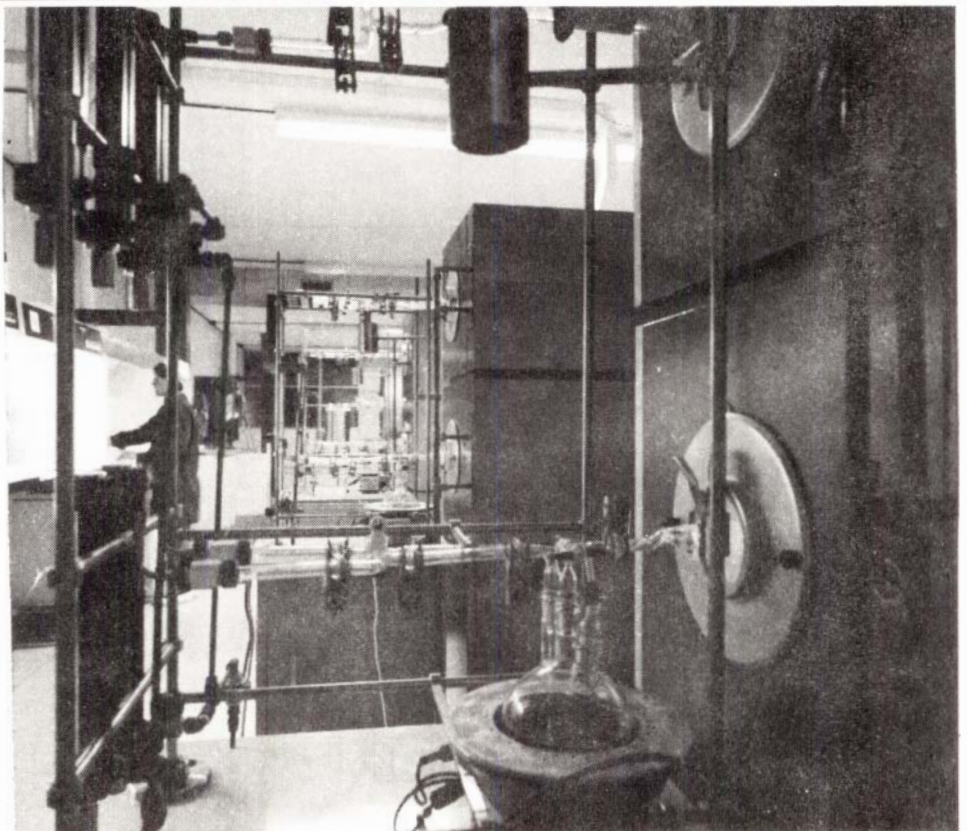
Bàsicament, tots els processos d'atac químic actuen selectivament sobre el medi a eliminar, mentre que la resina protegeix en tot moment la zona sobre la qual es troba adherida.

Conclòs l'atac químic, es procedeix a regularitzar l'estat superficial del substrate mitjançant un procés de neteja i assecat final.

Hi ha diferents tipus d'atac químic: Atac d'òxid de silici (SiO₂) tèrmic; atac per alumini; atac per nitrurs Si₃N₄; atac de silici.

8.-Eliminació de la resina

Quan la missió protectora de la resina hagi finalitzat, haurà d'ésser eliminada amb dissolvents especials, segons les característiques de cada cas particular, o amb plasmes oxidants. Com sempre, l'operació haurà de culminar-se amb un



rentat enèrgic secundat pel corresponent assecat.

METAL·LITZACIÓ

Una vegada conclòs l'elaboració dels dispositius sobre el substrate, han d'interconnectar-se les parts integrants a fi d'aconseguir la funció establerta en el cas d'un circuit integrat i facilitar al mateix temps la connexió amb l'exterior amb vista a la seva posterior utilització. Aquest procés s'anomena "metal·lització" i es realitza mitjançant qualsevol de les tècniques de dipositació en el buit. Perquè la interconnexió entre metall i silici resulti eficaç han de complir-se un mínim de requisits:

1.- Baixa resistència elèctrica de contacte amb el silici.

2.- Alta conductivitat elèctrica a corrent

alt (dispositius de potència).

3.- Bona adherència sobre l'òxid de silici o altres dielèctrics.

4.- Òptimes condicions per a la màxima definició del dibuix.

5.- Mètode de dipositació compatible amb les estructures existents.

6.- Metal·lització uniforme que cobreixi els accidents topogràfics de la superfície.

7.- Metal·lització inalterable sota condicions normals de treball.

8.- Facilitat de soldadura amb les connexions exteriors.

De fet, no hi ha cap metall que compleixi la totalitat de les condicions anteriors, però l'alumini arriba a satisfer-ne gran part; no obstant això, si per necessitats tecnològiques no pot utilitzar-se l'alumini, es recorre a estructures de multicapa, de manera que cada una d'elles compleixi una part de les condicions fins que la totalitat satisfaci el conjunt.

Aquestes operacions es porten a la pràc-

tica mitjançant tècniques de buit, perfectament normalitzades a la indústria del semiconductor, en base a l'aplicació de qualsevol dels següents mètodes:

- 1.- Evaporació per filament.
- 2.- Evaporació per bombardeig electrònic (*e-beam*).
- 3.- Evaporació induïda.

La mecànica del procés se segueix d'acord amb les especificacions particulars del material a evaporar i el tipus d'equip utilitzat; en general, però, es realitza segons les fases següents:

- 1.- Eliminació de totes les contaminacions mitjançant operacions de rentat de les oblies, i un assecat final amb nitrogen.
- 2.- Col·locació de les oblies en la cambra de buit per a rebre la capa uniforme. Es disposen sobre una estructura giratòria, anomenada planetari, que garanteix la uniformitat de superfície de cada oblia per separat dins del conjunt.
- 3.- Es tanca la cambra i s'inicia un buit primari.
- 4.- Interrupció del buit primari, i obrir seguidament la vàlvula de la bomba d'alt buit fins a arribar al nivell d'evaporació, d'uns 10^{-6} a 10^{-7} mm.
- 5.- S'inicia el cicle d'evaporació fins a aconseguir el gruix necessari el creixement del qual es controla electrònicament.

6.- Restabliment de la pressió a la cambra amb un gas inert, N_2 , fins a arribar a un valor que permeti l'obertura.

Els últims passos del procés (vegeu figures 5 i 6), que comprenen des de la metal·lització fins a la venda comercial, malgrat el seu escàs atractiu científic, són tan importants com els passos inicials. La competitivitat és raó d'esforços orientats a l'obtenció de bons rendiments a baix cost que acaben configurant el cicle productiu.

VERIFICACIÓ DE L'OBLIA

El punt clau que enllaça la fase de difusió amb la de muntatge es troba en la verifi-

cació dels dispositius integrants de l'oblia, de manera que puguin detectar-se possibles unitats inoperatives i s'estalvien d'aquesta manera els costos addicionals de muntatge.

Les oblies es col·loquen en su suport de prova controlat per un computador que verifica el cent per cent de les dades segons les condicions establertes de tensió i intensitat de corrent; aquestes condicions s'apliquen sobre cada punt de prova mitjançant unes petites agulles metàl·liques. Aquesta verificació també pot realitzar-se mesurant els paràmetres de sortida del dispositiu. La informació obtinguda és processada per disposar d'un resultat final en forma de "passa - no passa"; les unitats que no compleixen els valors establerts (no passen) són marcades amb un punt de tinta, com a senyal indicatiu que no han d'entrar en el procés de muntatge.

SOLDADURA DEL DAU

El procés de muntatge s'inicia després d'una operació de tall realitzada sobre els carrers que delimiten les superfícies de cada dau, seguida de la dissociació de l'oblia completa en daus independents. La soldadura de dau és la primera operació que es realitza per tal que el semiconductor estigui dotat d'un suport adequat a les seves prestacions. Al quadre següent s'enumeren les tecnologies més comunes que s'utilitzen per a portar a terme aquesta operació:

Mètode de soldadura	Material	Avantatges	Inconvenients
Soldadura tova	Sb/Pb	Baix cost Alta dissipació	Presenta fatigues tèrmiques
Soldadura dura	Au/Si	Alta dissipació	Cost elevat per <i>chips</i> de dimensions importants
Adhesiu polímer	Resina epòxid/Ag	Cost baix	Propietats tèrmiques baixes

El mètode que més popularment s'utilitza és la soldadura dura per punt eutèc-

tic, que requereix que s'hagi dipositat precisament una capa d'or a la part inferior del substracte de l'oblia. Escalfant el suport fins a la temperatura de formació de l'eutèctic or-silici (370°C) i col·locant-hi un dau a sobre, es produeix la soldadura entre el dau i el suport.

SOLDADURA DE CONNEXIONS

Per efectuar la connexió de les parts actives del semiconductor amb els terminals exteriors de l'encapsulat, pot optar-se o bé per la termocompressió o pels ultrasons, utilitzant en tots dos casos or o alumini. L'or, malgrat que sobrepassa notablement el valor adquisitiu de l'alumini, ofereix l'avantatge de la seva resistència a la corrosió i la seva alta conductivitat elèctrica. En tots dos casos, els passos necessaris per a realitzar aquesta operació requereixen una descripció molt més detallada.

En el primer cas, la soldadura s'efectua amb fil d'or i s'aplica, com el seu nom indica, pressió i calor. En el segon cas, es recomana que el fil sigui d'alumini que, gràcies a una vibració ocasionada per l'aplicació de polsos d'energia, solda en el punt de contacte amb el suport o càpsula.

PROVA FINAL

Superada l'operació d'encapsulat, el producte queda disponible per ser sotmès a la prova final. La posada en pràctica d'aquesta és similar a la que es realitza sobre l'oblia, només que en aquest cas el suport és diferent, i hi ha la possibilitat d'aplicar un bloc de mesures més complet i sofisticat.

Si el dispositiu compleix satisfactòriament la totalitat del cicle d'assaigs, es procedirà al marcat d'identificació comercial, i d'aquesta manera arriba a mans de l'usuari.

(Jordi Pallicera i Domènech)