

DISPOSITIF IMAGEUR A SEMICONDUCTEURS
COMPORTANT UN RESEAU DE PHOTODIODES

La présente invention concerne des dispositifs imageurs à semi-conducteurs, et elle concerne plus particulièrement un dispositif imageur à semi-conducteurs dont les caractéristiques sont affectées par la résistance du substrat, qui est capable d'uniformiser des points de fonctionnement de pixels au voisinage d'une polarisation égale à zéro.

La figure 5 est une vue en perspective montrant un dispositif imageur infrarouge de l'art antérieur. Sur la figure 5, la référence 1 désigne un réseau de photodiodes bidimensionnel, par un exemple un réseau de 128 x 128 pixels, qui effectue une conversion de lumière en électricité pour générer des charges de signal. Le réseau de photodiodes 1 est monté sur un dispositif à couplage de charges (ou CCD) au silicium, 2, et il est connecté électriquement à celui-ci, pour le transfert de charges de signal, par l'intermédiaire de plots en indium 3. Le réseau de photodiodes 1 reçoit de la lumière infrarouge 4.

La figure 6 est une coupe du dispositif imageur infrarouge qui est représenté sur la figure 5. Sur la figure 6, des références numériques identiques à celles de la figure 5 désignent des éléments identiques ou correspondants. Une couche en HgCdTe de type p, 12, est formée sur un substrat en CdTe, 11. Un ensemble de régions d'impuretés de type n, 13, sont formées à la surface de la couche en HgCdTe de type p, 12. Chaque région d'impuretés de type n, 13, constitue une région de pixel du réseau de photodiodes bidimensionnel 1. Une électrode du côté p, 5, qui est commune à tous les pixels du réseau de photodiodes, est formée sur la couche en HgCdTe de type p, 12, aux endroits auxquels les régions d'impuretés de type n, 13, ne sont pas présentes. Une pellicule isolante 101 recouvre la

couche en HgCdTe, 12, et l'électrode du côté p 5, et des ouvertures correspondant aux régions d'impuretés de type n, 13, sont formées à travers la pellicule isolante 101. Des électrodes du côté n, 6, pour les pixels, sont formées dans les ouvertures. Des régions de type n, 22, sont formées sur la surface du substrat en silicium de type p, 21, du dispositif à couplage de charges en silicium, 2, et face aux régions de pixels 13 du réseau de photodiodes 1. Les régions de type n, 22, sont utilisées à titre d'étage d'entrée du signal du dispositif à couplage de charges 2. Une pellicule isolante 102 ayant des ouvertures qui correspondent aux régions de type n, 22, recouvre le substrat en silicium 21, et des électrodes 7 sont formées dans les ouvertures. L'électrode du côté n, 6, de chaque pixel du réseau de photodiodes 1 est connectée à l'électrode en regard 7 dans l'étage d'entrée du dispositif à couplage de charges 2, par l'intermédiaire du plot en indium 3. L'électrode du côté p, 5, est connectée à la région de type p du dispositif à couplage de charges 2, par l'intermédiaire du plot en indium 3, et une tension de substrat (masse) du dispositif à couplage de charges 2 est appliquée à l'électrode du côté p, 5, par l'intermédiaire du plot de connexion 103 et de l'interconnexion en aluminium 104.

La figure 7 est un schéma qui représente un réseau de photodiodes bidimensionnel. On utilise un réseau de pixels de 3 x 3 pour simplifier la description. Sur la figure 7, l'électrode du côté p, 5, est commune à tous les pixels, et une électrode du côté n, 6, est formée en correspondance avec chaque pixel du réseau de photodiodes 1.

La figure 8 est un schéma montrant la structure du dispositif à couplage de charges 2, depuis l'étage d'entrée jusqu'au canal du dispositif à couplage de charges, et montrant également des potentiels dans des régions respectives. Ce dispositif à couplage de charges est un dispositif du type à stockage de charges, comportant une région de stockage de charges dans l'étage d'entrée. L'électrode du côté n de la photodiode 1 est connectée à la région de type n 22 du dispositif à couplage de charges. Une région d'étage d'entrée 25 est constituée par la région de type n, 22, et une région de porte d'entrée 26 est adjacente à la région d'étage d'entrée 25. Une région de stockage de charges 27 est adjacente à la région de porte d'entrée 26. Une région de porte de transfert 28 est ad-

jacente à la région de stockage de charges 27. Une région de canal de dispositif à couplage de charges 29 est adjacente à la région de porte de transfert 28. Une électrode de porte d'entrée 17 est disposée sur la région de porte d'entrée 26. La hauteur du potentiel de la région de porte d'entrée 26 dépend d'une tension continue V_G qui est appliquée à l'électrode de porte d'entrée 17, grâce à quoi on peut commander la quantité de charges qui sont transférées de la région d'étage d'entrée 25 vers la région de stockage 27. Une électrode 18 forme la région de stockage 27 et une tension déterminée V_T est appliquée à l'électrode 18. Une électrode de porte de transfert 19 est disposée sur la région de porte de transfert 28. On fait varier le potentiel de la région de porte de transfert 28 en appliquant un signal ϕ_T à l'électrode de porte de transfert 19, à des instants déterminés, grâce à quoi les charges qui sont stockées dans la région de stockage 27 sont transférées vers la région de canal de dispositif à couplage de charges 29. Une électrode de transfert 20 est formée sur la région de canal de dispositif à couplage de charges 29, et un signal ϕ_{CCD} est appliqué à l'électrode de transfert 20 à des instants déterminés, grâce à quoi les charges présentes dans la région de canal de dispositif à couplage de charges 29 sont transférées successivement par les canaux de dispositif à couplage de charges.

La figure 9 est un schéma de circuit électrique du réseau de photodiodes 1 qui est représenté sur la figure 5. Sur la figure 9, la référence 9 désigne un pixel qui se trouve au centre du réseau de photodiodes 1, et la référence 8 désigne des pixels qui entourent le pixel 9. La référence 10 désigne des résistances de substrat (r , R) entre ces pixels. La figure 10 montre des caractéristiques I-V des pixels.

On va maintenant décrire le fonctionnement. L'électrode du côté p, 5, qui est commune à tous les pixels, est formée autour des pixels et elle est connectée électriquement à la tension de substrat (masse) du dispositif à couplage de charges en silicium 2, tandis que les électrodes du côté n, 6, sont connectées électriquement au dispositif à couplage de charges en silicium 2 par l'intermédiaire des plots en In, 3. La lumière infrarouge 4 qui tombe sur le réseau de photodiodes 1 est convertie en charges de signal et les charges de signal sont transférées vers le dis-

positif à couplage de charges en silicium 2 par l'intermédiaire des plots en indium 3. Ensuite, les charges de signal sont émises sous la forme de signaux en séquence temporelle, ce qui donne des signaux d'image.

En appliquant une tension continue de valeur basse, V_G , à l'électrode de porte d'entrée 17 du dispositif à couplage de charges en silicium comme représenté sur la figure 8, on peut commander la quantité de charges qui sont transférées par l'intermédiaire des plots en indium. En outre, une tension de polarisation inverse V_{bb} est appliquée à chaque pixel du réseau de photodiodes 1, conformément à la tension continue V_G . La figure 1 montre un schéma de circuit électrique qui est destiné à expliquer la tension qui est appliquée aux pixels du réseau de photodiodes 1. Sur la figure 9, la distance de l'électrode commune du côté p, 5, jusqu'aux pixels périphériques 8, est différente de la distance de cette électrode jusqu'au pixel central 9, ce qui fait que des différences apparaissent dans les résistances de substrat 10, faisant ainsi apparaître des différences dans les tensions de polarisation inverses V_{bb} qui sont appliquées aux pixels. Plus concrètement, lorsqu'on désigne respectivement par V_a et V_b les tensions de polarisation inverses qui sont appliquées au pixel périphérique 8 et au pixel central 9, et lorsqu'on désigne respectivement par i_a et i_b les courants photoélectriques qui circulent dans le pixel périphérique 8 et dans le pixel central 9, on obtient les relations suivantes :

$$\begin{aligned} V_a &= V_{bb} - r (i_a + i_b) \\ V_b &= V_{bb} - R \cdot i_b - r (i_a + i_b) = V_a - R \cdot i_b \end{aligned}$$

Comme on le voit d'après les relations ci-dessus, la tension de polarisation inverse V_b qui est appliquée au pixel central 9 est inférieure à la tension de polarisation inverse V_a qui est appliquée au pixel périphérique 8. Lorsqu'on applique ceci à la figure 10, on constate que le point de polarisation de fonctionnement du pixel périphérique 8 est différent de celui du pixel central 9, ce qui fait apparaître une différence dans le courant photoélectrique de sortie entre le pixel périphérique 8 et le pixel central 9. De façon plus concrète, le courant photoélectrique qui est émis par le pixel central 9 est inférieur à celui qui est émis par le pixel périphérique 8.

Dans le dispositif imageur infrarouge de l'art antérieur qui pré-

sente la structure décrite ci-dessus, il existe un défaut d'uniformité dans le courant photoélectrique qui est émis par les pixels périphériques et par le pixel central. On peut résoudre ce problème en formant l'électrode du côté p de façon qu'elle soit très proche de chaque pixel, mais ceci est techniquement difficile. De plus, du fait que le point de fonctionnement du dispositif est son point de polarisation inverse, le dispositif est aisément affecté par un courant de fuite.

La présente invention vise à résoudre les problèmes décrits ci-dessus, et elle a pour buts d'uniformiser le courant photoélectrique et de réduire le courant de fuite, en uniformisant la tension de polarisation inverse qui est appliquée à chaque pixel d'un réseau de photodiodes, au voisinage d'une polarisation égale à zéro.

Selon un aspect de la présente invention, un dispositif imageur à semiconducteurs comprend un réseau de photodiodes dans lequel une électrode ou l'autre d'une jonction pn est commune à un ensemble de pixels, une structure de transfert de signal qui transfère des charges qui sont générées dans chaque région de pixel, et qui est connectée à l'autre électrode du réseau de photodiodes, et des moyens d'application de tension qui sont destinés à appliquer à l'électrode commune de la photodiode une tension orientée dans un sens direct par rapport à la jonction pn de la photodiode. Par conséquent, la tension de polarisation inverse qui est appliquée à la photodiode, sous l'effet de la tension qui est appliquée à l'électrode de commande de l'étage d'entrée de la structure de transfert de signal, peut être annulée par la tension directe qui est appliquée à l'électrode commune, ce qui fait que les points de fonctionnement des pixels peuvent être uniformisés au voisinage d'une polarisation égale à zéro.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention seront mieux compris à la lecture de la description qui va suivre de modes de réalisation, donnés à titre d'exemples non limitatifs. La suite de la description se réfère aux dessins annexés dans lesquels :

la figure 1 est un schéma montrant un réseau de photodiodes bidimensionnel d'un dispositif imageur à semiconducteurs conforme à un premier mode de réalisation de la présente invention ;

la figure 2 est une coupe montrant la structure d'un dispositif

imageur à semiconducteurs conforme au premier mode de réalisation de la présente invention ;

la figure 3 est un schéma de circuit électrique destiné à l'explication de la tension qui est appliquée à chaque pixel du réseau de photodiodes qui est représenté sur la figure 1 ;

la figure 4 est un diagramme montrant une caractéristique I-V de chaque pixel du réseau de photodiodes du dispositif imageur à semiconducteurs conforme au premier mode de réalisation de la présente invention ;

la figure 5 est une vue en perspective montrant un dispositif imageur infrarouge conforme à l'art antérieur ;

la figure 6 est une coupe du dispositif imageur infrarouge à l'art antérieur ;

la figure 7 est un schéma montrant un réseau de photodiodes bidimensionnel du dispositif imageur infrarouge conforme à l'art antérieur ;

la figure 8 est un schéma montrant la structure d'un dispositif à couplage de charges de l'art antérieur, de l'étage d'entrée jusqu'au canal de dispositif à couplage de charges, et montrant également des potentiels dans les régions respectives ;

la figure 9 est un schéma de circuit électrique qui est destiné à l'explication de la tension appliquée à chaque pixel du réseau de photodiodes qui est représenté sur la figure 7 ;

la figure 10 est un diagramme montrant une caractéristique I-V de chaque pixel du réseau de photodiodes du dispositif imageur infrarouge conforme à l'art antérieur ; et

la figure 11 est une coupe montrant un dispositif imageur à semiconducteurs conforme à un second mode de réalisation de la présente invention.

La figure 1 est un schéma montrant un réseau de photodiodes bidimensionnel d'un dispositif imageur à semiconducteurs conforme à un premier mode de réalisation de la présente invention. Sur la figure 1, des références numériques identiques à celles de la figure 7 désignent les éléments identiques ou correspondants. Une électrode du côté p, 5, est commune à tous les pixels, et une électrode du côté n, 6, est formée pour chaque pixel du réseau de photodiodes bidimensionnel 1. Dans ce mode de réalisation, une source d'énergie électrique continue 111 est

connectée entre l'électrode commune du côté p, 5, et la tension de masse, et une tension déterminée V_P est appliquée à l'électrode du côté p, 5, du réseau de photodiodes.

La figure 2 est une coupe montrant un exemple d'une structure concrète du dispositif imageur à semiconducteurs conforme au premier mode de réalisation de la présente invention. Sur la figure 2, des références numériques identiques à celles de la figure 6 désignent des éléments identiques ou correspondants. Une couche en HgCdTe de type p, 12, est formée sur un substrat en CdTe, 11. Un ensemble de régions d'impuretés de type n, 13, sont formées sur la surface de la couche en HgCdTe de type p, 12. Chaque région d'impuretés de type n, 13, constitue une région de pixel du réseau de photodiodes bidimensionnel 1. Une électrode du côté p, 5, qui est commune à tous les pixels du réseau de photodiodes, est formée sur la couche en HgCdTe de type p, 12, aux endroits auxquels les régions d'impuretés de type n, 13, ne sont pas présentes. Une pellicule isolante 101 recouvre la couche en HgCdTe 12 et l'électrode du côté p, 5, et des ouvertures correspondant aux régions d'impuretés de type n, 13, sont formées à travers la pellicule isolante 1001. Des électrodes du côté n, 6, pour les pixels sont formées dans les ouvertures. Des régions de type n, 22, sont formées sur la surface du substrat en silicium de type p, 21, du dispositif à couplage de charges en silicium, 2, et face aux régions de pixels 13 du réseau de photodiodes 1. Les régions de type n, 22, remplissent la fonction d'étages d'entrée du dispositif à couplage de charges, 2. Une pellicule isolante 102 ayant des ouvertures qui correspondent aux régions de type n, 22, recouvre le substrat en silicium 21, et des électrodes 7 sont formées dans les ouvertures. L'électrode du côté n, 6, de chaque pixel du réseau de photodiodes 1, est connectée à l'électrode 7 en regard dans l'étage d'entrée du dispositif à couplage de charges 2, par l'intermédiaire du plot en indium 3.

Dans le premier mode de réalisation de la présente invention, contrairement au dispositif de l'art antérieur, l'électrode du côté p, 5, n'est pas connectée au substrat de type p, 21, du dispositif à couplage de charges 2, mais est connectée à une interconnexion en aluminium 106 sur la pellicule isolante 102, par l'intermédiaire du plot en indium 3,

de façon qu'une tension déterminée V_p soit appliquée à l'interconnexion en aluminium 106 à partir de la source d'énergie électrique continue 111, par l'intermédiaire du plot de connexion 105. De plus, la tension de substrat (masse) du dispositif à couplage de charges 2 est appliquée
5 au substrat de type p, 21, du dispositif à couplage de charges, par l'intermédiaire du plot de connexion 103 et de l'interconnexion en aluminium 104.

La figure 3 est un schéma de circuit électrique qui est destiné à l'explication de la tension appliquée à chaque pixel du réseau de photodiodes qui est représenté sur la figure 1. Sur la figure 3, la référence 9 désigne un pixel se trouvant au centre du réseau de photodiodes 1, et la référence 8 désigne des pixels qui entourent le pixel central 9. La référence 10 désigne des résistances de substrat (r , R) entre ces pixels. La figure 4 montre une caractéristique I-V de chaque pixel
15 du réseau de photodiodes.

On décrira le fonctionnement du dispositif imageur infrarouge conforme au premier mode de réalisation de la présente invention en se référant aux figures 1 à 4.

Comme dans le dispositif de l'art antérieur, la lumière infrarouge
20 4 qui tombe sur le réseau de photodiodes 1 est convertie en charges de signal, et les charges de signal sont transférées vers le dispositif à couplage de charges en silicium 2 par l'intermédiaire des plots en indium 3. Ensuite, les charges de signal sont émises sous la forme de signaux en séquence temporelle, ce qui donne des signaux d'image. Lorsque la
25 tension V_p qui est appliquée à l'électrode commune du côté p, 5, est égale à 0 V, c'est-à-dire lorsqu'elle est égale à la tension de substrat du dispositif à couplage de charges, ce dispositif équivaut au dispositif de l'art antérieur, et la tension de polarisation inverse V_{bb} est appliquée à chaque pixel. La tension de polarisation inverse qui est ainsi appliquée
30 dépend de la tension continue qui est appliquée à la porte d'entrée du dispositif à couplage de charges. Cette tension est habituellement d'environ 100 mV. Dans ce mode de réalisation de la présente invention, on fait varier la tension de polarisation inverse qui est appliquée à chaque pixel, en appliquant la tension V_p à l'électrode du côté p du réseau de photodiodes 1, à partir de la source d'énergie électrique continue 111. .

De façon plus concrète, lorsqu'on désigne respectivement par V_a et V_b les tensions de polarisation inverses qui sont appliquées au pixel périphérique 8 et au pixel central 9, et lorsqu'on désigne respectivement par i_a et i_b les courants photoélectriques qui circulent dans le pixel périphérique 8 et le pixel central 9, on obtient les relations suivantes :

$$V_a = V_{bb} - r(i_a + i_b) - V_p$$

$$V_b = V_{bb} - R \cdot i_b - r(i_a + i_b) - V_p = V_a - R \cdot i_b$$

Du fait que i_b diminue lorsque V_p augmente, V_a et V_b deviennent plus proches de zéro lorsque la différence entre elles se réduit. Lorsque la tension V_p est égale à V_{bb} , c'est-à-dire lorsque la tension de polarisation inverse effective qui est appliquée à partir de l'extérieur devient égale à zéro, les tensions V_a et V_b ont les valeurs les plus proches de zéro, et on obtient les relations suivantes :

$$V_a = - r(i_a + i_b)$$

$$V_b = - R \cdot i_b - r(i_a + i_b) = V_a - R \cdot i_b$$

i_a et i_b prenant les valeurs minimales.

Comme le montre la figure 4, lorsque les tensions V_a et V_b deviennent plus proches de zéro, la différence entre le courant photoélectrique i_a qui est émis par le pixel périphérique 8 et le courant photoélectrique i_b qui est émis par le pixel central 9 est réduite, grâce à quoi la variation de la puissance de sortie est réduite.

Dans le mode de réalisation de la présente invention qui est décrit ci-dessus, la tension continue, qui est approximativement égale à la tension de polarisation inverse V_{bb} appliquée aux pixels du réseau de photodiodes 1, est appliquée à l'électrode commune du côté p, 5. Par conséquent, les points de fonctionnement des pixels peuvent être uniformisés au voisinage de la polarisation zéro, de façon à réduire des variations dans les courants photoélectriques qui sont émis par les pixels, et à réduire les influences dues au courant de fuite.

Bien que le mode de réalisation ci-dessus utilise la source d'énergie électrique continue 111 qui fournit une tension fixe, lorsqu'on utilise une source de tension électrique continue 112 qui fournit une tension variable, comme représenté sur la figure 11, on peut utiliser la photodiode 1 avec une tension de polarisation désirée. Le dispositif peut

donc fonctionner en permanence avec la caractéristique optimale.

Bien que dans le mode de réalisation qui est décrit ci-dessus, on utilise la source d'énergie électrique continue 111 pour régler la tension qui est appliquée à l'électrode commune du côté p, 5, il est possible d'utiliser d'autres moyens, à condition qu'ils remplissent la fonction désirée.

De plus, bien que dans le mode de réalisation décrit ci-dessus, on ait considéré un dispositif imageur infrarouge, il est possible d'appliquer la présente invention, avec des effets identiques à ceux décrits ci-dessus, à n'importe quels dispositifs imageurs à semiconducteurs dont les caractéristiques sont affectées par la résistance du substrat.

Comme il ressort de façon évidente de la description précédente, conformément à la présente invention, un dispositif imageur à semiconducteurs comprend un réseau de photodiodes dans lequel une électrode ou l'autre d'une jonction pn est commune à un ensemble de pixels, une structure de transfert de signal transférant des charges qui sont générées dans chaque région de pixels, et connectée à l'autre électrode du réseau de photodiodes, et des moyens d'application de tension qui sont destinés à appliquer à l'électrode commune de la photodiode une tension de sens direct par rapport à la jonction pn de la photodiode. Par conséquent, la tension de polarisation inverse qui est appliquée à la photodiode sous l'effet de la tension appliquée à la porte de l'étage d'entrée de la structure de transfert de signal, peut être annulée par la tension directe qui est appliquée à l'électrode commune, ce qui fait que les points de fonctionnement des pixels peuvent être uniformisés au voisinage de la polarisation zéro. Il en résulte qu'il est possible de réduire des variations du courant photoélectrique émis par les pixels du réseau de photodiodes, et de réduire des influences qui sont dues au courant de fuite.

REVENDEICATIONS

1. Dispositif imageur à semiconducteurs, caractérisé en ce qu'il comprend :

un réseau de photodiodes (1) comportant un ensemble de pixels constitués par des régions d'un second type de conductivité (13) qui
5 sont formées dans une couche de semiconducteur d'un premier type de conductivité (12), et une électrode (5) qui est commune aux pixels et qui est formée sur la couche de semiconducteur du premier type de con-
ductivité (12) ; une structure de transfert de signal (2) transférant
des charges de signal qui sont générées dans les pixels, connectée aux
10 régions du second type de conductivité (13) ; et des moyens d'applica-
tion de tension continue (111, 112) qui sont destinés à appliquer à la
couche de semiconducteur du premier type de conductivité (12) une ten-
sion de sens direct par rapport à une jonction qui est formée entre la
couche de semiconducteur du premier type de conductivité (12) et les
15 régions du second type de conductivité (13).

2. Dispositif imageur à semiconducteurs selon la revendication 1, caractérisé en ce que le réseau de photodiodes (1) et la structure de transfert de signal (2) sont formés sur des substrats différents (11, 21), et des électrodes (6) situées du côté de conductivité opposée, par rap-
20 port à l'électrode commune (5), sont connectées à un étage d'entrée de signal (25) de la structure de transfert de signal (2) par l'intermédiaire de plots (3).

3. Dispositif imageur à semiconducteurs selon la revendication 2, caractérisé en ce que les moyens d'application de tension continue con-
25 sistent en une source d'énergie électrique continue (111, 112) qui est connectée entre l'électrode commune (5) et une tension de substrat de la structure de transfert de signal (2).

4. Dispositif imageur à semiconducteurs selon la revendication 3, caractérisé en ce qu'une tension de polarisation inverse qui est ap-
30 pliquée au réseau de photodiodes (1) sous l'effet d'une tension appliquée

à une porte dans l'étage d'entrée de signal (25) de la structure de transfert de signal (2) est annulée par la tension qui provient de la source d'énergie électrique continue (111, 112).

5 5. Dispositif imageur à semiconducteurs selon la revendication 3, caractérisé en ce que la source d'énergie électrique continue (112) fournit une tension variable.

10 6. Dispositif imageur à semiconducteurs selon la revendication 1, caractérisé en ce que la couche de semiconducteur du premier type de conductivité (12) consiste en tellurure de mercure-cadmium, et la structure de transfert de signal (2) consiste en silicium.

FIG. 1

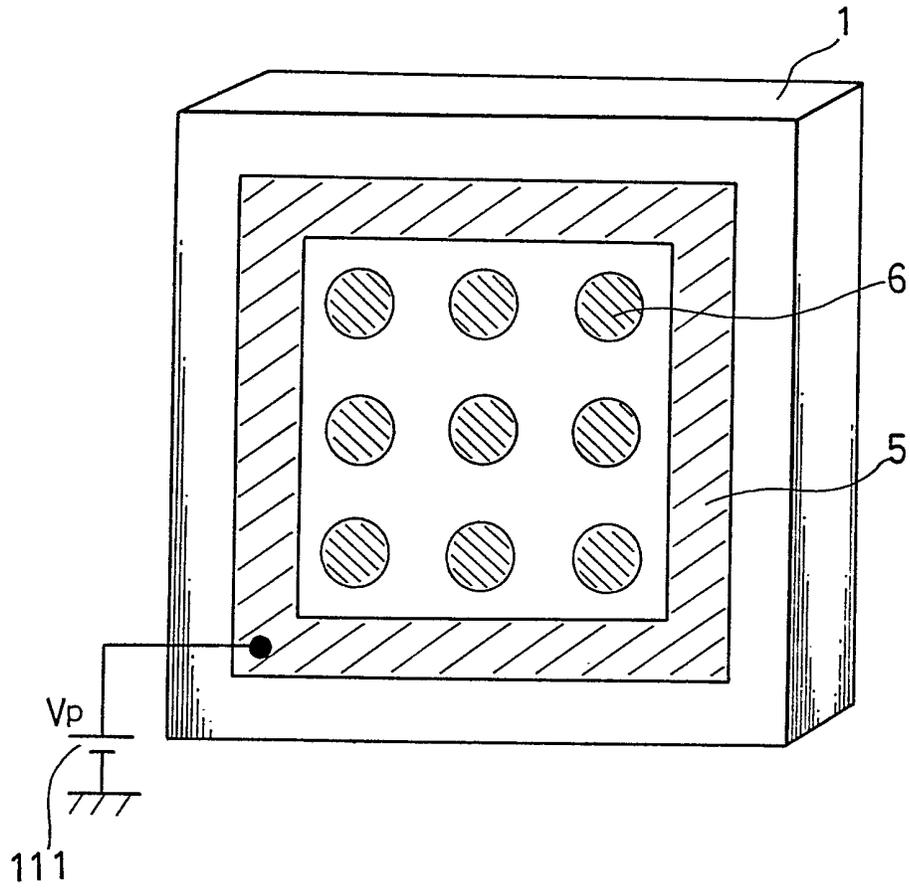


FIG. 3

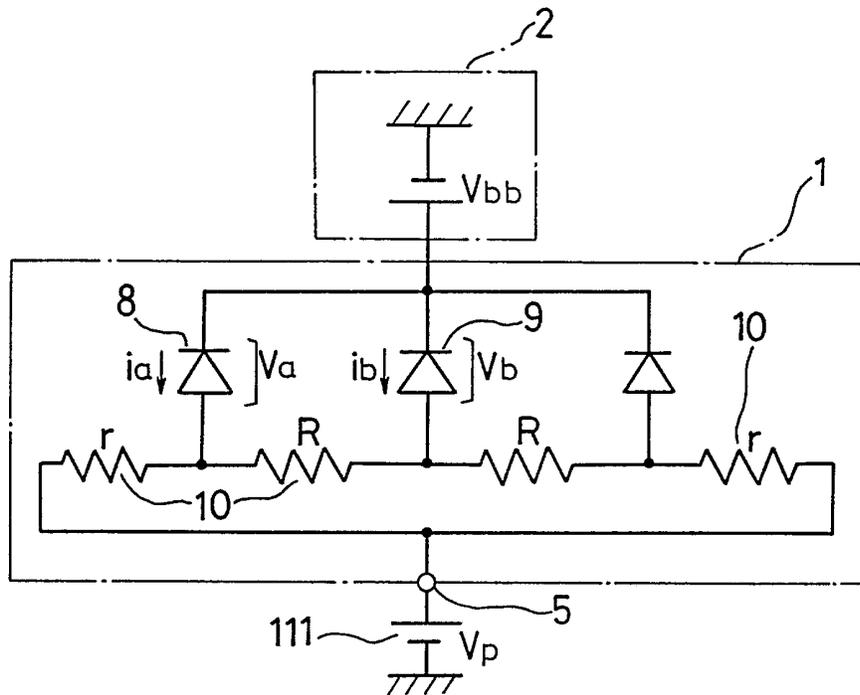


FIG. 4

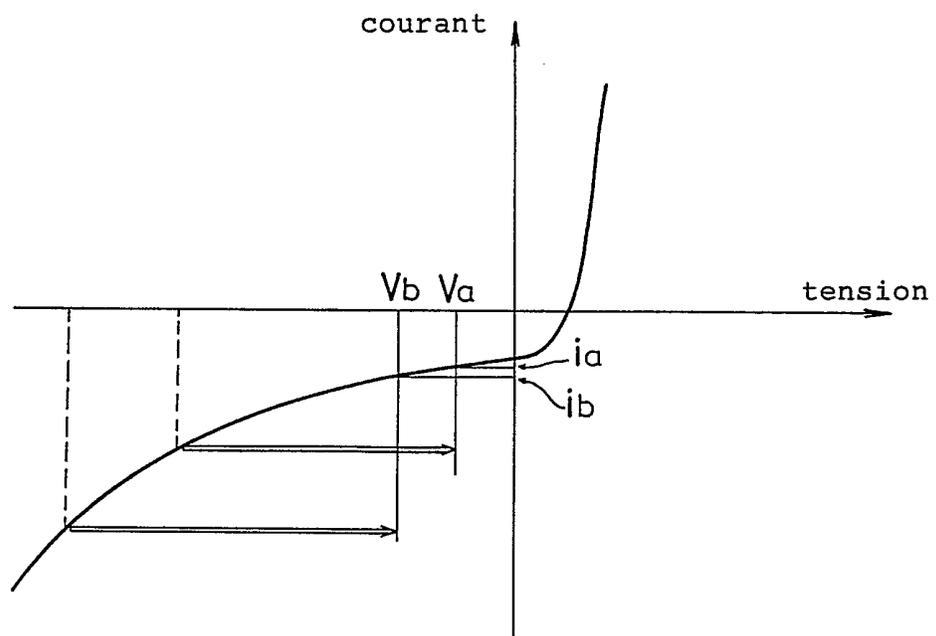


FIG. 5

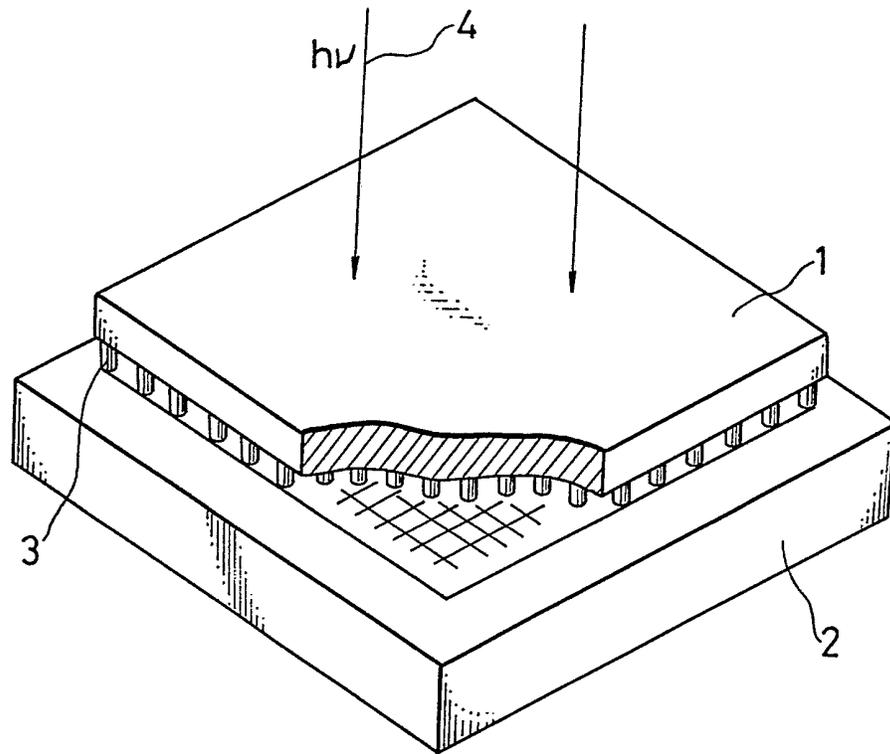


FIG. 6

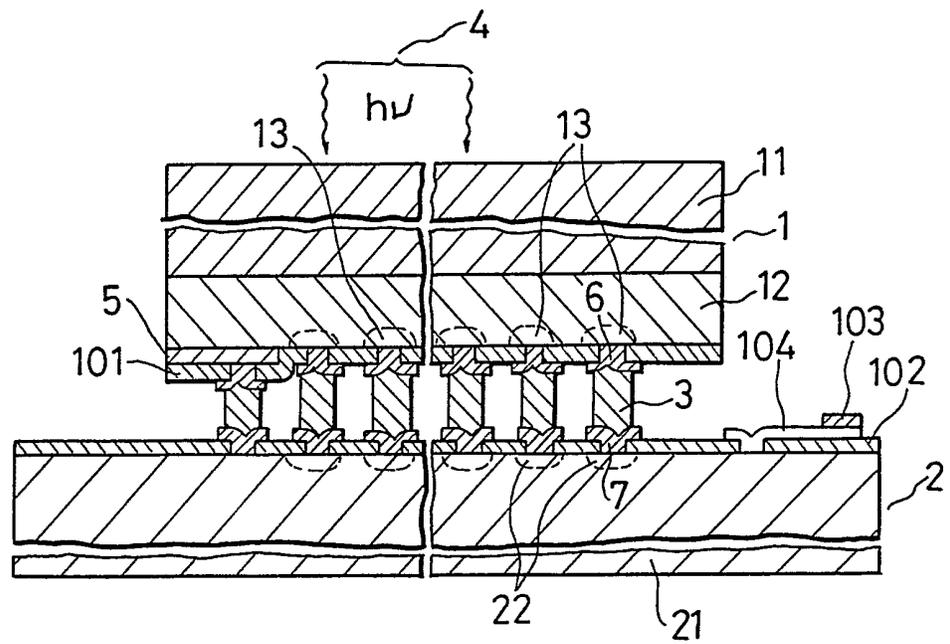


FIG. 7

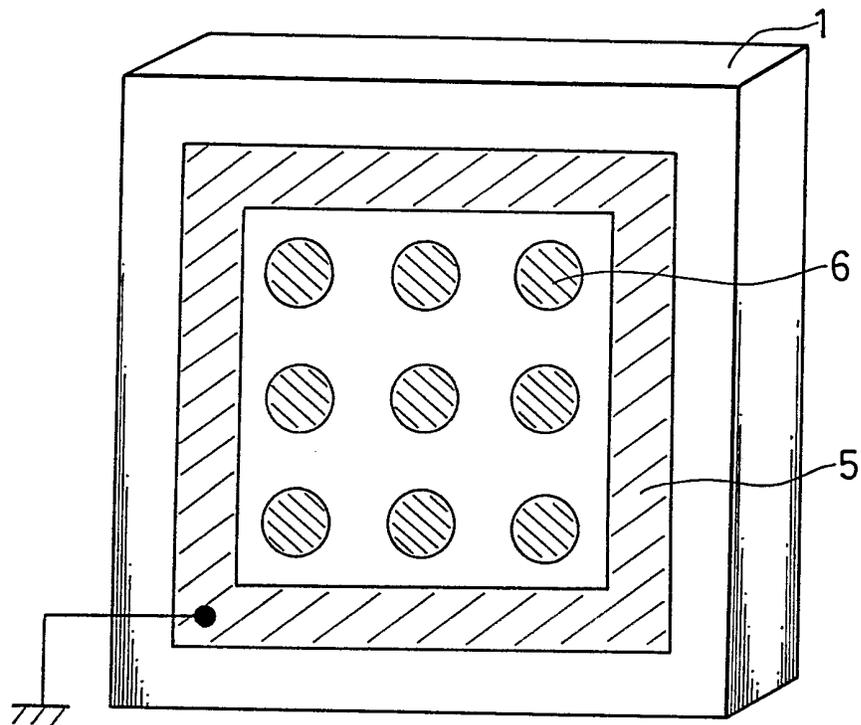


FIG. 8

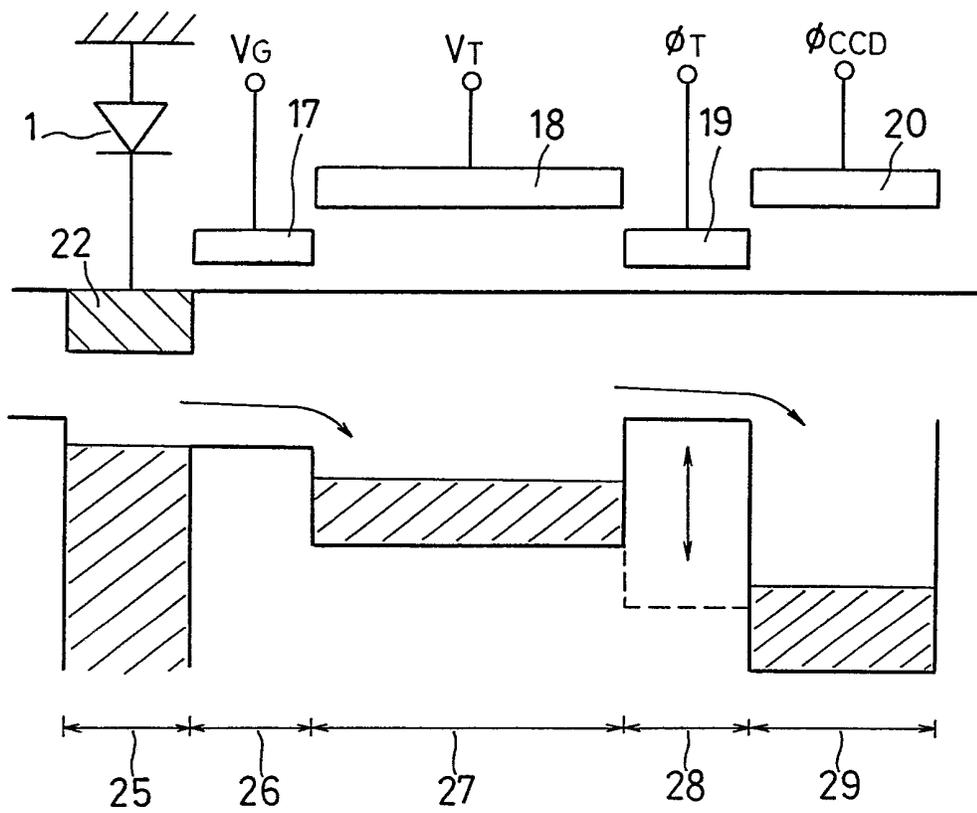


FIG. 9

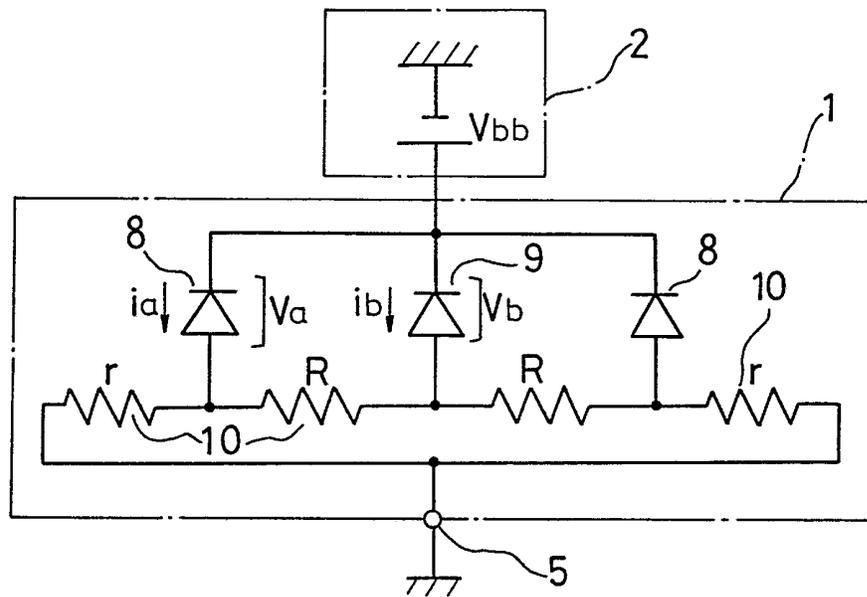


FIG. 10

