(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication : **2 593 987**
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) N° d'enregistrement national : **86 01054**

(51) Int Cl⁴ : H 04 N 5/335; G 01 T 1/24; G 11 C 27/00.

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt** : 24 janvier 1986.

(30) **Priorité** :

(43) **Date de la mise à disposition du public de la demande** : BOPI « Brevets » n° 32 du 7 août 1987.

(60) **Références à d'autres documents nationaux apparentés** :

(71) **Demandeur(s)** : *Société dite : THOMSON-CSF, Société anonyme.* — FR.

(72) **Inventeur(s)** : Marc Arques.

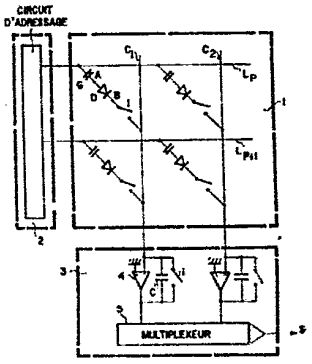
(73) **Titulaire(s)** :

(74) **Mandataire(s)** : Michèle Mayeux.

(54) Dispositif photosensible à l'état solide.

(57) La présente invention concerne un dispositif photosensible comportant un réseau d'éléments photosensibles, reliés par des connexions horizontales et verticales à un circuit d'adressage des lignes 2 et à un circuit de lecture et de multiplexage des colonnes 3.

Selon l'invention, chaque élément photosensible est constitué par la mise en série d'une capacité G, d'une photodiode D et d'un interrupteur électronique I. Le signal lumineux à lire est appliqué au dispositif après que les photodiodes aient été polarisées en inverse par une impulsion de tension d'amplitude V_{P1}. Le dispositif est lu, ligne par ligne, par application d'une impulsion de tension d'amplitude V_{P2} supérieure à V_{P1} à chaque ligne lue. Les interrupteurs I de la ligne lue sont fermés alors que les interrupteurs des autres lignes sont ouverts. Une fois le dispositif lu, on remet à zéro les photodiodes.



FR 2 593 987 - A1

DISPOSITIF PHOTOSENSIBLE

La présente invention concerne un dispositif photosensible à l'état solide.

Il est bien connu de réaliser des dispositifs photosensibles à l'état solide, du type comportant :

- un réseau de connexions horizontales ou lignes et un réseau de connexions verticales ou colonnes qui se croisent ;
- un élément photosensible qui relie chaque ligne et chaque colonne qui se croisent ;
- un circuit d'adressage dont les sorties sont reliées aux lignes ;
- un circuit de lecture et de multiplexage dont les entrées sont reliées aux colonnes.

Dans tous ces dispositifs photosensibles, on cherche à simplifier au maximum les schémas et les technologies utilisés pour réaliser les éléments photosensibles de façon à augmenter les rendements de fabrication. On cherche aussi à diminuer les capacités des différentes connexions ce qui permet de simplifier les circuits électroniques reliés au dispositif. On cherche enfin à réduire les courants d'obscurité des éléments photosensibles qui sont néfastes.

Ces préoccupations sont d'autant plus importantes lorsqu'il faut réaliser des dispositifs photosensibles de grandes dimensions, comme c'est le cas pour l'imagerie des rayons X où l'on ne sait pas focaliser le rayonnement.

La présente invention concerne un dispositif photosensible pouvant être utilisé pour la détection aussi bien d'un rayonnement visible, que de rayons X ou de n'importe quel autre type de rayonnement. Pour la détection de rayons X, on peut interposer un scintillateur, en oxyde de gadolinium par exemple, de façon à convertir le rayonnement X en rayonnement visible détecté par des photodiodes. On peut aussi réaliser les détecteurs dans n'importe

quel semiconducteur que l'on sait réaliser avec une épaisseur suffisante pour assurer la détection directe des rayons X.

Il faut signaler que le dispositif selon l'invention n'est utilisable que s'il existe une phase d'éclairement signal et une phase de lecture du dispositif qui sont disjointes dans le temps.

La présente invention concerne un dispositif photosensible comportant :

- un réseau de connexions horizontales ou lignes et un réseau de connexions verticales ou colonnes qui se croisent ;
- un élément photosensible qui relie chaque ligne et chaque colonne qui se croisent ;
- un circuit d'adressage dont les sorties sont reliées aux lignes ;
- un circuit de lecture et de multiplexage dont les entrées sont reliées aux colonnes ;

caractérisé en ce que :

1°) chaque élément photosensible est constitué par la mise en série d'une capacité, d'une photodiode et d'un interrupteur électronique ;

2°) l'un des réseaux de connexions du dispositif reçoit, périodiquement, des impulsions de tension V_{P1} qui font passer toutes les photodiodes du dispositif à l'état direct puis à l'état inverse, les interrupteurs étant fermés, alors que l'autre réseau est porté à un potentiel constant ;

3°) entre deux impulsions de tension V_{P1} successives :

- le signal lumineux à lire est appliqué au dispositif ;
- tous les interrupteurs sont ouverts ;
- on lit les éléments photosensibles reliés à chaque ligne du dispositif et pour cela, on ferme les interrupteurs des éléments photosensibles d'une ligne sélectionnée et le circuit d'adressage envoie sur cette ligne une impulsion de tension V_{P2}, qui fait passer les photodiodes de cette ligne à l'état direct puis à l'état inverse, l'amplitude de l'impulsion de tension V_{P2} étant supérieure à celle de l'impulsion de tension V_{P1}, puis le circuit de lecture et de multi-

plexage assure la lecture de chaque photodiode de la ligne sélectionnée en sommant les charges qui circulent en commençant avant que les interrupteurs de la ligne sélectionnée soient fermés et en poursuivant au moins jusqu'à ce que l'impulsion V_{P2} soit appliquée à la ligne sélectionnée, on ouvre ensuite les interrupteurs des éléments photosensibles de la ligne lue et on lit les éléments photosensibles reliés à une autre ligne du dispositif, et ainsi de suite jusqu'à ce que tout le dispositif soit lu,

- on remet à zéro les photodiodes et on ferme les interrupteurs au moins avant l'impulsion de tension V_{P1} suivante.

La présente invention concerne un dispositif photosensible présentant de nombreux avantages parmi lesquels on peut citer :

- le fait que dans ses modes de réalisation préférés, le dispositif selon l'invention comporte des éléments photosensibles ne nécessitant que la réalisation de diodes et de capacités. Ces éléments photosensibles sont donc particulièrement simples à réaliser ;

- le fait que le dispositif selon l'invention présente de faibles capacités de connexion. Chaque colonne du dispositif est reliée à un amplificateur opérationnel, présentant une tension de bruit e_n qui crée à l'entrée de l'amplificateur un courant de bruit de valeur $e_n.C.w$, où C est la capacité de la colonne et w la pulsation de travail. Pour diminuer ce courant de bruit qui passe en sortie de l'amplificateur, il faut diminuer la capacité des colonnes. De même, la capacité des colonnes influe sur la vitesse de transit des signaux sur les colonnes. Selon l'invention, on réduit notablement les capacités de connexion du fait de l'utilisation d'un interrupteur électronique dans chaque élément photosensible du dispositif. Lors de la lecture d'une ligne d'éléments photosensibles, les interrupteurs appartenant aux éléments photosensibles des autres lignes du dispositif sont ouverts. Toutes ces autres lignes ne sont en contact avec les colonnes, dans le cas ou chaque interrupteur est constitué par deux diodes d_1 et d_2 tête-bêche, que par l'intermédiaire de trois capacités, en parallèle qui, sont les capacités C_{d1} et C_{d2} des diodes

d_1 et d_2 à l'état bloqué et la capacité de croisement C_c des lignes et des colonnes. Ces capacités C_{d1}, C_{d2} et C_c sont faibles. La ligne qui est lue est en contact avec les colonnes par la capacité C_G appartenant à chaque élément photosensible. En conséquence, la capacité C_{col} d'une colonne d'un dispositif de q lignes, qui est vue par le circuit de lecture et de multiplexage lorsqu'on lit une ligne vaut :

$$C_{col} = C_G + (q-1) . (C_{d1} + C_{d2} + C_c)$$

$$C_{col} \simeq (q-1) . (C_{d1} + C_{d2} + C_c) \text{, lorsque q est grand.}$$

Cette capacité C_{col} peut être modérée et permet la conception d'un circuit de lecture et de multiplexage relativement simple ;

- le fait que le dispositif selon l'invention ne prenne en compte qu'une faible partie du courant d'obscurité des éléments photosensibles.

En effet, les interrupteurs montés en série dans les éléments photosensibles permettent de déconnecter chaque ligne d'éléments photosensibles des colonnes lorsqu'on lit les autres lignes du dispositif. Ainsi les éléments photosensibles d'une ligne qui n'est pas lue n'injectent pas leur courant d'obscurité dans les colonnes lorsqu'on lit d'autres lignes. La lecture d'une ligne n'est pas perturbée par les autres lignes qui ne sont pas lues. On supprime la "diaphotie" et le "smearing".

De plus, lorsqu'on lit une ligne d'éléments photosensibles, on ferme les interrupteurs de cette ligne. Les photodiodes injectent alors dans les colonnes la charge d'obscurité, stockée alors que ces interrupteurs étaient ouverts et qu'on lisait les autres lignes. Ensuite, l'impulsion d'adressage V_{p2} fait circuler de nouveau cette même charge mais en sens inverse. En sommant les charges qui circulent depuis l'instant ou l'on ferme les interrupteurs d'une ligne sélectionnée et jusqu'à l'instant où l'on applique l'impulsion d'adressage V_{p2}, on arrive à lire chaque ligne d'éléments photosensibles et à compenser la charge d'obscurité stockée par cette ligne lorsqu'on lisait les autres lignes.

Il faut signaler que cette compensation est beaucoup plus

efficace que celle réalisée par d'autres systèmes de compensation et qui consistent à mémoriser la valeur moyenne du courant d'obscurité pour la soustraire de la charge lue sur chaque élément photosensible car la compensation réalisée selon l'invention est exacte ;

- le fait que dans le dispositif selon l'invention on réalise une lecture rapide et de bonne qualité des photodiodes du fait de l'utilisation pour lire chaque ligne d'une impulsion de lecture V_{p2} dont l'amplitude est supérieure à celle des impulsions V_{P1} utilisées en début de cycle pour faire passer les photodiodes d'abord en direct puis en inverse et pour les pré-charger. L'utilisation d'impulsions V_{P2} oblige à effectuer en fin de cycle une opération de remise à zéro des photodiodes.

D'autres objets, caractéristiques et résultats de l'invention ressortiront de la description suivante, donnée à titre d'exemple non limitatif et illustrée par les figures annexées qui représentent ;

- les figures 1, 4 et 5, un schéma d'un mode de réalisation du dispositif selon l'invention ;

- les figures 2a à 2f et 6a à 6f, un chronogramme du dispositif des figures 1 et 5 ;

- les figures 3a, b et c, des caractéristiques I = f (V) et C = f (V) des diodes utilisées ;

- les figures 7, 8a à 8c, et 9 : des schémas concernant un mode de réalisation technologique d'un élément photosensible selon le mode de réalisation de la figure 5 ;

- les figures 10, 11a à j et 12a à h, un mode de réalisation du circuit d'adressage 2 des figures 1, 4 et 5, et deux chronogrammes ;

- les figures 13, 14 et 15, deux modes de réalisation particuliers du circuit de lecture et de multiplexage et le chronogramme de la figure 14.

Sur les différentes figures, les mêmes repères désignent les mêmes éléments, mais, pour des raisons de clarté, les cotes et proportions des divers éléments ne sont pas respectées.

La figure 1 représente le schéma d'un mode de réalisation du dispositif photosensible selon l'invention.

Ce dispositif comporte une matrice photosensible 1 comportant un réseau de connexions horizontales ou lignes et un réseau de connexions verticales ou colonnes.

Sur la figure 1, on n'a représenté pour expliquer le fonctionnement du dispositif qu'une matrice 2x2, avec deux lignes L_p et L_{p+1} et deux colonnes C_1 et C_2.

Les lignes et les colonnes se croisent, sans être bien entendu en contact, et un élément photosensible relie chaque ligne et chaque colonne qui se croisent.

Selon l'invention, chaque élément photosensible est constitué par la mise en série d'une capacité G, d'une photodiode D, en silicium amorphe par exemple, et d'un interrupteur électronique I.

Dans le mode de réalisation de la figure 1, on trouve en allant d'une ligne vers une colonne, la capacité G, puis la photodiode D dont l'anode est reliée à la capacité G en un point A et dont la cathode est reliée en un point B à l'interrupteur I connecté à une colonne.

L'invention s'applique quelle que soit la position respective des composants faisant partie de l'élément photosensible. On peut aussi inverser la position de l'anode et de la cathode de la photodiode D, c'est-à-dire par exemple dans le mode de réalisation de la figure 1, relier sa cathode au point A et son anode au point B. Cela entraîne des modifications des signaux de commande, des tensions aux points A et B et des charges qui circulent par rapport au mode de réalisation de la figure 1 qui va être décrit de façon détaillée ci-après. Ces modifications sont facilement accessibles à l'homme du métier.

Le dispositif de la figure 1 comporte également un circuit d'adressage 2 dont les sorties sont reliées aux lignes de la matrice et un circuit de lecture et de multiplexage 3 dont les entrées sont reliées aux colonnes de la matrice.

On a représenté sur la figure 1 un mode de réalisation du circuit de lecture et de multiplexage 3 dans lequel chaque colonne de la matrice est reliée à l'entrée négative d'un amplificateur

opérationnel 4 dont l'entrée positive est à une tension constante qui peut être la masse du dispositif. Ces amplificateurs sont montés en intégrateurs et comportent une capacité C' connectée entre leur entrée négative et leur sortie. Un interrupteur i est monté en parallèle sur chaque capacité C' pour assurer sa remise à zéro. Les sorties des amplificateurs sont reliées à un multiplexeur 5, du type réseau d'interrupteurs ou CCD par exemple, dont la sortie fournit le signal de sortie S du dispositif.

On sait que les amplificateurs opérationnels montés en intégrateurs recopient sur leur entrée négative la polarisation de leur entrée positive. Dans le cas de la figure 1, l'entrée positive des amplificateurs est à une tension constante, par exemple à la masse du dispositif. Ces amplificateurs relient donc à la masse les colonnes qui sont reliées à leur entrée négative. On va décrire en se référant au chronogramme de la figure 2 le fonctionnement du disposiif de la figure 1 et plus particulièrement le fonctionnement d'un élément photosensible du dispositif de la figure 1, par exemple l'élément situé à l'intersection de la colonne C_1 et de la $p^{ième}$ ligne L_p de la matrice.

Dans ce qui suit, on compte positivement les courants et les charges circulant depuis chaque élément photosensible vers l'amplificateur intégrateur situé en bas des colonnes.

Sur la figure 2a, on a représenté les instants t_1 à t_{12} considérés pour décrire le fonctionnement du dispositif de la figure 1 ainsi que les intervalles de temps Φ_1 à Φ_{12} considérés.

La figure 2b représente des impulsions de tension V_{P1} et V_{P2} circulant sur les lignes de la matrice.

Les figures 2c et 2d représentent les tensions V_A et V_B aux points A et B de l'élément photosensible considéré.

La figure 2e représente les quantités de charge circulant dans l'élément photosensible considéré.

Sur le figure 2f, on a représenté, de façon symbolique la position ouverte ou fermée de l'interrupteur I appartenant à l'élément photosensible considéré.

On va examiner le fonctionnement du dispositif pendant les différentes phases ϕ_1 à ϕ_{12}.

Phase 1 :

On applique une impulsion de tension V_{P1} sur l'ensemble des lignes de la matrice par l'intermédiaire du circuit d'adressage.

A l'instant t_1, l'amplitude du signal V_P, passe de 0 à V_{P1} et à l'instant t_2, l'amplitude du signal V_P passe de V_{P1} à O.

La tension au point A suit, après charge de la capacité G la variation de tension intervenant sur les lignes, c'est-à-dire qu'à partir de l'instant t_1, V_A augmente puis se stabilise à la valeur V_c qui est la tension de coude ou de seuil de la photodiode D, ce qui polarise en direct la diode D dont la cathode est reliée à la masse par l'interrupteur I qui est passant.

Pour simplifier l'explication du fonctionnement, on supposera que la diode D a une caractéristique C = f (V) telle que celle représentée sur la figure 3b. On peut cependant utiliser n'importe quel type de photodiode D, par exemple une photodiode du type PIN, PN ou Schottky.

Pendant la phase 1, l'interrupteur I est fermé comme cela est représenté sur la figure 2f. On supposera pour simplifier qu'il s'agit d'un interrupteur parfait ce qui explique que la tension V_B soit nulle.

L'arrivée de l'impulsion V_{P1} provoque la circulation d'un courant correspondant à une charge Q_1 - figure 2e.

Phase 2

A l'instant t_2, V_{P1} revient à zéro et la tension V_A devient négative et égale à

$-\frac{V_{P1} \cdot C_G}{C_G + C_D}$,où C_G est la valeur de la capacité G et où C_D représente la capacité de la photodiode D.

On choisit généralement C_G supérieure à C_D pour que la polarisation du point A soit proche de $-V_{P1}$. On peut choisir par exemple $C_G = 10\ C_D$.

La photodiode D de l'élément photosensible considéré se

trouve polarisée en inverse car sa cathode est toujours reliée à la masse ($V_B = O$) par l'interrupteur I toujours conducteur. La photodiode fonctionne alors dans le mode vidicon et va pouvoir détecter la lumière. Elle génère à partir de l'instant t_2 un courant d'obscurité I_{OBS1} dont une fraction égale à

$I_{OBS1} \cdot \frac{C_G}{C_G + C_D}$ est injectée dans la colonne.

A l'instant t_2, il a circulation d'une quantité de charge Q_2 de signe contraire à celui de Q_1.

Phase 3

Pendant cette phase, le dispositif reçoit le signal lumineux à analyser h_S. On a représenté de façon symbolique sur la figure 2a l'application de ce flash lumineux. Ce flash crée un photocourant dans la photodiode D qui va avoir tendance à revenir à tension nulle. La tension V_A augmente légèrement à partir de t_3. On appelle Q_S la quantité de charge crée et séparée dans la photodiode D. La fraction

$Q_3 = Q_S \cdot \frac{C_G}{C_G + C_D}$ est injectée dans la colonne.

Phase 4

C'est une phase d'attente qui sépare le flash lumineux de la lecture du dispositif. Elle peut éventuellement être supprimée. La tension V_A est stable pendant cette phase. La tension V_B est toujours nulle car l'interrupteur I est fermé.

Il y a circulation d'une quantité de charge Q_4.

Pendant les phases ϕ_2 à ϕ_4, la fraction égale à $I_{OBS1} \cdot \frac{C_G}{C_G + C_D}$ du courant d'obsurité I_{OBS1} est injectée dans la colonne. On ne compensera pas ce courant d'obscurité, mais il faut remarquer que l'intervalle de temps, pendant lequel il circule est faible devant un cycle d'imagerie complet - voir phase 7.

Phase 5

A l'instant t_5, on ouvre tous les interrupteurs. La photodiode D génère un courant d'obscurité I_{OBS2} qui n'est plus injecté dans la colonne mais qui s'accumule au point B. Le potentiel du point B se

met à décroître avec une pente égale à I_{OBS2}/C_D. La charge maximale qu'il peut stocker égale $2V_c.C_D$. Le potentiel du point A en première approximation reste constant.

Pendant cette phase ϕ_5, et si l'on suppose comme c'est généralement le cas qu'on lit la matrice photosensible de la première ligne L_1 à la dernière L_n, on lit une à une les (p-1) premières lignes de la matrice grâce à des signaux délivrés sur ces lignes par le circuit d'adressage, de la même façon qu'on lit la $p^{ième}$ ligne pendant les phases 6, 7, 8.

On constate que la lecture des (p-1) premières lignes n'est pas perturbée par la $p^{ième}$ ligne puisque pendant la phase ϕ_5 les interrupteurs de la ligne L_p sont ouverts.

Phase 6

Cette phase ϕ_6 marque le début de la lecture de la ligne L_p.

A l'instant t_6, on ferme les interrupteurs de la ligne L_p. Le point B est à nouveau relié à la masse et injecte alors dans la colonne une quantité des charges Q_6 correspondant à la fraction

$I_{OBS2}.(t_6 - t_5) . \frac{C_D}{C_D + C_D}$ de la charge d'obscurité stockée par le point B pendant la phase 5.

Phase 7

On applique sur la $p^{ième}$ ligne et sur elle seule une impulsion de tension V_{P2} d'amplitude supérieure à celle de V_{P1}.

Le potentiel du point A augmente et se stabilise à V_c lorsque la photodiode D conduit. Du fait de la mise en direct de la photodiode D, il y a circulation d'une quantité de charge Q_7 de signe contraire à celui des charges Q_2, Q_3, Q_4, Q_6 et de même signe que Q_1 et Q_5. La quantité de charge Q_7 contient l'information signal au même titre que Q_3. Il faut remarquer que Q_3 n'est pas exploitable car le flash lumineux est envoyé simultanément à tout le dispositif et toutes les photodiodes débitent simultanément sur les colonnes qui fournissent la valeur moyenne du signal lumineux appliqué.

Selon l'invention, on va obtenir l'information signal à partir de la charge Q_7.

Le dispositif selon l'invention comporte des éléments photosensibles ayant chacun une capacité, une photodiode et un interrupteur. Il n'y a donc pas de courant continu qui circule à travers les éléments photosensibles.

En conséquence, si l'on suppose que les impulsions V_{P1} et V_{P2} sont identiques, on peut écrire : $\Sigma Q_i = 0$, avec i = 2 à 7. Du fait de la différence d'amplitude entre les impulsions V_{P1} et V_{P2}, il faut écrire : $Q_i = C_G (V_{P2} - V_{P1})$ avec i = 2 à 7, ce qui donne :
$Q_7 = - (Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6) + C_G (V_{P2} - V_{P1})$.

L'intégration sur les amplificateurs reliés aux colonnes des charges Q_7 provenant des photodiodes de la ligne L_p permet donc d'obtenir l'information signal pour cette ligne.

Selon l'invention, on compense la fraction du courant d'obscurité I_{OBS2} égale à $I_{OBS2} .(t_6 - t_5) \frac{C_G}{C_G + C_D}$ qui est injectée à l'instant t_6 sous forme de la charge Q_6 et qui correspond à l'accumulation du courant d'obscurité de t_5 à t_6 alors qu'on lisait les lignes L_1 à L_{p-1}.

Pour réaliser cette compensation, on somme dans les amplificateurs intégrateurs les charges Q_6 et Q_7.
$Q_6 + Q_7 = - (Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5) + C_G (V_{P2} - V_{P1})$

On a donc éliminé la quantité de charges Q_6 provenant du courant d'obscurité I_{OBS2}.

En conséquence, en sommant les charges qui circulent entre l'instant t_6 où l'on ferme les interrupteurs de la ligne L_p et l'instant t_7 où l'impulsion de lecture V_{P2} est appliquée à la ligne L_P, on arrive à lire les éléments photosensible de la ligne L_P et à compenser Q_6 stockée par la ligne L_P alors qu'on lit les autres lignes - phase ϕ_5.

Le courant d'obscurité délivré pendant la phase ϕ_5 n'intervient plus ni pour sa valeur moyenne ni pour son bruit.

On fait se déverser ce courant au temps t_7 et on le compense en réalisant la somme $Q_6 + Q_7$.

Pour réaliser la somme $Q_6 + Q_7$, le circuit de lecture et de

multiplexage assure la lecture de chaque photodiode de la ligne sélectionnée en sommant les charges qui circulent en commençant avant que les interrupteurs de la ligne sélectionnée soient fermés et en terminant alors que l'impulsion V_{P2} est appliquée à la ligne sélectionnée.

En ce qui concerne le courant d'obscurité I_{OBS1} dont il a été question pendant la phase 4, la somme $Q_6 + Q_7$ montre qu'il n'intervient que pendant la phase 3 correspondant à l'éclairement signal et pendant les phases de sécurité 2 et 4 dont la durée peut être faible devant celle de la phase 5.

L'utilisation d'une impulsion de lecture V_{P2} d'amplitude supérieure à l'impulsion de précharge V_{P1} crée la circulation d'une charge supplémentaire C_G $(V_{P2} - V_{P1})$ pendant la phase 7 qui accélère le transfert de Q_7 sur la colonne. Sans cette charge supplémentaire, le transfert est lent.

En effet, lors de l'arrivée de l'impulsion V_{P2}, le point de polarisation de la photodiode D se trouve déplacé en direct, le déplacement instantané valant $V_{P2} \cdot \frac{C_G}{C_G + C_D}$, puis le point de polarisation revient à une valeur d'équilibre V_C. Ce retour vers la valeur d'équilibre se fait selon une loi en $e^{-t/R(t).C_G}$, où R(t) exprime les variations de la résistance dynamique de la photodiode en fonction du temps.

L'utilisation d'une impulsion V_{P2} d'amplitude supérieure à V_{P1} déplace la valeur moyenne du point de polarisation de la photodiode en direct dans une zone où sa résistance dynamique est plus faible, et donc accélère le phénomène de retour vers la valeur d'équilibre.

La phase 6 peut être supprimée. La quantité de charge qui circule lorsque la tension de ligne passe à V_{P2} vaut alors $Q_6 + Q_7$. La fermeture des interrupteurs se fait simultanément avec le passage à V_{P2}.

Phase 8

A l'intant t_8, V_{P2} revient à zéro. Il se produit une variation de V_A analogue à celle qui a lieu à l'instant t_2. Le potentiel

des points A de la ligne L_P passe à $- V_{P2} \cdot \frac{C_G}{C_G + C_D}$.

Comme les interrupteurs I sont toujours fermés, les photodiodes D des éléments photosensibles de la ligne L_P se retrouvent polarisées en inverse.

Il y a circulation d'une quantité de charges Q_8.

Pour lire les charges signal, on peut sommer les charges $Q_6 + Q_7 + Q_8$. Par rapport à la somme $Q_6 + Q_7$, l'intérêt est que le terme constant, indépendant des charges-signal et de I_{OBS2} est plus faible.

Il faut alors que le circuit de lecture et de multiplexage assure la lecture de chaque photodiode de la ligne sélectionnée en sommant les charges qui circulent en commençant avant que les interrupteurs de la ligne sélectionnée soient fermés, en poursuivant alors que l'impulsion V_{P2} est appliquée à la ligne sélectionnée, et en terminant alors que l'impulsion V_{P2} est revenue à zéro.

Phase 9

A l'instant t_9 on ouvre les interrupteurs de la ligne L_P qui vient d'être lue. On lit alors les lignes L_{P+1} à L_n et leur lecture n'est pas perturbée par le courant d'obscurité des photodiodes de la ligne L_P dont les interrupteurs sont ouverts.

L'ouverture de ces interrupteurs provoque la circulation d'une quantité de charge Q_9 dans le cas où les interrupteurs I ne sont pas parfaits. Comme au début de la phase 5, la tension V_A reste constante, en première approximation, alors que la tension V_B décroît. Pour lire les charges-signal, on peut réaliser la somme : $Q_6 + Q_7 + Q_8 + Q_9$.

Il faut alors sommer les charges circulant avant que les interrupteurs de la ligne sélectionnée soient fermés et jusqu'à leur ouverture.

La lecture de la $P^{ième}$ ligne se fait en ouvrant l'interrupteur i sur la contre-réaction des amplificateurs intégrateurs juste avant la phase 6. On commence alors la sommation des charges. On peut lire les charges grâce au muliplexeur, lorsque les amplificateurs intégrateurs ont sommé les charges $Q_6 + Q_7$ ou bien $Q_6 + Q_7 + Q_8$ ou

bien $Q_6 + Q_7 + Q_8 + Q_9$. Ensuite, on referme les interrupteurs i, de façon à remettre les capacités des intégrateurs à zéro avant l'arrivée des charges provenant de la ligne p+1.

A la fin de la phase 9, la lecture de toutes les lignes du dispositif est terminée. Avant de commencer le cycle d'imagerie suivant, on veut retrouver une même configuration de potentiels, c'est-à-dire qu'il faut pouvoir écrire pour le cycle d'imagerie qui se termine l'équation suivante :

$\Sigma Q_i = 0$, ce qui s'écrit aussi, puisque $\Sigma Q_i = C_G (V_{P2} - V_{P1})$, avec i = 2 à 7 :

$Q_8 + Q_9 + Q_{10} + Q_{11} + Q_{12} = - Q_1 - C_G (V_{P2} - V_{P1})$, où Q_{10}, Q_{11} et Q_{12}, sont les charges générées au cours des dernières phases 10, 11 et 12 du cycle d'imagerie.

La charge Q_1 étant positive, il faut pour que l'équation ci-dessus soit vérifiée que la condition suivante soit vérifiée : $|Q_8 + Q_9 + Q_{10} + Q_{11} + Q_{12}| \geqslant |C_G \cdot (V_{P2} - V_{P1})|$

On va donc au cours des phases 10, 11 et 12, et en particulier au cours de la phase 11 générer des charges telles que l'inégalité précédente soit vérifié.

Phase 10

A l'instant t_{10}, on ferme tous les interrupteurs I du dispositif. Il y a circulation d'une quantité de charge Q_{10} égale à

$$I_{OBS2} \cdot (t_{11} - t_{10}) \cdot \frac{C_G}{C_G + C_D} .$$

Phase 11

Pendant cette phase, on éclaire les photodiodes pour les faire fuir et provoquer la circulation d'une quantité de charge Q_{11} suffisante pour que l'inégalité suivante soit vérifiée :

$$|Q_8 + Q_9 + Q_{10} + Q_{11} + Q_{12}| \geqslant |C_G \cdot (V_{P2} - V_{P1})|$$

On éclaire généralement simultanément tout le dispositif, on est donc amené à choisir une valeur moyenne pour Q_8 et pour Q_9.

On peut aussi ne pas tenir compte de Q_8 et Q_9 et ne s'attacher à satisfaire que la relation suivante :

$|Q_{10} + Q_{11} + Q_{12}| \geqslant |C_G (V_{P2} - V_{P1})|$, c'est-à-dire qu'il faut que

la valeur absolue de la somme des charges ayant circulé après la lecture de toutes les lignes soit supérieur ou égale à $| C_G \cdot (V_{P2} - V_{P1})|$

On appelle la phase 11 la phase de remise à zéro des photodiodes.

Dans le cas de la détection de rayons X, si le scintillateur placé devant le dispositif est opaque, on peut éclairer la face arrière du panneau. Il faut alors que le substrat sur lequel est réalisé le dispositif photosensible soit transparent. On peut utiliser un substrat en verre ou en quartz par exemple.

La quantité de charges Q_{11} peut aussi être produite en appliquant aux lignes une impulsion de tension qui pousse les photodiodes D en inverse au-dela de leur tension de claquage, tout en restant dans les limites du claquage réversible, de façon à provoquer la circulation d'une quantité de charges Q_{11} suffisante pour satisfaire l'inégalité citée plus haut dans le cas d'une remise à zéro par voie optique.

Phase 12

La phase 12 est une phase qui sépare un cycle d'imagerie du cycle suivant. Il y a circulation d'une quantité de charge Q_{12}.

Phase 1

Une nouvelle phase 1 commence ensuite avec l'application d'une impulsion de tension V_{P1} à toutes les lignes du dispositif. La charge Q_1 qui circule évacue l'excédent de charges qui a pu être apporté lors de la phase 11. Il n'est donc pas nécessaire de calibrer précisément cette charge Q_{11}. On retrouve la même configuration électrique que lors de la phase 1 de l'image précédente.

Dans le mode de réalisation de l'invention qui vient d'être exposé, tous les interrupteurs sont fermés entre l'instant t_{10} correspondant à la fin de la lecture du dispositif et l'instant t_4 du cycle d'imagerie suivant qui marque le début d'une nouvelle lecture du dispositif.

Il faut signaler que lorsqu'on applique le flash lumineux correspondant au signal à lire, il est possible de laisser les interrupteurs

ouverts. Le courant s'accumule au point B. Il faut alors fermer les interrupteurs avant que ne commence la lecture du dispositif pour autoriser les charges-signal à se déverser sur les lignes et les colonnes.

En conséquence, les interrupteurs du dispositif doivent être fermés pendant les phases ϕ_1 et ϕ_4 alors que pendant les phases ϕ_2 et ϕ_3, ils peuvent être indifféremment ouverts ou fermés.

De même, les interrupteurs du dispositif peuvent être indifféremment fermés ou ouverts pendant les phases ϕ_{10} à ϕ_{12}.

La solution préférée consiste à laisser les interrupteurs fermés pendant les phases 10, 11 et 12, et même de la phase 10 à la fin de la phase 4 du cycle d'imagerie suivant.

On peut utiliser divers modes de réalisation des interrupteurs I en série dans chaque élément photosensible.

La figure 4 représente un mode de réalisation où chaque interrupteur I est constitué par un transistor T. On peut utiliser par exemple un TFT en silicium amorphe, un MOSFET ou un JFET.

La commande de l'ouverture ou de la fermeture des interrupteurs est alors assurée par un réseau supplémentaire de connexions horizontales L'_P et L'_{P+1} qui sont reliées à des sorties supplémentaires du circuit d'adressage.

Dans le mode de réalisation de la figure 5, chaque interrupteur I est constitué de deux diodes montées tête-bêche, d_1 et d_2.

Pour pouvoir bien commander ces interrupteurs, il faut que la capacité C_D de la photodiode soit très supérieure à la somme des capacités C_{d1} et C_{d2} des deux diodes. Ainsi, on considère pour simplifier dans l'explication de fonctionnement du dispositif que lorsqu'une tension est appliquée aux bornes de chaque élément photosensible, elle se retrouve aux bornes de l'interrupteur.

A titre d'exemple on peut choisir : $C_D = 50.(C_{d1} + C_{d2})$.

De même pour que l'interrupteur ainsi réalisé soit satisfaisant il faut que les diodes d_1 et d_2 suivent la caractéristique $I = f(V)$ de la figure 3 a où le courant est nul pour une tension inférieure à la tension de seuil V_C. Cette hypothèse est justifiée car les diodes d_1

et d_2 ayant des capacités de faibles valeurs ont généralement de faibles surfaces et un courant de fuite faible. Sur cette caractéristique, les diodes ont aussi une impédance dynamique nulle pour une tension supérieure à V_C.

L'association de deux diodes d_1 et d_2 ayant la caractéristique $I = f(V)$ de la figure 3a donne un interrupteur ayant la caractéristique $I = f(V)$ de la figure 3c.

Entre les tensions $-V_C$ et $+V_C$, l'interrupteur est fermé, alors qu'il est ouvert pour des tensions supérieures à $+V_C$ et inférieures à $-V_C$.

Lorsqu'on utilise dans le dispositif selon l'invention, un interrupteur constitué de de deux diodes d_1 et d_2 montées tête-bêche, on commande cet interrupteur en modulant le potentiel des lignes de $2V_C$.

Pour simplifier l'explication du fonctionnement on considère de plus que les diodes d_1 et d_2, ont une capacité constante en fonction de la tension V, lorsque celle-ci est inférieur à V_C, comme cela est représenté sur la figure 3b.

Cette hypothèse est vérifiée en particulier si les diodes d_1 et d_2 sont des diodes PIN.

La figure 6 représente le chronogramme du dispositif de la figure 5 dont le fonctionnement est peu différent de celui de la figure 1.

Dans ce qui suit, on ne va pas reprendre l'explication détaillée du dispositif de la figure 5. En ce qui concerne les figures 5 et 6, on se contentera de souligner les différences par rapport aux figures 1 et 2, ces différences tenant essentiellement au fait que les interrupteurs I constitués de deux diodes d_1 et d_2 montées tête-bêche ne sont pas des interrupteurs parfaits.

<u>Phase 1</u>

La diode d_1 et la photodiode D se trouvent polarisées en direct par la tension V_{P1}. En conséquence, pendant l'application de la tension V_{P1}, la tension V_A se fixe à $2V_C$ et la tension V_B à V_C, si l'on admet que V_C est la tension de seuil des diodes D, d_1 et d_2.

Phase 2

Lorsque l'impulsion V_{P1} revient à zéro, la variation de tension est d'abord absorbée par les diodes d_1 et d_2 alors que la tension V_B passe de $+ V_C$ à $- V_C$. En fait la fraction de la variation de tension absorbée par les diodes d_1 et d_2 et par le point A est la suivante :

$$\frac{\frac{C_G \cdot C_D}{C_G + C_D}}{\frac{C_G \cdot C_D}{C_G + C_D} + C_{d1} + C_{d2}} \simeq 1$$

Ensuite le point A varie de $(Vp1 - 2V_C) \frac{C_G}{C_G + C_D}$ à partir de O.

On ne tiendra pas compte du courant d'obscurité des diodes d_1 et d_2 qui sont de faibles valeurs par rapport à ceux des photodiodes D.

Phases 3 et 4

Pas de changement.

Phase 5

Pour provoquer l'ouverture des interrupteurs, on envoie sur les lignes une tension égale à $2V_C$. La tension V_A reste sensiblement constante mais subit une augmentation de $2V_C$ à l'instant t_5. De même, la tension V_B passe à $+ V_C$ à l'instant t_5 pour décroître ensuite, avec une pente égale à I_{OBS2}/C_D.

Phase 6

On ferme les interrupteurs de la ligne L_P en ramenant à zéro le potentiel de cette ligne. Le potentiel V_B se fixe à $- V_C$.

Phase 7

La tension V_A se stabilise à $2V_C$ et la tension V_B à V_C.

Phase 8

Le point B varie de $2V_C$ et passe à $- V_C$ et le point A varie de $(V_{P2} - 2V_C) \cdot \frac{C_G}{C_G + C_D} + 2V_C$ à partir de $2V_C$.

Phase 9

Le potentiel de la ligne L_P passe à $2V_C$, pour provoquer l'ouverture des interrupteurs de cette ligne. A l'instant t_9, les tensions V_A et V_B varient de $+ 2V_C$. La tension V_B passe à $+ V_C$ puis décroît avec une pente égale à I_{OBS2}/C_D.

L'expression de la somme $Q_6 + Q_7 + Q_8 + Q_9$ montre que les capacités C_{d1} et C_{d2} n'interviennent plus, ce qui est intéressant notamment pour éviter que des dispersions sur ces valeurs pour les différents éléments photosensibles n'entraînent des erreurs sur les signaux de lecture.

Phases 10, 11 et 12

On ferme tous les interrupteurs en ramenant l'ensemble des lignes du dispositif à zéro. La tension V_A diminue de $2V_C$ puis augmente pendant la phase 11. La tension V_B se stabilise à $- V_C$.

Le dispositif représenté sur la figure 5 présente l'avantage suivant. Lors de la lecture d'une ligne d'éléments photosensibles, les interrupteurs appartenant aux éléments photosensibles des autres lignes du dispositif sont ouverts. Toutes ces autres lignes ne sont en contact avec les colonnes que par l'intermédiaire de trois capacités en parallèle qui sont les capacités C_{d1} et C_{d2} des diodes d_1 et d_2 à l'état bloqué et la capacité de croisement C_c des lignes et des colonnes. Ces capacités C_{d1}, C_{d2} et C_c sont faibles. La ligne qui est lue est en contact avec les colonnes par la capacité C_G appartenant à chaque élément photosensible. En conséquence, la capacité C_{col} d'une colonne d'un dispositif de q ligne, qui est vue par le circuit de lecture et de multiplexage lorsqu'on lit une ligne vaut :

$$C_{col} = G_G + (q-1) . (C_{d1} + C_{d2} + C_c)$$

$C_{col} \simeq (q-1) . (C_{d1} + C_{d2} + C_c)$, lorsque Q est grand.

Cette capacité C_{col} peut être modérée et permet la conception d'un circuit de lecture et de multiplexage relativement simple.

Enfin, un autre avantage de ce dispositif est qu'il ne nécessite que la réalisation de diodes et de capacités et qu'il est donc particulièrement simple à réaliser, comme on va le voir sur un

exemple de réalisation technologique.

De plus, ce dispositif ne nécessite pas, comme lorsque les interrupteurs sont constitués par des transistors, un réseau supplémentaire de lignes pour commander les transistors.

Les figures 7, 8a, b et c, et 9 concernent un mode de réalisation technologique du dispositif de la figure 5, et plus particulièrement d'un élément photosensible de ce dispositif.

La figure 7 est une vue de dessus de l'élément photosensible ainsi réalisé, et les figures 8a à c sont des vues en coupe selon les plans AA', BB' et CC' de ce dispositif.

On désigne par la référence 6 le substrat transparent sur lequel sont réalisés les éléments photosensibles.

Ce substrat porte un premier niveau conducteur 7 qui est utilisé pour réaliser les colonnes, le contact avec les colonnes de la diode d_1 - figure 8a - et le contact au point B de la diode D avec les diodes d_1 et d_2 - figures 8a et b.

Dans le cas où la remise à zéro optique est effectuée à travers le substrat, le premier niveau conducteur 7 doit être transparent.

Sur ce premier niveau conducteur 7, on dépose et on grave une couche PIN de façon à réaliser les diodes d_1, d_2 et D.

Sur la figure 7, les diodes d_1 et d_2 et D sont délimitées par des pointillés.

On dépose une couche d'isolant 8 qui sert dans la partie où il recouvre la diode D à constituer la capacité G et qui sert aussi à isoler le passage du deuxième niveau conducteur 9. On ouvre les quatre contacts suivants : un contact sur d_1, figure 8a - un contact sur d_2, figure 8b - un contact sur la colonne pour relier d_2 - un contact sur le contact situé sous la diode D pour relier la diode d_1 à la diode D.

On dépose la deuxième niveau conducteur 9 et on le grave pour relier la diode d_1 au point B - figure 8a, pour relier la diode d_2 à la colonne - figure 8b et pour réaliser les lignes.

Ce deuxième niveau conduteur 9 doit être transparent au rayonnement lumineux à analyser.

Sur les figures 8a, b et c, on a représenté un scintillateur 10 qui fait face à l'élément photosensible.

Sur le mode de réalisation de la figure 8c, on voit qu'on n'a pas réalisé exactement un élément photosensible tel que ceux représentés sur la figure 5, mais un élément photosensible tel que celui représenté sur la figure 9.

Il y a en parallèle sur chaque élément photosensible constitué par la mise en série d'une capacité G, d'une diode D et de deux diodes d_1 et d_2 montées tête-bêche, une capacité G' en série avec une diode D'. La capacité de l'ensemble constitué par la capacité G' et la diode D' en série est inférieure ou égale à la capacité qu'aurait présenté un simple isolant. De plus, ainsi, la probabilité de défaut par court-circuit est plus faible du fait de la diode D' qui se trouve polarisée en inverse si la capacité G' est en court-circuit.

Il est bien sûr possible si on le souhaite de ne conserver que l'isolant au point de croisement des lignes et des colonnes en gravant le dépôt PIN.

On a vu que les interrupteurs I de la figure 1 pouvaient être constitués par un transistor ou par deux diodes montées tête-bêche.

Il est également possible de réaliser ces interrupteurs par une seule diode en utilisant aussi bien la partie de sa caractéristique où elle est passante que la partie où elle est en inverse et fournit de façon sensiblement reproductible un courant de fuite. Il faut donc utiliser une diode dont on maîtrise sensiblement la tension de claquage inverse et dont cette tension n'est pas trop élevée.

Les interrupteurs I peuvent également être constitués d'éléments multi-couches du type NIN ou PIP.

La figure 10 représente un mode de réalisation du circuit d'adressage des lignes 2 qui est représenté sur les figures 1, 4 et 5.

Ce circuit comporte un registre à décalage logique 11, piloté par au moins une horloge H. Dans l'exemple de la figure 10, ce registre comporte six sorties R_1 à R_6. Des transistors I_1 à I_5 sont commandés par les sorties R_1 à R_5 et reliés entre une tension V_1 et une sortie du circuit d'adressage S_1 à S_5. Entre chaque sortie du

circuit et une tension V_{com}, on connecte une résistance de rappel R_{O1} à R_{O5} qui impose la tension V_{com} sur les sorties du circuit reliées à des lignes qui ne sont pas lues.

La figure 11 est un chronogramme concernant le dispositif de la figure 10.

La figure 11a concerne l'éclairement signal. On a représenté de façon symbolique le signal lumineux à analyser $h\nu_S$ qui est appliqué entre les instants t_3 et t_4.

De la même façon sur la figure 11b, on a indiqué que l'éclairement de remise à zéro $h\nu_{RAZ}$ est appliqué entre les instants t_{11} et t_{12}.

Sur la figure 11c, on a représenté le signal V_{com}. Cette tension V_{com} est constituée par les différentes tensions à appliquer aux lignes lorsqu'on ne les lit pas.

On voit sur la figure 11c que la tension V_{com} comporte une impulsion de tension V_{p1} de t_1 à t_2, et une tension égale à $2V_C$ de t_4 à t_6. Pendant le reste du temps, la tension V_{com} est à zéro, c'est à dire à la masse.

Sur la figure 11d, on a représenté le signal d'horloge H du registre à décalage 11 de la figure 10.

Les figures 11e, f et g montrent que chaque impulsion d'horloge du signal H provoque le passage au niveau haut d'une sortie du registre. Sur ces figures, les sorties R_1, R_2... puis ensuite la sortie R_5 passent au niveau haut.

La figure 11h montre le signal V_1. Ce signal V_1 est constitué par les différentes tensions à appliquer à une ligne pour la lire. Ce signal V_1 est au niveau O, et alors que l'une des sorties du registre R_1, R_2...R_5 passe au niveau haut, le signal V_1 génère une impulsion de tension V_{P2}.

Sur la figure 11i, on a représenté les tensions sur la sortie S_1 qui commande la ligne L_1 du dispositif.

Tant que le signal R_1 n'est pas au niveau haut, le transistor I_1 est bloqué et la résistance de rappel impose la tension V_{com} sur la sortie S_1. On voit sur la figure 11i que tant que le signal R_1 est au

niveau bas, la tension V_{com} est imposée sur la sortie S_1. Lorsque le signal R_1 est au niveau haut, la tension V_1 se retrouve sur la sortie S_1.

Pour accélérer le retour à V_{com} des lignes lorsque leur lecture est terminée, on a disposé dans le mode de réalisation de la figure 10 un transistor J_1 à J_5 en parallèle sur les résistances de rappel. Les transistors J_1 à J_5 sont du même type que les transistors I_1 à I_5 mais ils sont commandés par la sortie suivante du registre.

Ainsi le transistor J_1 est commandé par la sortie R_2, le transistor J_2 est commandé par la sortie R_3...

Lorsque la sortie R_1 est au niveau haut, la tension V_1 se retrouve sur la sortie S_1 et le transistor J_1 est bloqué.

Lorsque la sortie R_1 passe au niveau bas, la sortie R_2 passe au niveau haut et rend passant le transistor J_1, la tension V_{com} se retrouve sur la sortie S_1.

On peut aussi utiliser des transistors I_1 à I_5 et J_1 à J_5 du même type, mais en faisant commander les transistors J_1 à J_5 par les sorties complémentaires du registre. Ainsi, le transistor I_1 est commandé par la sortie R_1 et le transistor J_1 par la sortie complémentaire $\overline{R}_1$ et ainsi de suite.

On peut aussi utiliser des transistors I_1 à I_5 et J_1 à J_5 qui sont complémentaires. Dans ce cas, les transistors I_1 et J_1 sont commandés par la même sortie du registre, de même pour les transistors I_2 et J_2... Ainsi, par exemple, le transistor I_1, est passant, alors que le transistor J_1 est bloqué.

Les transistors utilisés peuvent être des transistors MOS ou des TFT par exemple.

La figure 11j représente le signal de commande des interrupteurs i assurant la remise à zéro lorsqu'il est à l'état haut des capacités C' reliées aux amplificateurs opérationnels 4.

Le pilotage de ces interrupteurs i est synchrone de celui du circuit d'adressage.

Il y a remise à zéro pendant les impulsion de tension V_{P1} de façon que les colonnes soient bien à tension nulle. Il y a aussi remise

à zéro pendant les éclairements de signal et de remise à zéro pour éviter de saturer les intégrateurs.

Sur la figure 11j, les interrupteurs i sont ouverts de façon à réaliser la somme $Q_6 + Q_7 + Q_8$.

Les tensions délivrées par le circuit d'adressage sont définies à une constante près du fait de la capacité G qui fait partie de chaque élément photosensible. On peut donc choisir librement la tension de polarisation moyenne de chaque élément photosensible. Cela peut être intéressant lorsque des charges d'isolants liées à cette tension moyenne apparaissent.

Dans la description des figures 1, 2, 5 et 6 on a expliqué qu'il y a accumulation au point B du courant d'obscurité I_{OBS2} des photodiodes, pendant les phases 5 et 9. Ceci se produit pour toutes les lignes que l'on n'est pas en train de lire.

Le potentiel du point B décroît avec une pente égale à I_{OBS2}/C_D à partir de $+ V_C$ dans le cas d'un interrupteur constitué par deux diodes montées tête-bêche. La charge maximale que peut stocker le point B est égale à $2V_C \ C_D$, après quoi le point B se trouve à $- V_C$ et l'interrupteur I est fermé.

Lorsque la charge d'obscurité à stocker est supérieure à $2V_C \cdot C_D$ ou bien dans le cas où le courant d'obscurité des diodes d_1 et d_2 ne peut être négligé lorsqu'on approche leur polarisation de + ou $- V_C$, on va augmenter la charge maximale qui peut être compensée au point B en modifiant la polarisation du point B pendant les phases 5 et 9.

Lors des phases 5 et 9, le potentiel du point B décroît avec une pente égale à I_{OBS2}/ C_D - voir les figures 2d et 6d. Pour compenser cette décroissance, on va appliquer pendant les phases 5 et 9 des tensions de commande qui vont porter le point B à une tension nulle en moyenne. En particulier, on va appliquer des tensions de commande qui vont croître avec une pente égale à I_{OBS2}/C_D.

Les figures 10 à 11a à j concernent un mode de réalisation du circuit d'adressage et son chronogramme.

Les figures 12a à h représentent un chronogramme modifié de

façon à augmenter la charge d'obscurité à stocker.

Les figures 12a et b sont identiques aux figures 11a et b. Sur la figure 12c, on a représenté le signal V_{com} qui diffère de celui de la figure 11c car entre les instants t_4 et t_6 la tension n'est pas en permanence à $2V_C$.

Entre les instants t_4 et t_6, la tension V_{com} est constituée par une rampe croissante de pente I_{OBS2} moyen / C_D, I_{OBS2} moyen étant une valeur moyenne du courant I_{OBS2}. Cette rampe part de $+V_C$ à l'instant t_4 de façon à porter le point B à zéro à l'instant t_4. En effet sur la figure 6d, on voit que le point B est à $-V_c$ à l'instant t_4.

La figure 12d est semblable à la figure 11d, mais la figure 12e qui représente le signal V_1 diffère de la figure 11h car entre deux impulsions de tension V_{P2} la tension ne revient pas à zéro. Les impulsions de tension V_{P2} sont portées par une rampe qui part de zéro à l'instant t_4 puis croît avec une pente égale à I_{OBS2} moyen / C_D.

Il est indifférent que le niveau haut des impulsions soit constant à V_{P2} comme sur la figure 12e ou suive une pente égale à I_{OBS2} moyen / C_D.

Sur la figure 12f, on a représenté le signal de la sortie S_2 du circuit d'adressage de la figure 10.

Entre les instants t_6 et t_9, le signal V_1 se retrouve sur la sortie S_2. A l'instant t_9, le signal V_{com} est à nouveau appliqué sur la sortie S_2. L'utilisation d'un signal V_1 tel que celui de la figure 12e permet de diminuer le décalage lorsqu'on passe de la tension V_1 à la tension V_{com}. Or la tension V_{com} est calculée pour que le point B soit proche de zéro.

Le signal V_1 est superposé à une rampe qui part de O alors que le signal V_{com} est superposé à une rampe qui part de V_c pour qu'il y ait un décalage de tension à t_9 permettant le retour du point B de $-V_C$ à zéro.

Les figures 12g et 12h représentent les tensions V_A et V_B en deux points A et B de la ligne commandée par la sortie S_2.

Quelque soit le mode de réalisation choisi pour le circuit d'adressage et le circuit de lecture et de multiplexage, on est généralement amené à utiliser des signaux V_{com}, à appliquer aux lignes lorsqu'on ne les lit pas et V_1 à appliquer à une ligne pour la lire.

En conséquence, pour augmenter la charge d'obscurité qui peut être stockée un point B, lors de la lecture des éléments photosensibles ligne après ligne, les tensions V_{com} et V_1 sont portées par une rampe croissante de pente égale à I_{OBS2} moyen / C_D, où I_{OBS2} moyen est une valeur moyenne du courant d'obscurité des photodiodes, de façon à porter le point B à une tension nulle en moyenne.

On a vu dans la description des figures 1 et 2 un mode de réalisation du circuit de lecture et de multiplexage 3.

La figure 13 représente un mode de réalisation dans lequel les entrées négatives des amplificateurs sont reliées par l'intermédiaire d'une capacité C" à un générateur G fournissant un signal de compensation qui permet d'ajuster la tension moyenne en sortie des amplificateurs 4.

Dans un mode de réalisation du circuit de lecture et de multiplexage 3, on utilise ce circuit pour générer les différentes tensions à appliquer aux lignes qui ne sont pas lues . On appelle V_{com} cette tension représentée sur la figure 11c. Ce signal V_{com} est appliqué à l'entrée positive des amplificateurs 4. On sait que ces amplificateurs recopient sur leur entrée négative la tension existant sur leur entrée positive. Dans ce mode de réalisation le circuit d'adressage, fournit une tension constante, qui peut être égale à la masse, excepté pendant les intervalles de temps où il fournit les tensions à appliquer aux lignes à lire. Dans les modes de réalisation du circuit d'adressage des figures 10 et 11, il faut alors remplacer la tension V_{com} par une tension constante qui peut être la masse du dispositif.

La figure 14 représente un mode de réalisation particulier du circuit d'adressage et de multiplexage 3. La figure 15 représente le chronogramme du dispositif de la figure 14.

Ce mode de réalisation permet de supprimer l'utilisation des amplificateurs opérationnels qui sont encombrants et consomment beaucoup de courant.

Dans ce mode de réalisation, le circuit de lecture et de multiplexage comporte :

- un transistor MOS T_c relié entre une colonne C_1, C_2, C_3 et une entrée du multiplexeur 5. Les grilles de ces transistors reçoivent une tension de commande V_{G1} ;
- un transistor MOS T_R relié entre une tension constante qui peut être la masse du dispositif et une colonne. Les grilles de ces transistors reçoivent une tension de commande V_{GO} ;
- une capacité de stockage C_{ST} reliée entre chaque entrée du multiplexeur et une tension constante qui peut être la masse.

Sur les figures 15a à h, on a représenté une série d'éléments du dispositif de la figure 14, c'est-à-dire un transistor T_R, puis un transistor T_c et une capacité C_{ST}. Au point commun entre les transistors T_R et T_C, on a représenté une colonne C_1 reliée à un élément photosensible du type de la figure 5. Les transistors MOS utilisés sont, à titre d'exemple, à canal N. La capacité C_{ST} est, à titre d'exemple, une capacité MOS. Les figures 15b à h représentent l'évolution au cours du temps du potentiel de surface dans le substrat. Les conventions utilisées sont celles des dispositifs à transfert de charge. En particulier, les potentiels de surface croissants sont dirigés vers le bas.

En dehors des phases de lecture du dispositif, c'est-à-dire pendant les phases 1, 2, 3, 4, 10, 11, 12, on impose sur les colonne une tension constante, qui est la masse dans l'exemple de la figure 14, en rendant passants en agissant sur leur tension de commande V_{GO} les transistors T_R.

Cette étape est représentée sur la figure 15b.

Avant de commencer la lecture d'une ligne du dispositif, on bloque les transistors T_R - voir figure 15c. On évacue les charges

en surplus sur les colonnes - voir figure 15d - en augmentant la tension appliquée aux grilles des transistors T_c.Le potentiel des colonnes est fixé à une valeur V_{clamp} proche de la tension V_{G1} appliquée aux grilles des transistors T_C - voir figure 15e -

Pendant la lecture du dispositif, il y a successivement injection puis pompage de charges sur les colonnes.

Selon les divers modes de réalisation du dispositif selon l'invention, il peut y avoir lorsqu'on lit les colonnes , soit un potentiel égal à V_{clamp} auquel cas la charge transférée sur la capacité de stockage C_{ST} est la bonne, soit un potentiel supérieur à V_{clamp} - voir figure 15f.

On transfère sur chaque capacité C_{ST} une quantité de charges Q_o. Ce transfert peut avoir lieu avant ou après que les charges à lire arrivent sur les colonnes.

Une fois la ligne lue, on transfère les charges stockées sous chaque capacité de stockage C_{ST} vers les colonnes, puis on évacue les éventuelles charges en surplus vers les capacités de stockage - voir figure 15h.

Ainsi dans les cas ou il y a un déficit de charges $Q_{déf}$ sur les colonnes et un excédent de charges Q_{ex} sur les capacités de stockage on comble le déficit et on obtient sur les capacités de stockage la quantité de charges Q qui contient l'information.

La quantité de charges Q_o sert à mettre en oeuvre la technique dite de "fill and spill" qui est utilisée et sert aussi de charge d'entraînement.

REVENDICATIONS

1. Dispositif photosensible comportant ;

- un réseau de connexions horizontales ou lignes (L_P, L_{P+1}) et un réseau de connexions verticales ou colonnes (C_1, C_2) qui se croisent ;

- un élément photosensible qui relie chaque ligne et chaque colonne qui se croisent ;

- un circuit d'adressage (2) dont les sorties sont reliées aux lignes ;

- un circuit de lecture et de multiplexage (3) dont les entrées sont reliées aux colonnes ;

caractérisé en ce que :

1°) - chaque élément photosensible est constitué par la mise en série d'une capacité (G), d'une photodiode (D) et d'un interrupteur électronique (I);

2°) - l'un des réseaux de connexions du dispositif reçoit, périodiquement, des impulsions de tension V_{P1} qui font passer toutes les photodiodes du dispositif à l'état direct puis à l'état inverse, les interrupteurs étant fermés, alors que l'autre réseau est porté à un potentiel constant ;

3°) - entre deux impulsions de tension V_{P1} successives :

- le signal lumineux à lire est appliqué au dispositif ;

- tous les interrupteurs sont ouverts ;

- on lit les éléments photosensibles reliés à chaque ligne du dispositif et pour cela, on ferme les interrupteurs des éléments photosensibles d'une ligne sélectionnée et le circuit d'adressage (2) envoie sur cette ligne une impulsion de tension, V_{P2} qui fait passer les photodiodes de cette ligne à l'état direct puis à l'état inverse, l'amplitude de l'impulsion de tension V_{P2} étant supérieure à celle de l'impulsion de tension V_{P1}, puis le circuit de lecture et de multiplexage (3) assure la lecture de chaque photodiode de la ligne sélectionnée en sommant les charges qui circulent en commençant avant que les interrupteurs de la ligne sélectionnée soient fermés et au

moins jusqu'à ce que l'impulsion V_{P2} soit appliquée à la ligne sélectionnée, on ouvre ensuite les interrupteurs des éléments photosensibles de la ligne lue et on lit les éléments photosensibles reliés à une autre ligne du dispositif, et ainsi de suite jusqu'à ce que tout le dispositif soit lu ;

- on remet à zéro les photodiodes et on ferme les interrupteurs au moins avant l'impulsion de tension V_{P1} suivante.

2. Dispositif selon la revendication 1 caractérisé en ce que la valeur de la capacité C_G faisant partie de l'élément photosensible est supérieure à la valeur de la capacité de la photodiode C_D.

3. Dispositif selon la revendication 2, caractérisé en ce que la relation suivante est vérifié : $G_G = 10.C_D$.

4. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que chaque interrupteur électronique (I) est constitué de deux diodes d_1, d_2, disposées tête-bêche et en ce que ces interrupteurs sont commandés en modulant le potentiel des lignes de $2V_c$ par l'intermédiaire du circuit d'adressage, V_c étant la tension de seuil des diodes d_1, d_2.

5. Dispositif selon la revendication 4, caractérisé en ce que la valeur de la capacité C_D faisant partie de l'élément photosensible est très supérieure à la somme des capacités $C_{d1} + C_{d2}$ des deux diodes d_1, d_2 disposées tête-bêche.

6. Dispositif selon la revendication 5, caractérisé en ce que la relation suivante est vérifiée :

$$C_D = 50\ (C_{d1} + C_{d2}).$$

7. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que chaque interrupteur électronique (I) est constitué par un transistor et en ce que ces interrupteurs sont commandés par l'intermédiaire d'un réseau supplémentaire de connexions horizontales (L'_P, L'_{P+1}) reliées à des sorties supplémentaires du circuit d'adressage.

8. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que chaque interrupteur électronique (I) est constitué par une seule diode.

9. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que chaque interrupteur électronique (I) est constitué par un élément multi-couche du type NIN ou du type PIP.

10. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que tous les interrupteurs (I) sont fermés entre les instants correspondant à la dernière ligne lue (t_{10}) et à l'ouverture de tous les interrupteurs (t_4) avant la lecture de la première ligne du cycle d'imagerie suivant.

11. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que la remise à zéro des photodiodes se fait en les éclairant pour les faire fuir et provoquer la circulation d'une quantité de charge Q_{11} suffisante pour que la relation suivante soit vérifiée :

$$|\text{Somme des charges ayant circulé après lecture de toutes les lignes}| \geqslant |C_G \cdot (V_{P2} - V_{P1})| .$$

12. Dispositif selon l'une des revendication 1 à 10, caractérisé en ce que la remise à zéro des photodiodes (D) se fait en appliquant aux lignes une impulsion de tension qui pousse les photodiodes en inverse au-delà de leur tension de claquage, tout en restant dans les limites du claquage réversible, de façon à provoquer la circulation d'une quantité de charge suffisante Q_{11} pour que la relation suivante soit vérifiée :

$$|\text{Somme des charges ayant circulé après lecture de toutes les lignes}| \geqslant |C_G \cdot (V_{P2} - V_{P1})|$$

13. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 12, caractérisé en ce que les photodiodes (D) sont du type PIN, PN ou Schottky.

14. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 13, caractérisé en ce qu'il est utilisé pour la détection de rayons X et en ce qu'un scintillateur est utilisé pour convertir le rayonnement X en rayonnement visible.

15. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 13, caractérisé en ce qu'il est utilisé pour la détection de rayons X et en ce que les photodiodes sont réalisées sur un substrat semiconducteur dont l'épaisseur est suffisante pour assurer la détection directe des

rayons X.

16. Dispositif selon l'une des revendications 4 à 6, caractérisé en ce que lors de sa réalisation technologique, on adjoint en parallèle sur chaque élément photosensible, entre chaque ligne et chaque colonne qui se croisent, une capacité (G') en série avec une diode (D').

17. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 16, caractérisé en ce que le circuit d'adressage comporte :

- un registre à décalages logique (11) piloté par au moins une horloge (H);

- une première série de transistors (I_1 à I_5) commandés par les sorties (R_1 à R_S) du registre (11) et reliés entre une tension V_1 et une sortie de circuit d'adressage (S_1 à S_5), cette tension V_1 étant constituée par les différentes tensions à appliquer à une ligne pour la lire ;

- une série de résistances de rappel (R_{O1} à R_{O5}) connectées entre chaque sortie (S_1 à S_5) du circuit (2) et une tension V_{com}, cette tension V_{com} étant constituée par les différentes tensions à appliquer aux lignes lorsqu'on ne les lit pas .

18. Dispositif selon la revendication 17, caractérisé en ce qu'il comporte :

- une seconde série de transistors (J_1 à J_5) commandés par les sorties (R_1 à R_6) du registre (11) et placés en parallèle sur les résistances de rappel, (R_{O1} à R_{O5}) de façon à accélérer le retour à la tension V_{com} des lignes lorsque leur lecture est terminée.

19. Dispositif selon la revendication 18, caractérisé en ce que les transistors de la première et de la seconde série (I_1 à I_5, J_1 à J_5) sont des transistors de même type et en ce que chaque couple de transistors appartenant à la première et à la seconde série qui commandent une même sortie du circuit d'adressage sont respectivement commandés par une sortie du registre et par la sortie suivante.

20. Dispositif selon la revendication 18, caractérisé en ce que les transistors de la première et de la seconde série sont des transistors de même type (I_1 à I_5, J_1 à J_5) et en ce que chaque

couple de transistors appartenant à la première et à la seconde série qui commandent une même sortie (S_1 à S_5) du circuit d'adressage (2) sont respectivement commandés par une sortie du registre (R_1 à R_6) et par sa sortie complémentaire ($\bar{R}_1$ à $\bar{R}_6$).

21. Dispositif selon la revendication 18, caractérisé en ce que les transistors de la première et de la seconde série (I_1 à I_5, J_1 à J_5) sont des transistors complémentaires et en ce que chaque couple de transistors appartenant à la première et à la seconde série qui commandent une même sortie (S_1 à S_5) du circuit d'adressage (2) sont commandés par la même sortie (R_1 à R_5) du registre (11).

22. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 21, caractérisé en ce que le circuit de lecture et de multiplexage (3) comporte un amplificateur opérationnel (4) monté en intégrateur qui est relié à chaque colonne (C_1, C_2) du dispositif, une capacité (C') étant reliée entre l'entrée négative et la sortie de l'amplificateur dont l'entrée positive est à la masse et un interrupteur électronique (i) étant monté en parallèle sur chaque capacité, les sorties des amplificateurs étant reliés aux entrées d'un multiplexeur dont la sortie fournit le signal de sortie du dispositif et en ce que les interrupteurs sont ouverts pour assurer la lecture des éléments photosensibles d'une ligne sélectionnée puis les interrupteurs sont fermés pour remettre les capacités à zéro avant la lecture des éléments photosensibles d'une autre ligne.

23. Dispositif selon la revendication 22, caractérisé en ce que les entrées négatives des amplificateurs opérationnels sont reliées par l'intermédiaire d'une capacité (C') à un générateur (G) fournissant un signal de compensation, de façon à ajuster la tension moyenne en sortie des amplificateurs.

24. Dispositif selon l'une des revendications 22 et 23, modifié en ce que l'entrée positive des amplificateurs opérationnels (4) montés en intégrateur n'est plus à la masse mais reçoit une tension (V_{com}) constituée par les différentes tensions à appliquer aux lignes lorsqu'on ne les lit pas et selon l'une des revendications 17 à 21, modifié en ce que la tension V_{com} est une tension constante.

25. dispositif selon l'une des revendications 1 à 21, caractérisé en ce que le circuit de lecture et de multiplexage (3) comporte :

- un transistor MOS Tc relié entre chaque colonne et une entrée d'un multiplexeur ;

- un transistor MOS T_R relié entre une tension constante et une colonne ;

- une capacité de stockage C_{ST}, reliée entre chaque entrée du multiplexeur et une tension constante et en ce que :

- en dehors des instants où le dispositif est lu, on rend passants les transistors T_R de façon qu'il imposent une tension constante sur les colonnes ;

- avant de lire une ligne d'éléments photosensibles, on bloque les transistors T_R, et on évacue les charges en surplus sur les colonnes en modulant les grilles des transistors T_c, ensuite, on transfère sur chaque capacité C_{ST} une quantité de charges Q_o ;

- une fois la ligne lue, on transfère les charges se trouvant sur chaque capacité C_{ST} par dessus les grilles des transistors T_C vers les colonnes, puis on évacue les éventuelles charges en surplus sur les colonnes par dessus les grilles des transistors T_C vers les capacités C_{ST}.

26. Dispositif selon l'une des revendication 1 à 25, caractérisé en ce que le circuit de lecture et de multiplexage (3) assure la lecture de chaque photodiode (D) de la ligne sélectionnée en sommant les charges qui circulent en commençant avant que les interrupteurs de la ligne sélectionnée soient fermés (t_6), en poursuivant alors que l'impulsion V_{P2} est appliquée à la ligne sélectionnée, puis en terminant alors que l'impulsion revient à zéro ($Q_6 + Q_7 + Q_8$).

27. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 25, caractérisé en ce que le circuit de lecture et de multiplexage (3) assure la lecture de chaque photodiode (D) de la ligne sélectionnée en sommant les charges qui circulent en commençant avant que les interrupteurs de la ligne sélectionnée soient fermés et en terminant lorsque les interrupteurs sont ouverts ($Q_6 + Q_7 + Q_8 + Q_9$).

28. Dispositif selon la revendication 4, caractérisé en ce que les diodes d_1 et d_2 sont des diodes PIN.

29. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 28, caractérisé en ce que les photodiodes D sont du type PIN.

30. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 29, caractérisé en ce qu'il reçoit :

- une tension V_1 constituée par les différentes tensions à appliquer à une ligne pour la lire ;

- une tension V_{com} constituée par les différentes tensions à appliquer aux lignes lorsqu'on ne les lit pas ;

- et en ce que lors de la lecture des éléments photosensibles ligne après ligne, les tensions V_{com} et V_1 sont portées par une rampe croissante de pente égale à I_{OBS2} moyen / C_D, où I_{OBS2} moyen est une valeur moyenne du courant d'obscurité des photodiodes, de façon à porter le point B à une tension nulle en moyenne.

FIG_1

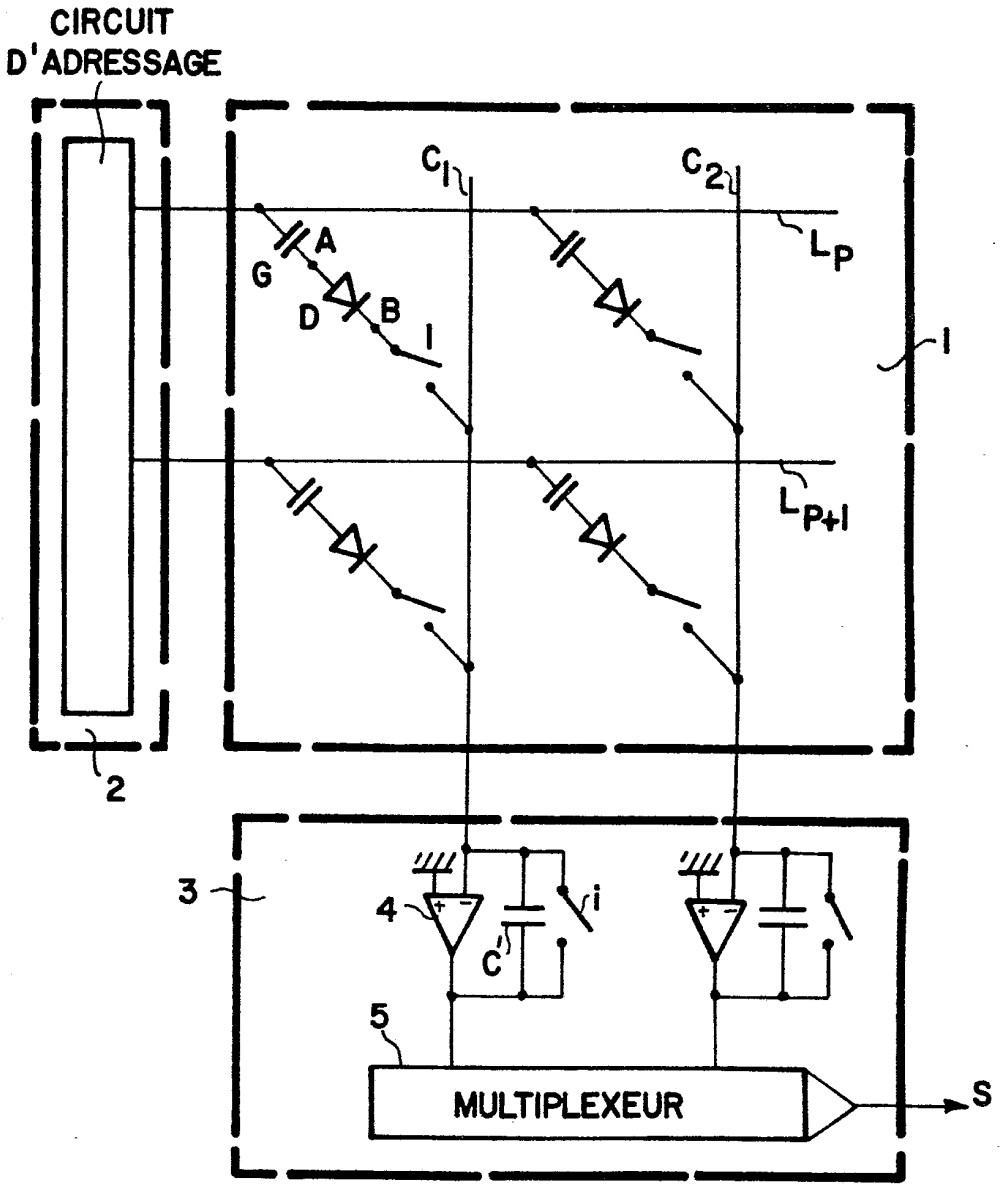

CIRCUIT
D'ADRESSAGE
C1
C2
A
G
D
B
I
LP
LP+I
1
2
3
4
i
C'
5
MULTIPLEXEUR
S

FIG_2

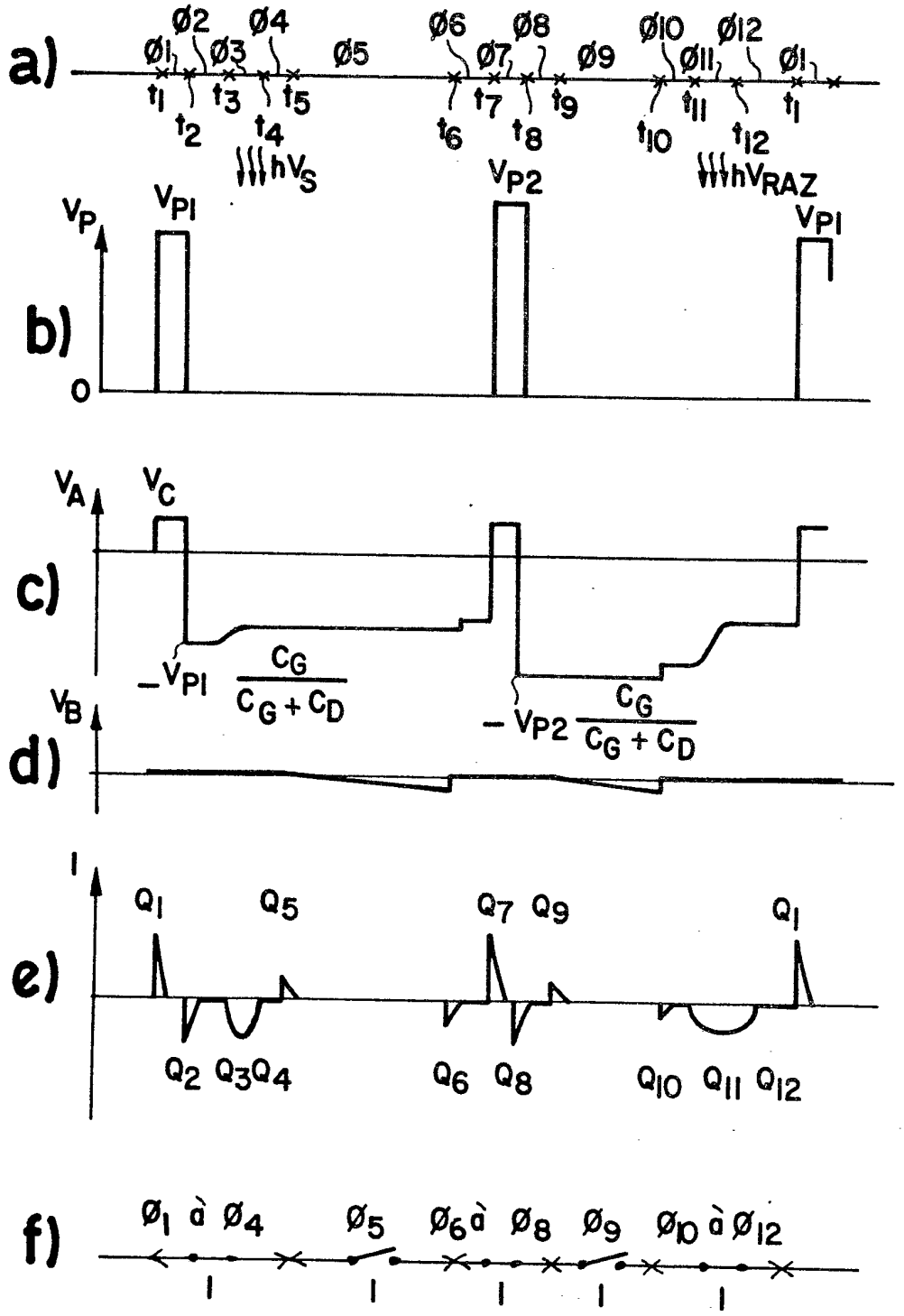
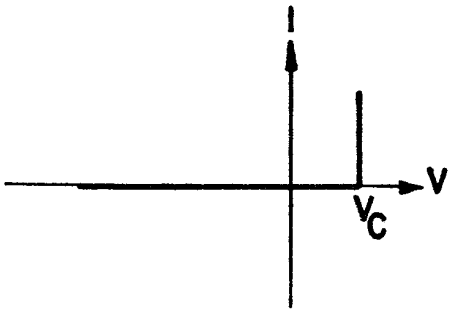
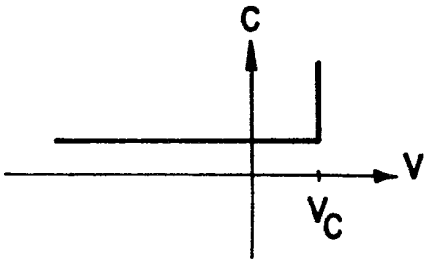

a)
Ø1 Ø2 Ø3 Ø4 Ø5 Ø6 Ø7 Ø8 Ø9 Ø10 Ø11 Ø12 Ø1
t1 t2 t3 t4 t5 t6 t7 t8 t9 t10 t11 t12 t1
hVS
hVRAZ
b)
VP
VP1
VP2
VP1
0
c)
VA
VC
−VP1 CG / CG + CD
−VP2 CG / CG + CD
d)
VB
e)
I
Q1 Q5 Q7 Q9 Q1
Q2 Q3 Q4 Q6 Q8 Q10 Q11 Q12
f)
Ø1 à Ø4 Ø5 Ø6 à Ø8 Ø9 Ø10 à Ø12
1 1 1 1 1

FIG_3

a)



b)



c)

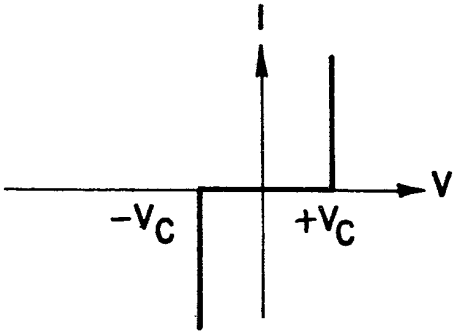


FIG_4

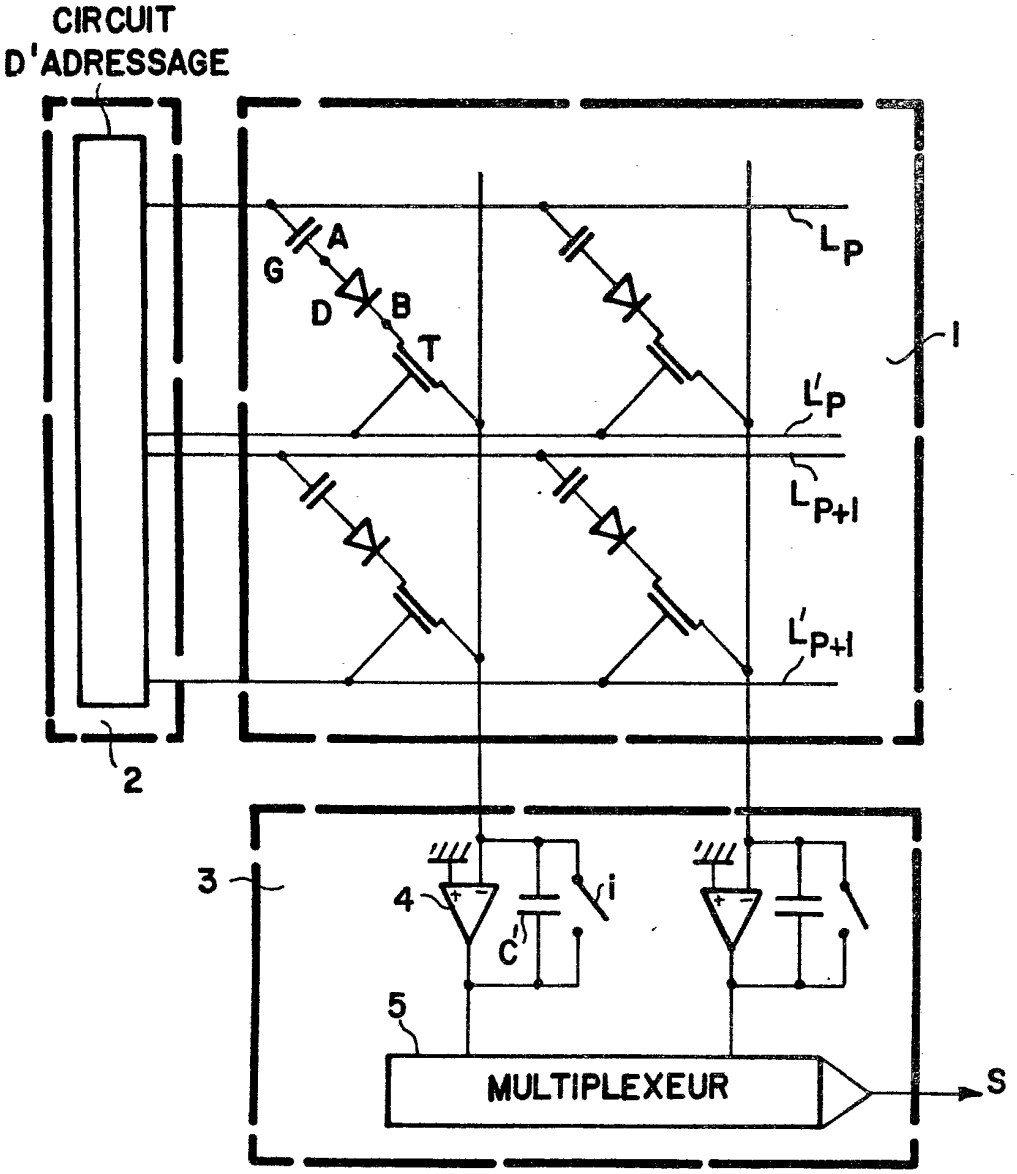

CIRCUIT
D'ADRESSAGE
A
G
D
B
T
L_P
L'_P
L_{P+1}
L'_{P+1}
1
2
3
4
i
C'
5
MULTIPLEXEUR
S

FIG_5

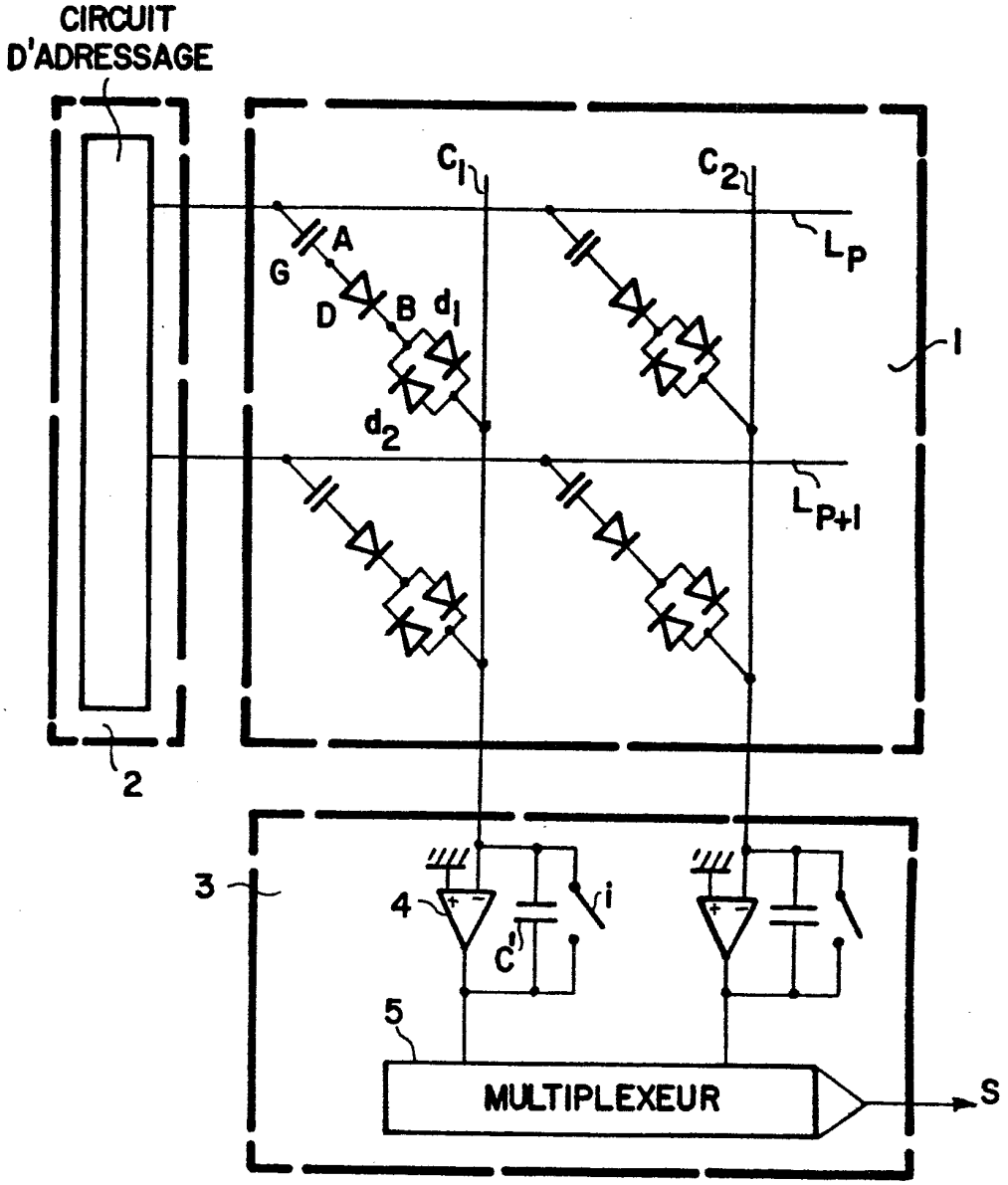

CIRCUIT
D'ADRESSAGE
C1
C2
A
G
D
B
d1
d2
LP
LP+1
1
2
3
4
C'
i
5
MULTIPLEXEUR
S

FIG_6

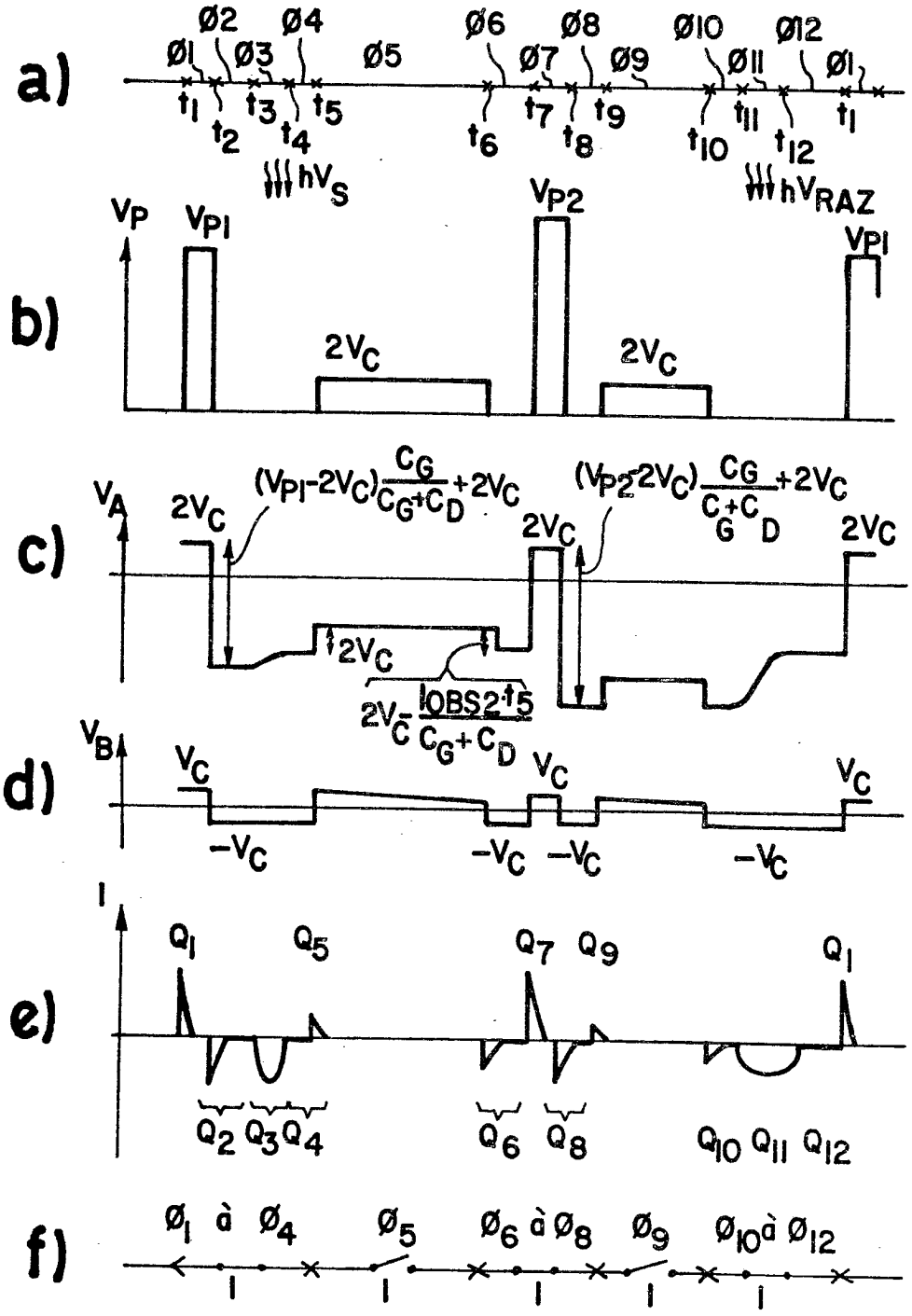

a)
Ø1 Ø2 Ø3 Ø4 Ø5 Ø6 Ø7 Ø8 Ø9 Ø10 Ø11 Ø12 Ø1
t1 t2 t3 t4 t5 t6 t7 t8 t9 t10 t11 t12 t1
hVS
hVRAZ
b)
VP VP1 2VC VP2 2VC VP1
c)
VA
2VC
(VP1-2VC) CG/(CG+CD) +2VC
2VC
(VP2-2VC) CG/(CG+CD) +2VC
2VC
2VC
2VC - IOBS2 t5/(CG+CD)
d)
VB
VC
-VC
-VC
-VC
VC
-VC
VC
e)
I
Q1 Q5 Q7 Q9 Q1
Q2 Q3 Q4 Q6 Q8 Q10 Q11 Q12
f)
Ø1 à Ø4 Ø5 Ø6 à Ø8 Ø9 Ø10 à Ø12

FIG_7

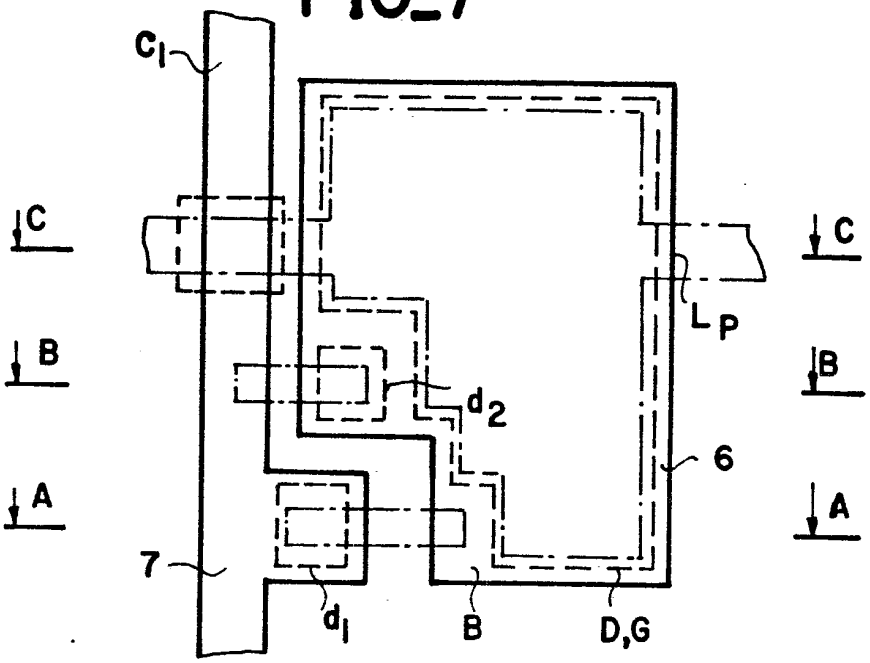

C1
C
B
A
7
d1
B
D,G
d2
6
LP
C
B
A

FIG_8

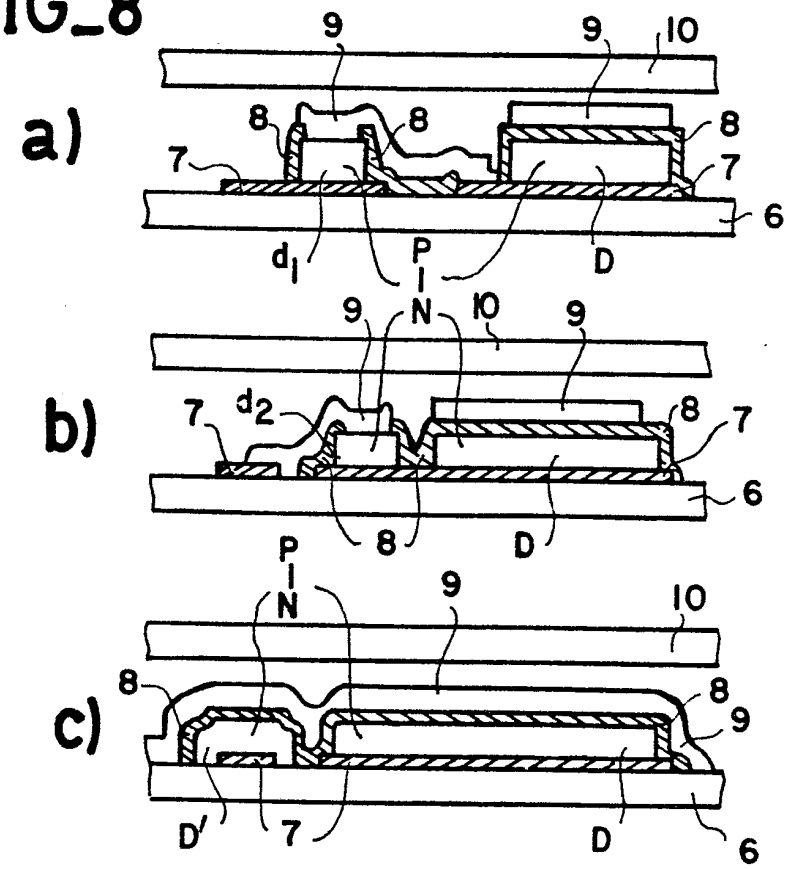
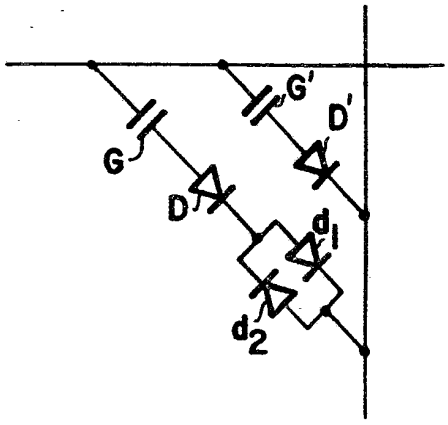

a)
9
9
10
8
8
8
7
7
6
d1
P
I
D
b)
9
N
10
9
7
d2
8
7
6
8
D
c)
P
I
N
9
10
8
8
9
D'
7
D
6

FIG_9


G
G'
D
D'
d1
d2

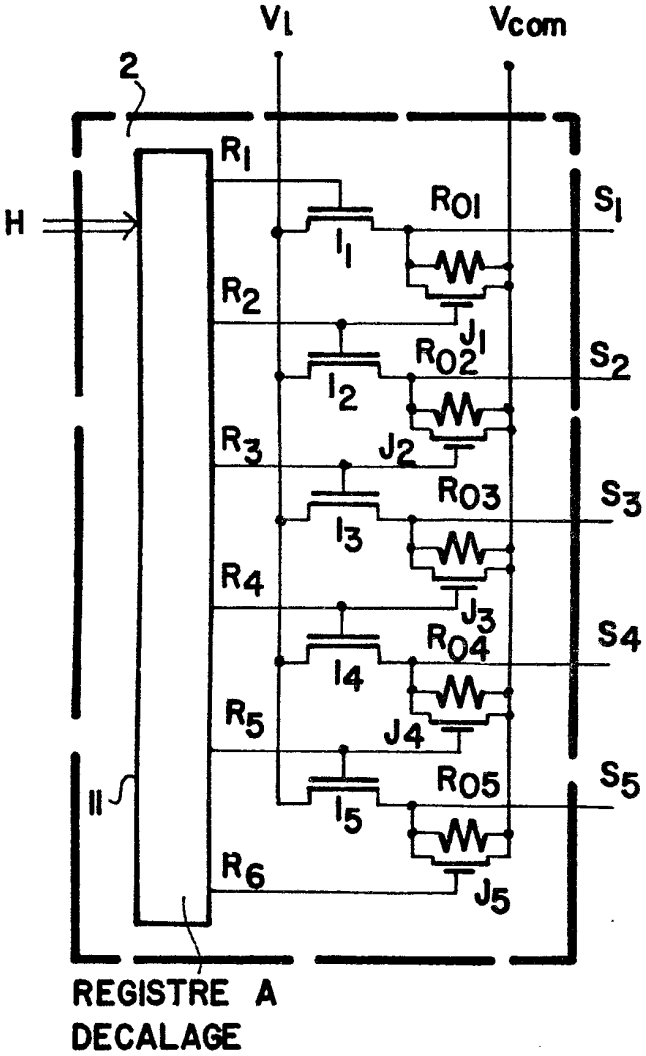

V1
Vcom
2
H
R1
R2
R3
R4
R5
R6
R01
R02
R03
R04
R05
S1
S2
S3
S4
S5
I1
I2
I3
I4
I5
J1
J2
J3
J4
J5
11
REGISTRE A
DECALAGE

FIG_10

FIG_11

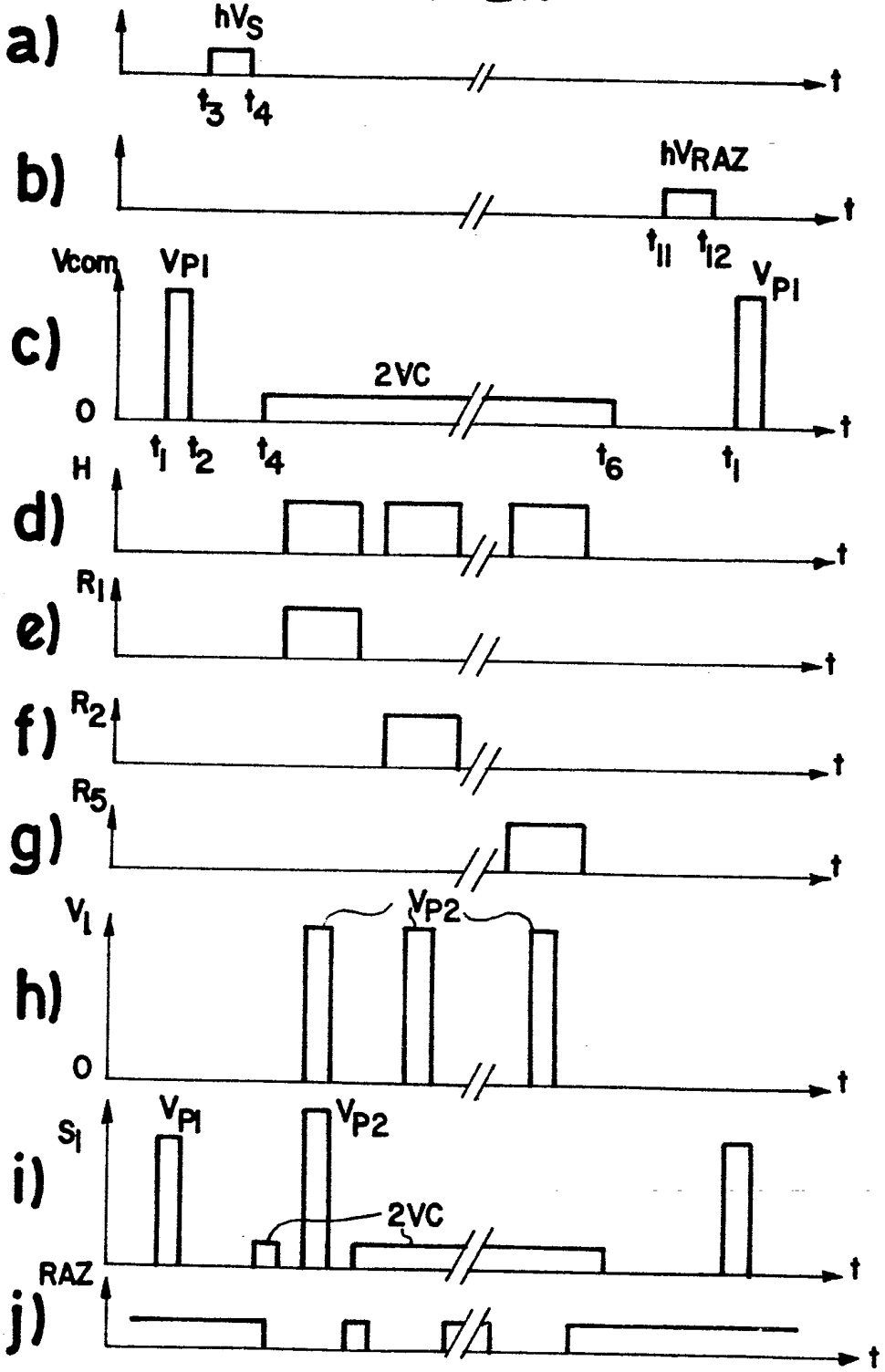

a)
hVS
t3 t4
t
b)
hVRAZ
t11 t12
t
c)
Vcom
VP1
VP1
2VC
0
t1 t2 t4 t6 t1
t
d)
H
t
e)
R1
t
f)
R2
t
g)
R5
t
h)
V1
VP2
0
t
i)
S1
VP1
VP2
2VC
t
j)
RAZ
t

FIG_12

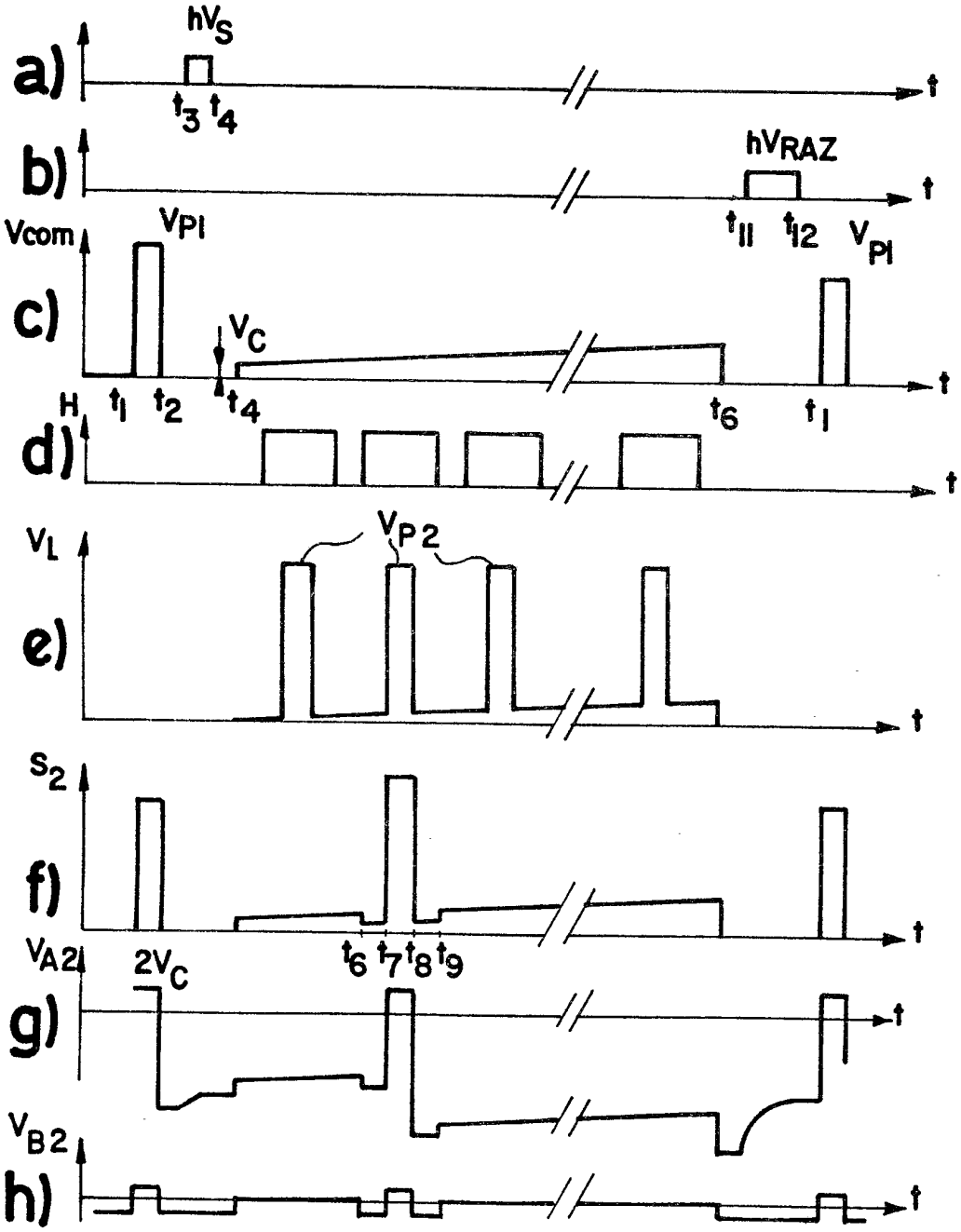

a)
hVS
t3 t4
t
b)
hVRAZ
t11 t12
t
Vcom
VP1
c)
VC
t1 t2 t4
t6 t1
t
H
d)
t
VL
VP2
e)
t
S2
f)
t
VA2
2VC
t6 t7 t8 t9
g)
t
VB2
h)
t

FIG_13

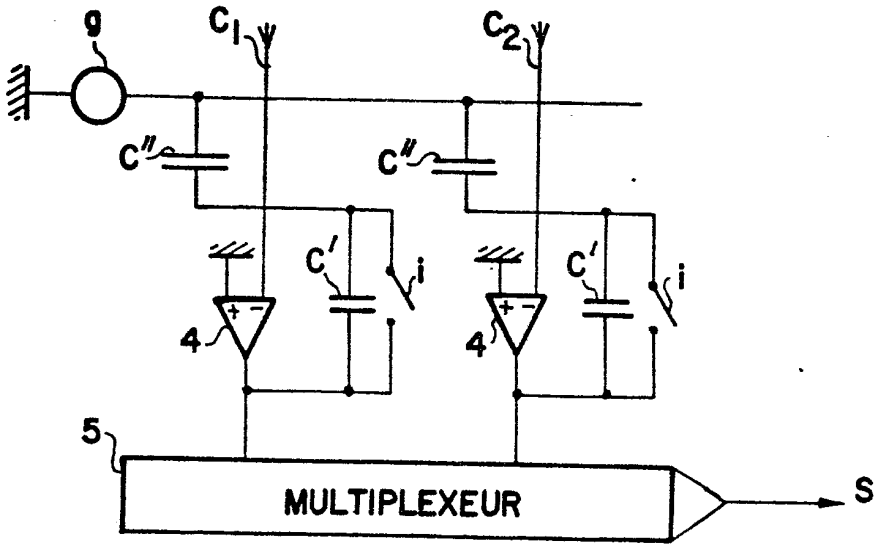

g
C1
C2
C''
C''
C'
C'
i
i
4
4
5
MULTIPLEXEUR
S

FIG_14

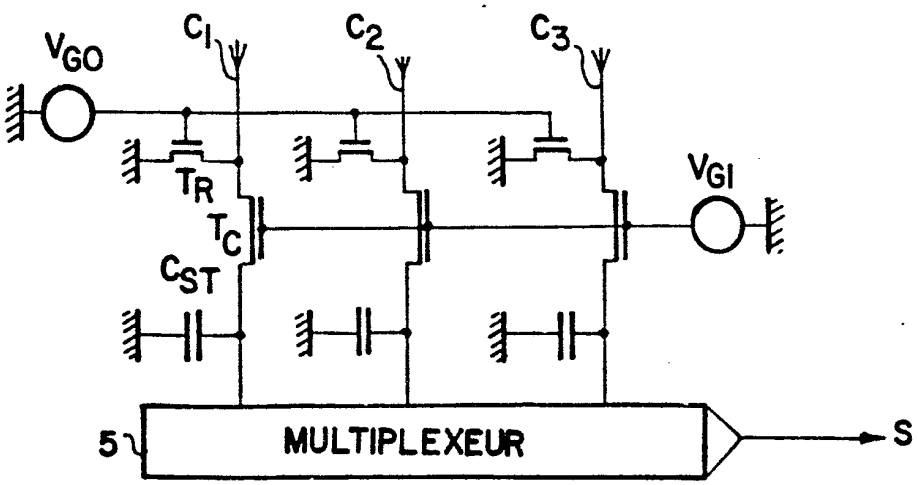
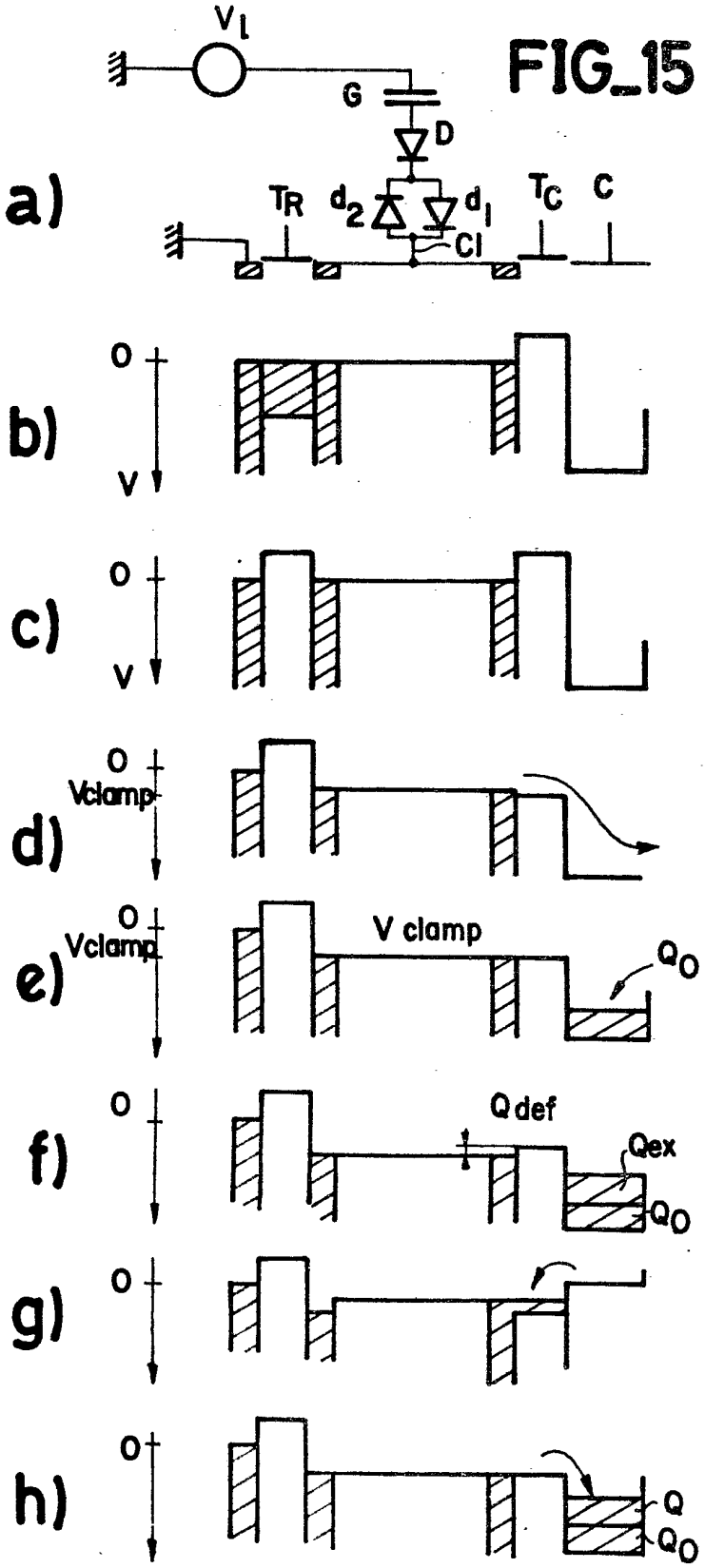

VGO
C1
C2
C3
TR
TC
CST
VGI
5
MULTIPLEXEUR
S

FIG_15


a)
V_L
G
D
T_R
d_2
d_1
Cl
T_C
C
b)
0
V
c)
0
V
d)
0
Vclamp
e)
0
Vclamp
V clamp
Q_O
f)
0
Q def
Qex
Q_O
g)
0
h)
0
Q
Q_O