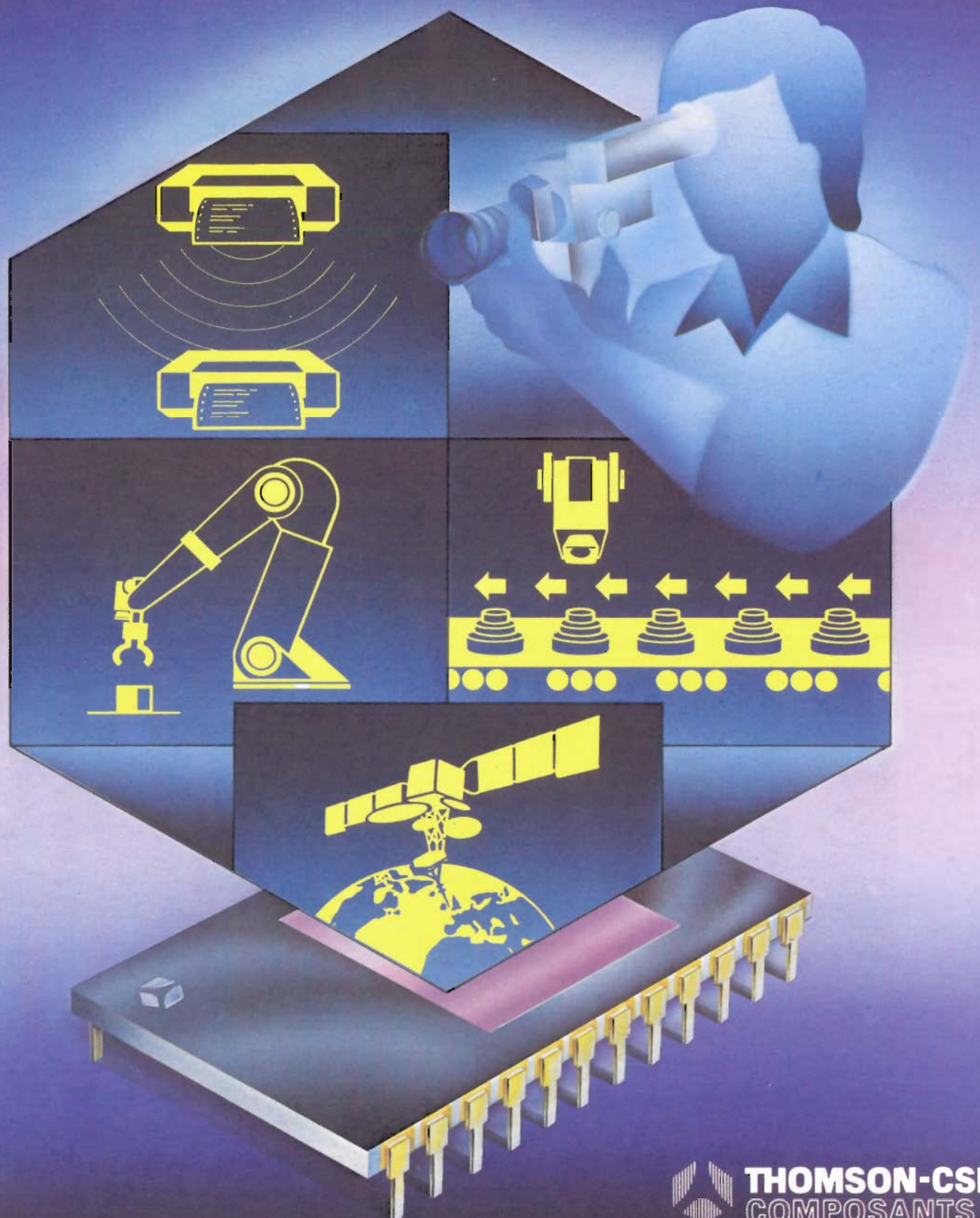


# dispositifs à transfert de charge



---

# dispositifs à transfert de charge...

---

Les dispositifs à transfert de charge (DTC), dont les principes, la technologie et différentes applications sont décrites dans cette brochure, constituent une nouvelle famille de composants utilisant le silicium semi-conducteur, dans lequel des charges électriques peuvent se propager ou être stockées.

Ils sont apparentés aux dispositifs MOS, mais leur caractéristique nouvelle est qu'ils constituent des registres à décalage **analogiques**. Ils peuvent donc assurer, sans passer par l'intermédiaire de la numérisation, une grande variété de traitements de signaux. La possibilité de prélever, sans le modifier, à la surface du semi-conducteur le signal qui se propage, a ouvert la voie à des dispositifs de filtrage et de corrélation simples, précis et économiques. De plus, le silicium qui les constitue étant photo-conducteur, le signal qui s'y propage peut être d'origine lumineuse et ces dispositifs sont utilisables comme capteurs d'images.

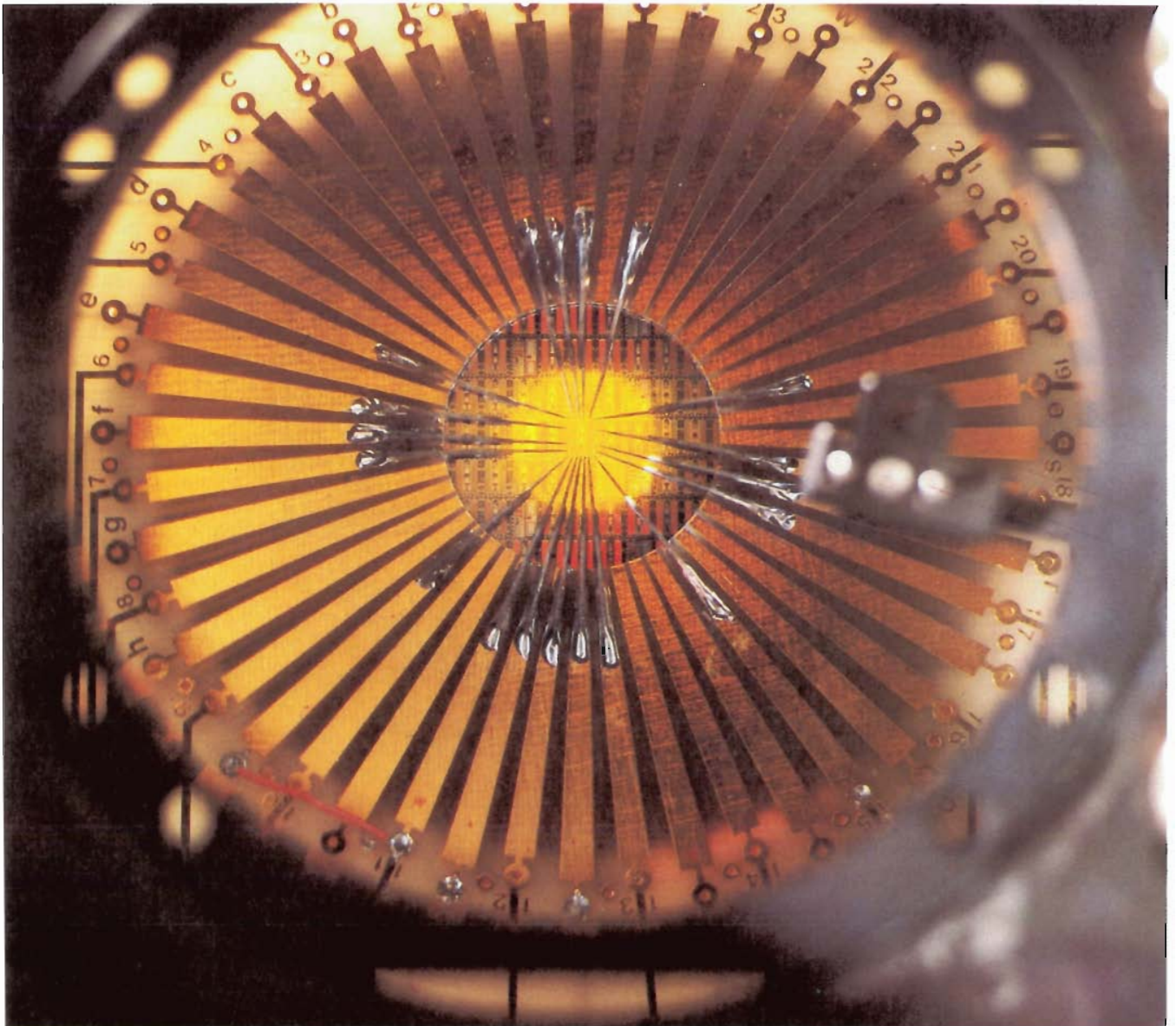
Aussi, il est normal que les développements de cette famille de produits aient d'abord porté sur des **dispositifs analogiques de traitement de signal et des capteurs optiques**, et c'est bien dans ces domaines intéressant de nombreux secteurs de son activité dans l'électronique professionnelle, que THOMSON-CSF travaille depuis 1972 sur les DTC.

Faible consommation, simplicité de mise en œuvre, puissance de calcul, très faible encombrement sont autant d'avantages qui les caractérisent et qui les font choisir pour assurer les fonctions de traitement de signal ou de photodétection.

Pour élaborer de tels dispositifs, THOMSON-CSF s'appuie sur son important acquis et sur des développements en cours dans le **domaine des circuits intégrés** auxquels se rattachent ces dispositifs. De plus, elle bénéficie de l'expérience particulière de réalisation de **cibles mosaïques pour tubes de prise de vue**, poursuit avec le soutien de l'Administration française un effort de recherche et de développement extrêmement important et prépare des programmes de fabrication industrielle des dispositifs à transfert de charge. L'utilisation de diverses technologies a ainsi permis de réaliser de nombreux DTC analogiques.

Nos Services Techniques et Commerciaux sont à votre disposition pour vous aider à choisir le meilleur produit adapté à vos besoins. Nous pouvons également modifier nos produits existants et en réaliser d'autres, sur demande, pour satisfaire vos besoins spécifiques.

Test sous pointes d'un dispositif à transfert de charge



# une nouvelle famille de composants

Pratiquement inconnus il y a quelques années, excepté par un petit nombre de spécialistes, les DTC se sont rapidement développés et trouvent maintenant un grand nombre d'applications dans le domaine de la détection d'image et du traitement de signal.

La structure élémentaire d'un dispositif à transfert de charge est celle d'un registre à décalage analogique. Elle est constituée d'un réseau d'électrodes déposé sur du silicium oxydé. Chaque électrode forme avec le substrat silicium une capacité MOS qui, soumise à une tension, permet de stocker des charges électriques (figure 1).

Le faible intervalle séparant ces capacités crée entre elles un couplage tel qu'une différence de potentiel appliquée entre deux capacités adjacentes induit, selon l'axe du registre, un champ électrique qui déplace les charges d'une capacité vers l'autre. Le profil des puits de potentiel est rendu dissymétrique par constitution des différents couples d'électrodes, afin d'assurer un transfert unilatéral des charges. L'application séquentielle aux électrodes alternées de tensions d'horloge  $\phi_1$  et  $\phi_2$  en opposition de phase déplace les charges de proche en proche jusqu'à une diffusion collectrice où s'effectue la lecture du signal.

Les dispositifs à transfert de charge se caractérisent ainsi par leur aptitude à traiter sous forme échantillonnée des signaux électriques analogiques, les charges étant introduites au moyen d'une diffusion d'entrée (figure 2a). Les informations ou charges stockées peuvent également être injectées par effet photoélectrique (figure 2b). En effet, lorsque le silicium est irradié par de la lumière visible ou proche infrarouge (350 à 1100 nm) des paires électron-trou sont engendrées par détection des photons incidents. Les porteurs de charges ainsi créés sont localisés dans les capacités MOS du dispositif sous l'action des tensions appliquées aux électrodes. La quantité de charges intégrées dans chaque puit de potentiel est proportionnelle à l'éclairement local et permet, par une lecture en série (figure 3a), d'obtenir un signal analogique échantillonné représentatif de l'image analysée.

Une lecture en parallèle des informations stockées au sein d'un registre peut également être effectuée (figure 3b). Ce mode de lecture permet de prélever des échantillons temporels du signal analogique, de façon non destructive, par mesure de la quantité des charges transférées d'une électrode à l'autre. Les échantillons prélevés peuvent en outre être pondérés par partage des électrodes et la quantité de charge lue est fonction des surfaces respectives de chaque électrode. La sommation, à chaque instant, de l'ensemble des échantillons ainsi pondérés donne naissance à un signal analogique échantillonné selon une loi de filtrage déterminée.

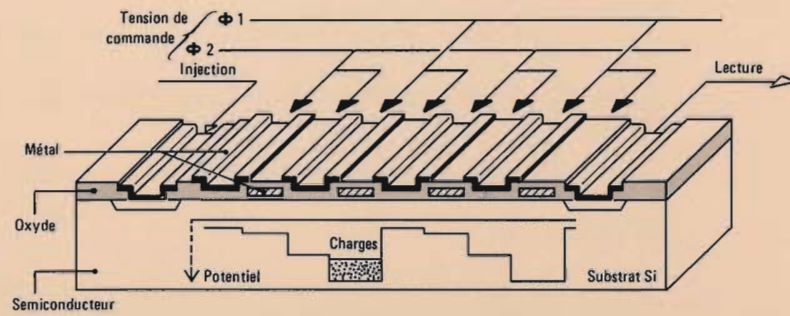


Figure 1 – Structure simplifiée d'un DTC à deux phases

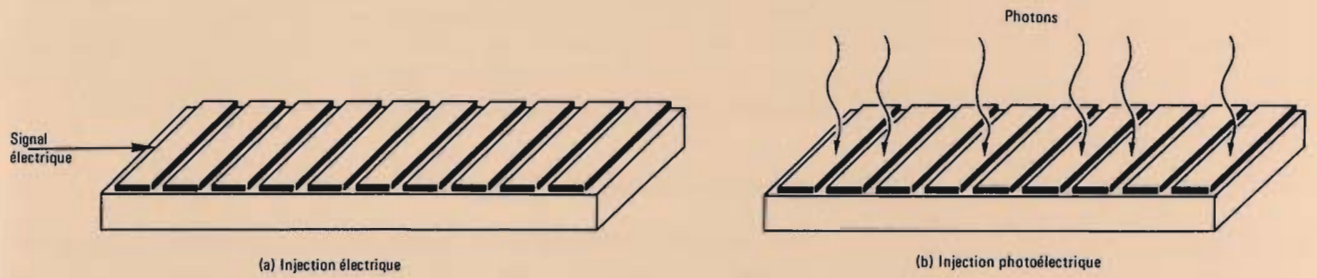


Figure 2 – Injection électrique et photoélectrique

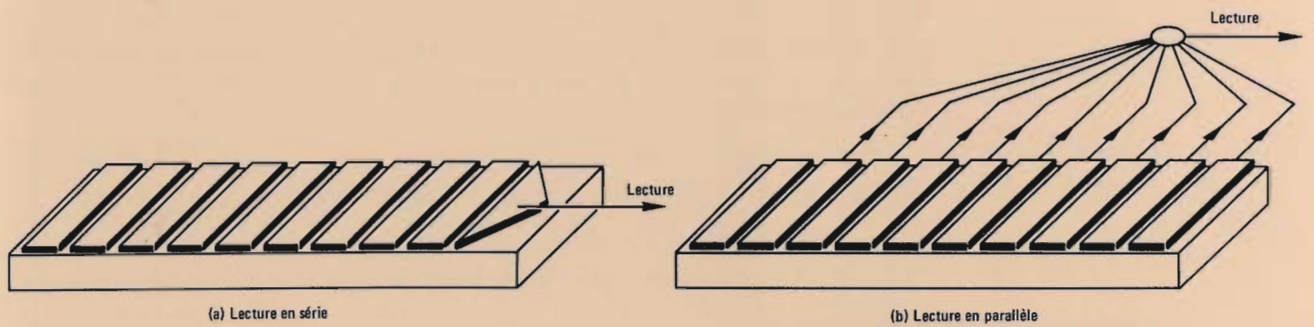


Figure 3 – Lecture en série et en parallèle

## Dispositifs photosensibles matriciels

Les dispositifs à transfert de charge constituent une nouvelle génération de capteurs d'images entièrement réalisés à l'état solide. La conversion d'un signal optique en signal électrique est effectuée en deux séquences : intégration et lecture.

Lors de la séquence d'intégration, l'absorption des photons crée localement une charge proportionnelle à l'éclairement incident par formation de paires électron-trou et stockage des porteurs minoritaires dans les capacités MOS du dispositif.

Lors de la séquence de lecture, les charges sont transférées de proche en proche et délivrent un signal analogique échantillonné, adapté à l'utilisation.

Les séquences d'intégration et de lecture étant réparties dans le temps, la durée de lecture est maintenue très faible par rapport au temps d'intégration de façon à éviter tout phénomène de traînage.

Composées d'un grand nombre de photoéléments, les matrices photosensibles permettent d'obtenir des images de haute résolution. Leurs caractéristiques : faible rémanence, analyse discrète de l'image, consommation réduite, composant entièrement à l'état solide, autorisent la conception de caméras de très faible encombrement pour la prise de vue en noir et blanc ou en couleur, adaptées aux exigences de la télévision professionnelle et du monde industriel.

## Dispositifs photosensibles linéaires

Des registres linéaires d'éléments photosensibles sont également utilisés comme capteurs d'image. Ces dispositifs sont conçus pour des systèmes d'analyse assurant un balayage ligne à ligne par défilement relatif de l'image et du capteur.

Dans ces dispositifs photosensibles linéaires, une ligne de photodiodes, séparée par des zones d'isolement  $p^+$ , est associée à deux registres de lecture à transfert de charge. Un registre lit les charges accumulées dans les photodiodes de rang pair et l'autre celles accumulées dans les photodiodes de rang impair.

Le signal vidéo obtenu est multiplexé, échantillonné, maintenu et lissé, avant d'être disponible pour l'utilisation.

Ces dispositifs nécessitent deux phases de commande externes, les autres signaux de commande étant engendrés par un circuit logique intégré.

Les domaines d'application recouvrent la conversion de messages (télécopie), le contrôle dimensionnel, la détection d'anomalies, l'identification, les mesures physiques, le positionnement, etc...

Chaîne de production - four à diffusion



## Lignes à retard

Les lignes à retard à transfert de charge sont adaptées aux systèmes de traitement de signal réalisant le retard ou la mémorisation d'une information analogique. Le signal analogique est introduit sous forme de paquets de charges, grâce à une conversion tension-charge. La technologie en canal N "enterré" autorise un fonctionnement en mode pseudo-biphasé. Les charges avancent d'un demi-étage à chaque commutation de la phase de transfert  $\Phi_T$ , afin que chaque paquet de charges subisse le transfert d'une extrémité à l'autre du registre. L'étage de sortie assure la conversion charge-tension, et un circuit d'échantillonnage et de maintien intégré permet d'obtenir un signal de sortie continu d'excellente qualité. Pour un registre analogique de  $n$  cellules,  $\tau$  étant la période de l'horloge de transfert, le temps de retard  $n\tau$  peut varier dans un rapport de 1000.

THOMSON-CSF a mis au point des lignes à retard DTC. Les caractéristiques de ces dispositifs les rendent particulièrement bien adaptés au traitement de signal effectué en radar, sonar, télévision et télécommunications.

## Filtres

L'introduction de coefficients de pondération à chaque étage d'un registre à transfert de charge, ainsi que la possibilité de lecture non destructive de la somme des échantillons du signal pondéré, conduisent à la conception de filtres transverses analogiques. Cette structure effectue la convolution dans le temps entre un signal analogique et un jeu de coefficients dont le choix dépend de la caractéristique de filtrage recherchée.

Lorsque la pondération est effectuée par la technique des électrodes partagées, la valeur des coefficients est prédéterminée et conduit à la réalisation de générateurs de fonctions, filtres de bande et filtres adaptés.

La modification de la loi de programmation, à partir d'éléments externes couplés directement à chacun des étages ou par le biais de l'introduction en série d'informations binaires, permet aussi la réalisation de filtres programmables numériquement et de corrélateurs analogiques.

## Circuits associés

La mise en œuvre des dispositifs à transfert de charge nécessite l'emploi de circuits périphériques devant assurer les différentes fonctions de commande telles que : génération de signaux d'horloge, commande des circuits d'injection et de lecture des charges, compensation interne de la composante parasite due aux tensions d'horloge, amplification différentielle en sortie et pondération programmable.

De façon à ne pas limiter certains des avantages inhérents à la structure des dispositifs à transfert de charge, en particulier leur faible encombrement et leur consommation réduite, l'intégration de ces circuits annexes en technologie adaptée aux dispositifs à transfert de charge a été poursuivie.



Bâti d'évaporation sous vide (RF) d'aluminium



Les dispositifs à transfert de charge offrent la possibilité de réaliser un grand nombre de fonctions différentes de façon simple et économique. Ils sont constitués de l'association d'un grand nombre de capacités MOS élémentaires, et leur fonctionnement repose sur l'utilisation d'un effet de champ similaire à celui des transistors MOS. Leur structure est par principe d'une grande simplicité et peut être réalisée en très petites dimensions. Une très grande intégration devient ainsi possible par adaptation des technologies métal-oxyde-semiconducteur (MOS).

Les dispositifs à transfert de charge comportent une partie transfert de charge proprement dite (zone où s'effectue le transfert des charges électroniques), des circuits d'injection et de lecture de ces charges, et des circuits associés, dont les circuits de commande. Les caractéristiques recherchées dans chaque type d'applications sont très largement conditionnées, dès la conception, par l'organisation du dispositif et la technologie de réalisation retenue. L'utilisation en traitement du signal ou en imagerie influe directement sur le nombre de cellules, leur disposition géométrique et leur niveau d'intégration, ainsi que sur la nature et la complexité des circuits associés. La plupart des dispositifs sont conçus pour fonctionner à l'aide de signaux de commande en 2 phases, en vue d'une plus grande facilité de mise en œuvre par l'utilisateur. Les dispositifs à 3 ou 4 phases peuvent par contre être plus simples à réaliser sur le plan de la technologie. Pour un grand nombre d'applications, une efficacité de transfert des charges satisfaisante est obtenue par transfert des charges au voisinage de l'interface oxyde-semiconducteur, compte tenu de la fréquence de fonctionnement demandée (fréquence horloge). Le transfert en volume supprime l'influence des états de surface du silicium et s'avère nécessaire dans le cas d'applications demandant une inefficacité de transfert de l'ordre de  $10^{-5}$  à des fréquences de fonctionnement élevées.

La conception des dispositifs à transfert de charge est entreprise sur la base de ces différents paramètres à l'aide des techniques de conception assistée par ordinateur (CAO). Il est fait largement appel à la simulation de circuits, en tenant compte des impératifs technologiques de réalisation sous forme de règles de définition géométrique à respecter. La conservation en mémoire de divers éléments de circuits permet la création d'une bibliothèque qui facilite la conception de nouveaux dispositifs.

La réalisation des différents masques nécessaires en technologie planar (de 7 à 10 selon les cas) est entreprise à partir de la conception, avec une très grande précision. Au cours du processus technologique ultérieur, leur superposition exige, en effet, une erreur de

Chaîne de production - implanteur ionique



positionnement nettement inférieure à un micron, sur une surface de 50 x 50 mm<sup>2</sup>. Les masques sont réalisés à l'aide d'équipements THOMSON-CSF de haute précision. Un électrocomposeur, commandé à partir des données obtenues lors de la conception assistée par ordinateur, assure le tracé des motifs élémentaires et un photorépéteur à interférométrie laser permet, par reproduction de ces motifs, d'obtenir le masque complet. La précision de ces différentes opérations impose une haute stabilité des conditions climatiques en salle blanche.

La technologie de réalisation des circuits fait appel aux processus les plus élaborés mis en œuvre dans l'industrie des semiconducteurs. Les plaquettes de silicium, de diamètre 75 ou 100 mm (3 ou 4 pouces), proviennent de lingots dopés (bore ou phosphore) et sont polies afin d'obtenir un état de surface très uniforme. Les électrodes métalliques et les différents niveaux d'oxyde isolant sont réalisés par une succession d'opérations élémentaires telles que photogravures, oxydations, dopages... Les photogravures sélectives nécessitent, à chaque opération de masquage, un positionnement du masque très précis sur la plaquette de silicium ainsi qu'une attaque particulièrement bien contrôlée des parties dépouillées. Cet aspect revêt une importance particulière puisqu'il est demandé des espacements de l'ordre du micron, en n'importe quelle partie d'une surface pouvant atteindre plusieurs centimètres carrés. La qualité des oxydes obtenus par oxydation thermique en atmosphère d'oxygène sec ou humide, de haute pureté ou dopé, conditionne largement les performances des dispositifs. Les dopages des différentes zones, usuellement réalisés par diffusion thermique, sont effectués à THOMSON-CSF par implantation ionique, avec un bien meilleur contrôle des doses et des profils. Cette technologie permet une excellente reproductibilité et une grande précision topographique.

La complexité des dispositifs et les divers impératifs technologiques mentionnés nécessitent une grande rigueur dans la caractérisation. Des structures de test sont systématiquement mises en œuvre tout au long du processus technologique de réalisation. L'analyse des propriétés physico-chimiques des matériaux de base et de ceux intervenant dans les diverses opérations technologiques, le suivi des caractéristiques géométriques et électriques des dispositifs à chaque stade de leur fabrication, sont effectués à l'aide de bancs de mesure spécifiques et d'équipements performants tels que microscope à balayage électronique et spectroscopie à rayons X. Le traitement de protection et le montage constituent un stade de fabrication extrêmement important pour les caractéristiques de précision, de stabilité et de fiabilité des dispositifs à transfert de charge. Une série de mesures électriques, éventuellement électrooptiques, est effectuée après montage, en fonction des caractéristiques et des performances recherchées dans chaque type d'applications et en fonction des conditions d'environnement demandées.

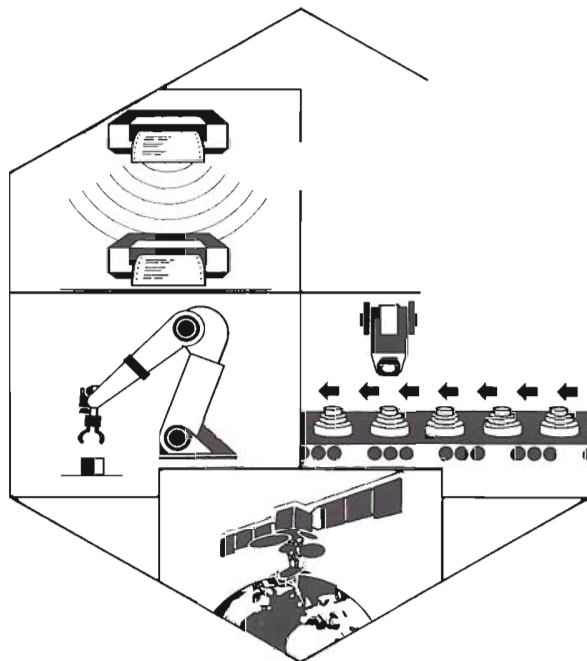
Machine d'alignement de masques



---

---

La conversion de message (télécopie)



La robotique

Le contrôle dimensionnel

Surveillance optique





Centre d'études et de production THOMSON-CSF à Saint-Egrève

THOMSON-CSF Division Tubes Electroniques / 38 rue Vauthier / BP 305  
92102 BOULOGNE-BILLANCOURT CEDEX / FRANCE  
Tel. : (33.1) 604 81 75 - Telex : 200772F

**AUSTRALIE - AUSTRALIA**

THOMSON-CSF AUSTRALASIA Pty Ltd  
GPO Box 1910 R  
MELBOURNE VIC 3001  
Tel. : (61.3) 63 45 52 - Telex : THOMAS AA 31888 MELB

**BRESIL - BRASIL**

THOMSON-CSF COMPONENTES DO BRASIL Ltda  
Avenida Roque Petronio Junior 23  
Caixa Postal 21359 CEP 047 07  
BROOKLYN - SAO PAULO  
Tel. : (11) 542 47 22 - Telex : 1124226

**CANADA - CANADA**

THOMSON-CSF CANADA Ltd/Ltée  
350 Sparks Street - Suite 701  
OTTAWA, K1R 7S8, Ontario  
Tel. : (613) 236 3628 - Telex : 053 3796

**ESPAGNE - SPAIN**

THOMSON-CSF COMPONENTES Y TUBOS SA  
Calle Almagro 3  
MADRID 4  
Tel. : (34.1) 419 85 37 - Telex : 46033 TCCE-E

**ITALIE - ITALY**

THOMSON-CSF COMPONENTI  
Viale Degli - Ammiragli 71  
00136 ROMA  
Tel. : (39.6) 638 14 58 - Telex : FIANNING 611475

**JAPON - JAPAN**

THOMSON-CSF JAPAN KK  
TDR Building 701 - Kojimachi 5-7 - Chiyoda-Ku  
TOKYO T 102  
Tel. : (81.3) 264 63 46 - Telex : 2324241 THCSF J

**REPUBLIQUE FEDERALE D'ALLEMAGNE -  
WEST GERMANY**

THOMSON-CSF BAUELEMENTE GmbH  
Bereich Elektronenröhren  
Fallstrasse 42 - Postfach 701909  
8000 MÜNCHEN 70  
Tel. : (089) 75 10 84 - Telex : 5216574

**ROYAUME UNI - UNITED KINGDOM**

THOMSON-CSF COMPONENTS AND MATERIALS Ltd  
Ringway House - Bell Road  
BASINGSTOKE RG 24 0QG  
Tel. : (44.256) 29155 - Telex : 858865

**SUEDE - SWEDEN**

THOMSON-CSF KOMPONENTER & ELEKTRONRÖR AB  
Sandhamnsgatan 67 - P.O. Box 27080  
10251 STOCKHOLM 27  
Tel. : (46.8) 22 58 15 - Telex : 12078 THCSF S

**USA - USA**

THOMSON-CSF COMPONENTS CORPORATION  
Electron Tube Division  
301 Route Seventeen North - Rutherford  
NEW JERSEY 07070  
Tel. : (1.201) 438-2300 - Telex : 710 989 7286