

Fiche signalétique de document :

Dispositifs à transfert de charges (CCD)

Application à la Télévision

Auteur : Régis Brugière

Editeur : Direction de la Formation Professionnelle de l'INA Institut National de l'Audiovisuel.

Date d'édition : 1988 (édition remaniée)

Document appartenant à la collection de l'ACONIT, Association pour un conservatoire de l'informatique et de la télématique, Grenoble. Mis à disposition sur la Base de Données PSTC-Rhône-Alpes-sud, fiche le n°675 (rubrique PSC).

Fiche versée sur la Base de Données de la mission nationale PATSTEC sous le n° ACONIT 675.

Résumé analytique : CCD est un acronyme provenant de l'anglais « Charge Coupled Device », un mode de fonctionnement sur des puces de silicium en technologie MOS, pour des applications de prises de vue en Télévision, ou éventuellement en photographie numérique. L'intérêt de ce document réside dans la présentation synthétique de l'apport technologique de CCD, dont le fonctionnement est abondamment décrit, schémas à l'appui, pour le matériel d'acquisition des images utilisés par les professionnels de ce secteur. Ces technologies ont ensuite, à partir des années 1990, irrigué le marché des caméras numériques proposées aux particuliers.

Ce pdf contient :

- Les cellules MOS – pp.9 et 14

Pour utiliser cet article, mentionnez INA France, ainsi que BdD ACONIT-PSTC Rhône-Alpes-sud, n° 675. Il est rappelé que la loi sur les droits d'auteur n'autorise que les reproductions partielles de documents à titre individuel et pour des motifs de recherche.



Chapitre II

LES CELLULES MOS

1. Description :

Ce sont des cellules formées de trois éléments :

- métal
- oxyde (la silice)
- substrat (silicium)

Le silicium peut être dopé négativement ou positivement. Si le silicium est p, en portant le potentiel du métal à une valeur positive, on crée à l'interface oxyde-silicium une zone de déplétion où des porteurs minoritaires (des électrons dans ce cas), pourront se rendre s'ils ont été "libérés" dans la région (par effet photoélectrique par exemple).

Dans une telle cellule plus le potentiel auquel est porté le métal est élevé, plus la zone de déplétion est profonde (figure 3).

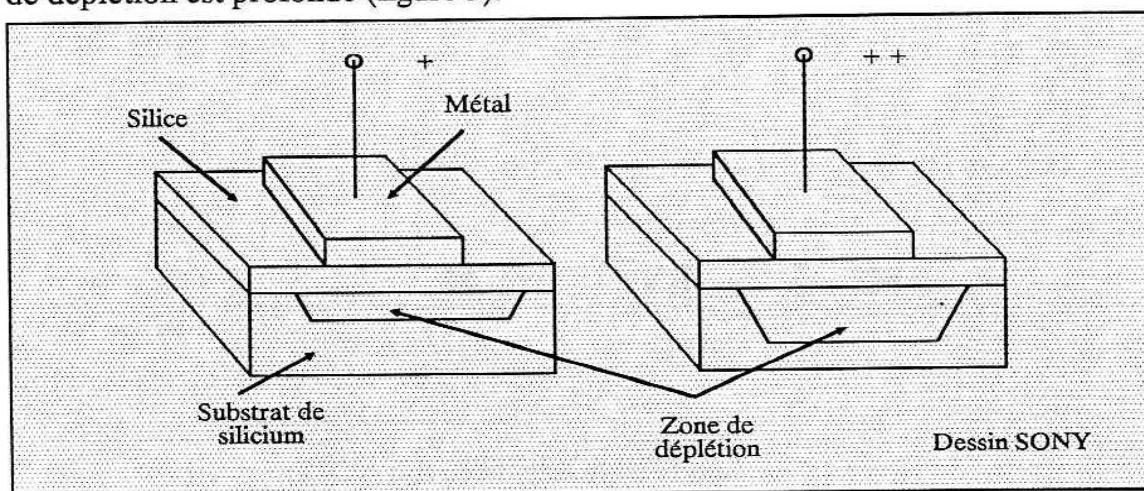


Fig 3

Lorsque deux cellules MOS sont adjacentes les charges passeront de l'une à l'autre si la zone de déplétion de la seconde est plus profonde que celle de la première.

Si le silicium est n on crée cette fois une zone de déplétion en portant le métal à un potentiel négatif. Des porteurs minoritaires (des trous cette fois -ci) pourront aller dans cette zone de déplétion lorsque une arrivée de lumière, par exemple, les "libère".

2 . Transfert de charges entre cellules :

Nous avons choisi pour expliquer le détail de ce transfert le cas où un élément de C.C.D. est formé de trois cellules MOS dont le silicium est n. Les trois niveaux de potentiel que nous allons utiliser pour faire bouger les charges seront négatifs. (Dans le cas où le silicium est p il suffit d'inverser toutes les charges et le raisonnement est le même). Sur la figure 4 nous avons porté une portion de ligne de transfert de charges. Un premier élément de C.C.D. est formé par les cellules MOS 1. 2. 3., un second par les cellules 4. 5. 6. un troisième par les cellules 7. 8. 9.

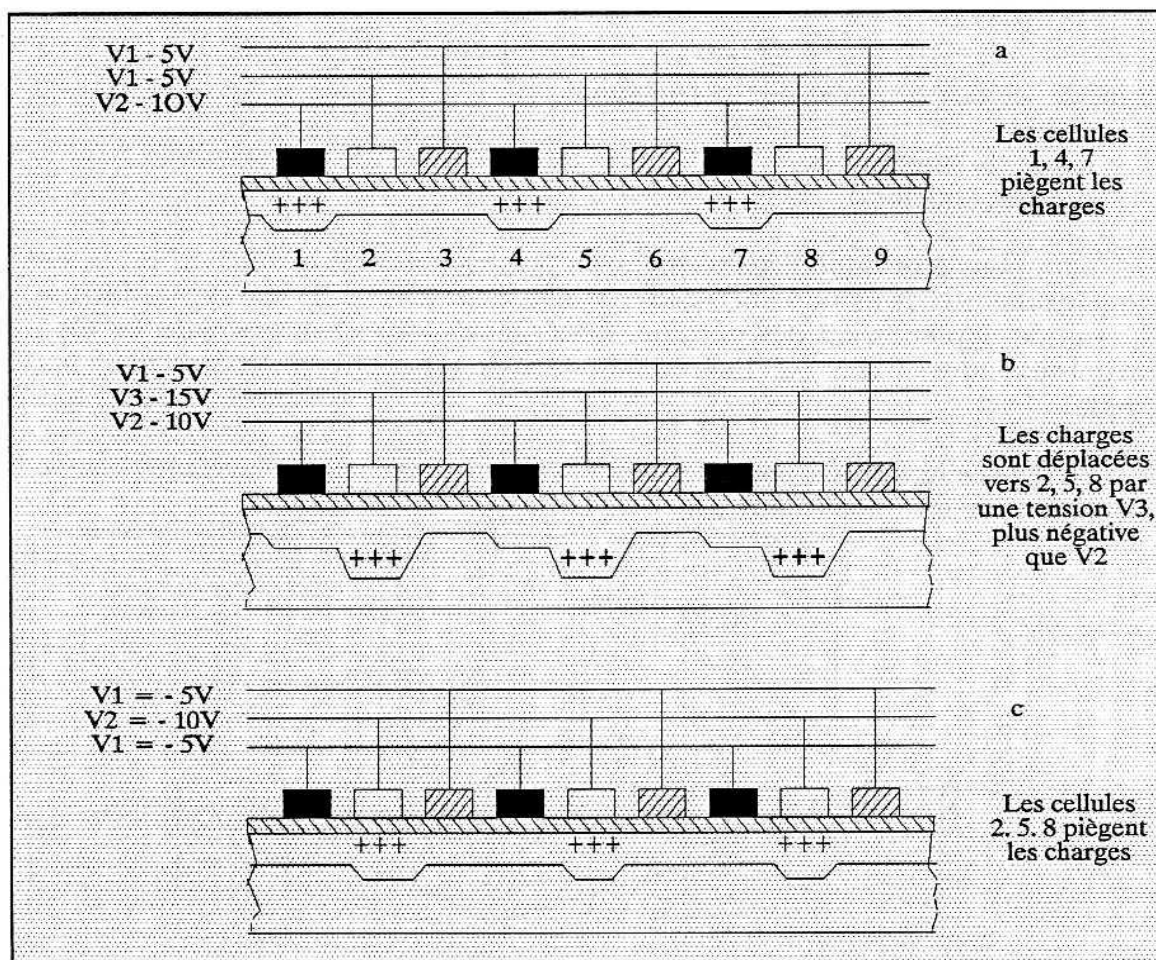


Fig 4 - Commande triphasée de circuit à CCD



Les cellules MOS qui sont situées en position 1. 4. et 7 sont reliées entre elles. De ce fait elles auront toujours des potentiels identiques. Il en sera de même pour celles situées en 2. 5. 8..... d'une part, et en 3. 6. 9..... d'autre part. C'est pourquoi on parle de système à trois potentiels ou triphasé.

Nous supposons au début que la répartition des potentiels est celle donnée dans la figure 4a. Les charges libérées par l'arrivée de la lumière (ou un autre processus) vont dans chaque élément là où le potentiel est le plus "bas" : c'est-à-dire sur les cellules MOS 1. 4. 7... où le potentiel est par exemple - 10V (alors qu'il est -5V pour les cellules 2. 5. 8... et les cellules 3. 6. 9...). Nous avons sur la figure 4a la représentation de ce qui se passe lors du stockage des charges.

Portons maintenant - figure 4b - les potentiels des cellules 2. 5. 8... à - 15V sans toucher aux autres. Les charges se déplacent de 1 vers 2, de 4 vers 5, de 7 vers 8. C'est la période de transfert.

Ramenons - figure 4c - le potentiel des cellules 1. 4. 7 à -5V et celui des cellules 2. 5. 8... à -10V, nous nous retrouvons dans le même cas qu'en 4a mais avec une translation globale des charges d'une cellule MOS tout au long de la ligne.

Réalisons maintenant un second puis un troisième déplacement du même type et nous aurons fait passer les charges d'un élément de C.C.D. au suivant. Le moteur du déplacement des charges, comme nous le voyons, réside dans les changements synchronisés de potentiels auxquels sont portés les cellules MOS.

Nous présentons sur la figure 5 une coupe longitudinale qui privilégie ce qui se passe dans un élément de ce C.C.D. Pour cela nous l'avons "sorti" de sa ligne et avons dessiné l'état de stockage et l'état de transfert.

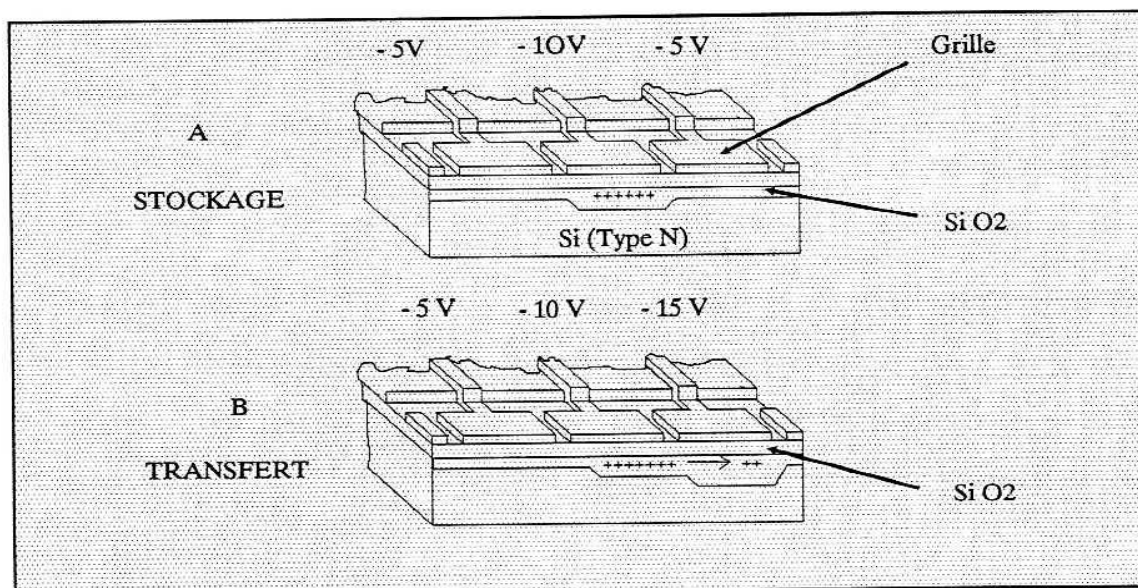


Fig 5 - Coupe longitudinale d'un CCD



La micrographie de la figure 6 donne une idée des difficultés que pose la réalisation pratique de la mise en phase des potentiels dans un C.C.D.

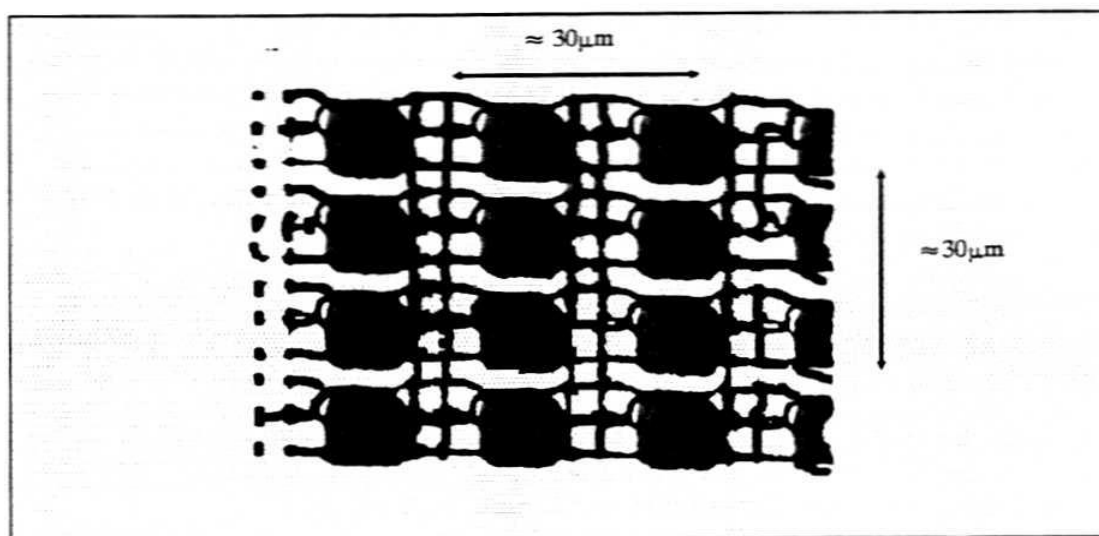


Fig 6

3. Transfert de charges à deux dimensions :

Nous allons maintenant considérer que chaque élément de C.C.D. est une unité simple, bien qu'il soit formé de plusieurs cellules MOS et qu'il faille plusieurs déplacements de cellules MOS à cellule MOS pour que les charges passent d'un élément de C.C.D. au suivant (trois en l'occurrence dans l'exemple donné au cours du paragraphe précédent).

La figure 7 va nous permettre de comprendre comment un système à C.C.D. permet de "lire une image".

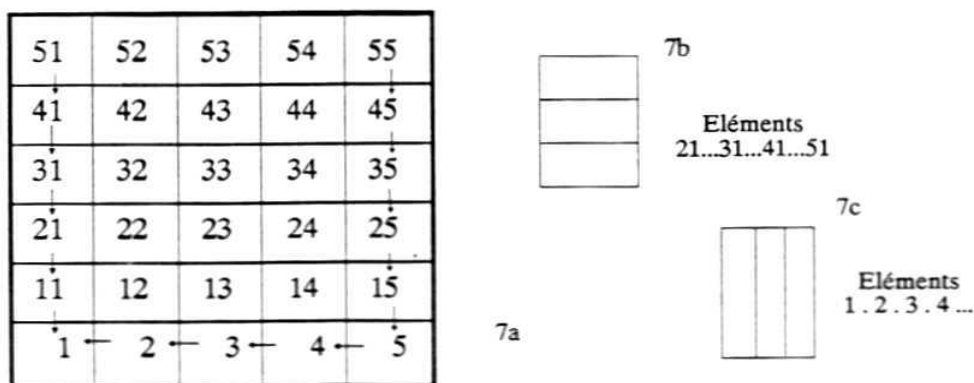


Fig 7



Les éléments de C.C.D. 1.2.3.4.5., ceux de la dernière ligne sont différents de ceux des autres lignes. Leurs cellules MOS sont disposées de telle manière qu'elles permettent le déplacement horizontal des charges (figure 7c). Les cellules MOS des éléments des autres lignes permettent, elles, un déplacement vertical des charges (figure 7b).

Supposons d'abord qu'il n'y a pas de charge dans les éléments de C.C.D. de la ligne du bas (1.2.3.4.5...) et qu'il y en a partout ailleurs.

A l'aide d'un déplacement vertical synchronisé (comme ceux que nous avons vu dans le chapitre précédent) les charges vont "descendre" d'une ligne. Par exemple celles de l'élément 11 vont passer en 01, celles de l'élément 24 en 14 celles de 35 en 25 etc...

La ligne du bas qui était vide est maintenant chargée. Dans cette ligne il va y avoir des déplacements horizontaux de charges qui vont permettre à celles-ci de sortir (au rythme de variation des potentiels appliqués).

Quand la ligne du bas sera vidée, il y aura de nouveau un déplacement vertical qui va amener, élément par élément, dans celle-ci toutes les charges de la ligne qui est située au-dessus d'elle et le processus continuera jusqu'à épuisement total des charges (qui devront être remplacées si on veut que le processus se poursuive).

On voit donc que le déplacement vertical concerne les charges correspondant aux lignes d'images et que le déplacement horizontal concerne les charges correspondant aux points d'images. Bien sûr, en télévision ces deux déplacements doivent suivre le rythme du signal vidéo (nous reviendrons en détail sur ce problème dans le chapitre III)

La sortie des charges :

La détection du courant à la sortie d'un C.C.D. s'est faite longtemps à travers un drain en faisant apparaître aux bornes d'une résistance une tension proportionnelle au courant. Le signal a la forme d'un pic. La capacité de sortie est élevée mais la détection est linéaire. Le courant étant faible, il a besoin d'être amplifié.

Aujourd'hui on utilise des systèmes à grille flottante (figure 8).

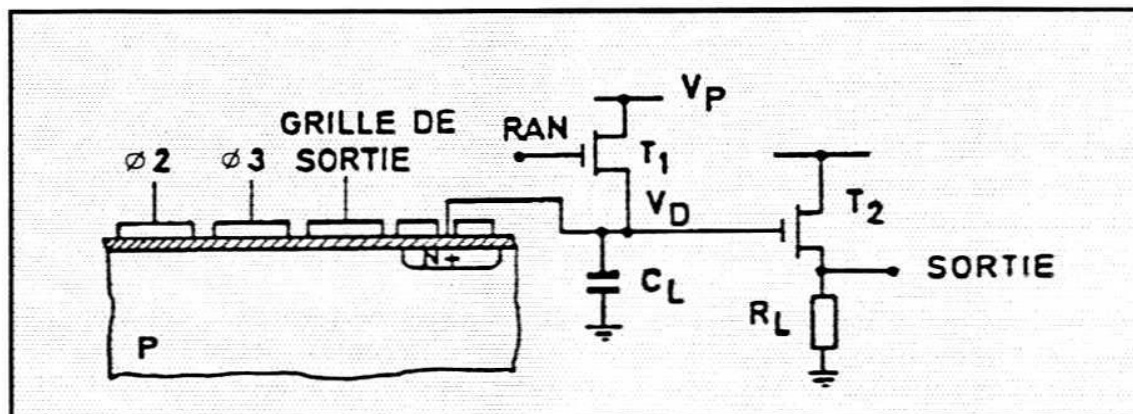


Fig 8



4 . La formation des charges :

Tous les photodétecteurs dont nous allons parler font appel au silicium. Lorsqu'un rayon lumineux dont la longueur d'onde est inférieure à 1000nm pénètre dans ce métal il y "crée" (ou plutôt, pour être rigoureux, il y libère) une paire électron-trou (en chassant un électron de la bande de valence). Les paires électrons-trous peuvent être "séparées" par la présence d'un champ électrique et il y a apparition d'un courant électrique. Celui-ci étant faible il faut accumuler les charges pendant un certain temps avant de le détecter.

Nous présentons sur la figure 9 les deux dispositifs qui peuvent être utilisés pour réaliser la conversion énergie lumineuse-énergie électrique. Ce sont la diode n + p et la photopacité MOS.

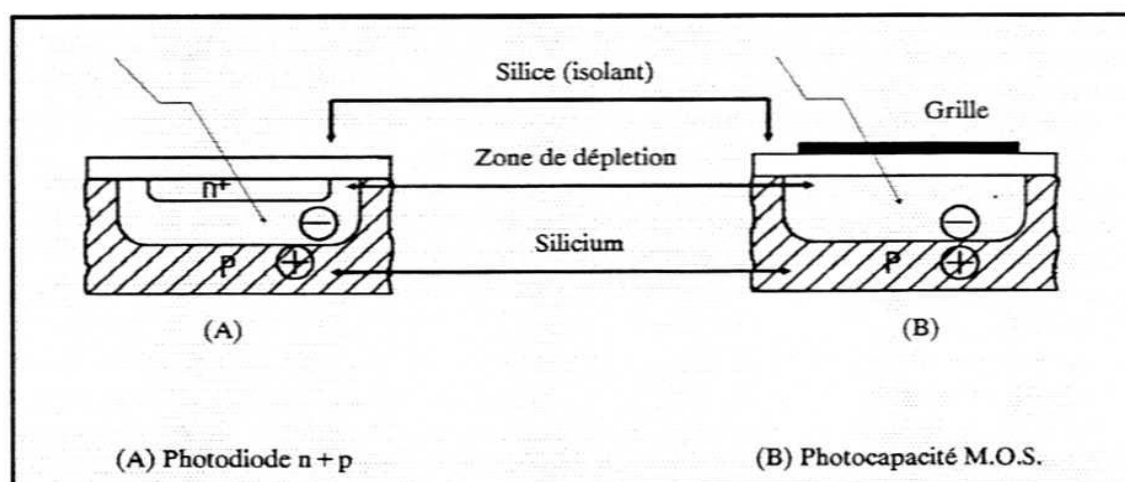


Fig 9 : Coupe de Photoéléments

Dans les deux cas une polarisation positive crée une zone de déplétion dans le silicium. Les électrons, dans notre cas, (ou les trous si les polarisations sont inversées) peuvent être stockés dans cette zone en attendant qu'ils soient en nombre suffisant pour qu'un courant notable circule.

Dans la pratique, photo MOS et photo-diodes peuvent être utilisés séparément ou ensemble dans les caméras. Il faut bien sûr que la courbe de réponse de l'ensemble de la chaîne de captation de lumière soit la plus proche possible de celle de l'oeil. Nous y reviendrons en étudiant la sensibilité.

Nous verrons que selon les systèmes utilisés les zones de formation des charges s'interpénètrent avec celles de lecture ou sont différentes. Selon les cas, les photodétecteurs pourront ou non assurer le transfert de charge. S'ils ne l'assurent pas, il faudra que les charges passent des éléments qui assurent la capture de lumière aux éléments qui assurent le transfert de ces charges.