

⑤④ CAPTEUR INFRAROUGE A CAPTURE INSTANTANEE.

⑫② Date de dépôt : 05.09.19.

⑫③ Priorité :

⑫⑥ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

☐ Demande(s) d'extension :

⑫⑦ Demandeur(s) : *LYNRED Société par actions
simplifiée — FR.*

⑫③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 12.03.21 Bulletin 21/10.

⑫⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 06.08.21 Bulletin 21/31.

⑫⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑫⑦ Inventeur(s) : ROBERT Patrick.

⑫⑧ Titulaire(s) : LYNRED Société par actions simplifiée.

⑫⑨ Mandataire(s) : CABINET LAURENT ET CHARRAS.



Description

Titre de l'invention : CAPTEUR INFRAROUGE A CAPTURE INSTANTANEE

DOMAINE DE L'INVENTION

- [0001] L'invention concerne un capteur de rayonnements infrarouges dans le domaine de l'imagerie infra-rouge dite « non-refroidie ». Ce capteur intègre un ensemble de détecteurs bolométriques formant les pixels d'une image infrarouge. L'invention concerne plus précisément un capteur infrarouge permettant une capture instantanée des pixels au moyen d'un circuit de lecture intégré dans chaque pixel.
- [0002] L'invention trouve une application particulièrement avantageuse pour augmenter la résolution en fréquence d'un capteur infrarouge ou pour supprimer les effets de trainé.

ETAT DE LA TECHNIQUE

- [0003] Dans le domaine des détecteurs infrarouges dits « non-refroidis », il est connu d'utiliser des matrices monodimensionnelles ou bidimensionnelles d'éléments sensibles au rayonnement infrarouge, susceptibles de fonctionner à température ambiante, c'est-à-dire ne nécessitant pas de refroidissement à de très basses températures, contrairement aux dispositifs de détection appelés « détecteurs quantiques », qui eux, nécessitent un fonctionnement à très basse température, typiquement celle de l'azote liquide.
- [0004] Un détecteur infrarouge non-refroidi utilise traditionnellement la variation d'une grandeur physique d'un matériau approprié dit « thermométrique » ou « bolométrique », en fonction de sa température. Le plus couramment, cette grandeur physique est la résistivité électrique dudit matériau qui varie fortement avec la température. Les éléments sensibles unitaires du détecteur, ou « micro-bolomètres », prennent usuellement la forme de membranes, comprenant chacune une couche en matériau thermométrique, et suspendue au-dessus d'un substrat, généralement réalisé en silicium, via des bras de soutien de résistance thermique élevée, la matrice de membranes suspendues étant usuellement désignée sous le terme de « rétine ».
- [0005] Ces membranes mettent notamment en œuvre une fonction d'absorption du rayonnement infrarouge incident, une fonction de conversion de la puissance du rayonnement absorbé en puissance calorifique, et une fonction thermométrique de conversion de la puissance calorifique produite en une variation de la résistivité du matériau thermométrique, ces fonctions pouvant être mises en œuvre par un ou plusieurs éléments distincts. Par ailleurs, les bras de soutien des membranes sont également conducteurs de l'électricité et connectés à la couche thermométrique de celles-ci.

- [0006] Il est usuellement ménagé dans le substrat au-dessus duquel sont suspendues les membranes, des moyens d'adressage et de polarisation séquentiels des éléments thermométriques des membranes, et des moyens de formation des signaux électriques utilisables en format vidéo. Ce substrat et les moyens intégrés sont communément désignés par l'expression « circuit de lecture ».
- [0007] Pour compenser la dérive en température du détecteur, une solution généralement mise en œuvre consiste à disposer dans le circuit électronique de formation du signal en relation avec la température des micro-bolomètres d'imagerie, ainsi dénommés car sensibles au rayonnement électromagnétique incident, un élément de compensation de température du plan focal (TPF) lui-même bolométrique, c'est-à-dire dont le comportement électrique suit la température du substrat, mais reste essentiellement insensible au rayonnement.
- [0008] Ce résultat est obtenu par exemple au moyen de structures bolométriques dotées par construction d'une faible résistance thermique vers le substrat, et/ou en masquant ces structures derrière un écran opaque au rayonnement thermique. La mise en œuvre de ces éléments de compensation offre par ailleurs l'avantage d'éliminer l'essentiel du courant dit de mode commun issu des micro-bolomètres d'imagerie ou « actifs ».
- [0009] La figure 1 est un schéma électrique d'un détecteur bolométrique **10** sans régulation de température, ou détecteur « TECless », de l'état de la technique, comprenant une structure de compensation du mode commun. La figure 2 est un schéma électrique d'un circuit mis en œuvre pour former un signal de lecture d'un micro-bolomètre du détecteur compensé du mode commun. Un tel détecteur est par exemple décrit dans le document : « Uncooled amorphous silicon technology enhancement for 25 μ m pixel pitch achievement » ; E. Mottin et al, Infrared Technology and Application XXVIII, SPIE, vol. 4820E.
- [0010] Le détecteur **10** comprend une matrice bidimensionnelle **12** d'éléments unitaires de détection bolométriques **14** identiques, ou « pixels », comprenant chacun un micro-bolomètre résistif sensible **16** se présentant sous la forme d'une membrane suspendue au-dessus d'un substrat, tel que décrit précédemment, et de résistance électrique R_{ac} .
- [0011] Chaque micro-bolomètre **16** est connecté par l'une de ses bornes à une tension constante V_{DET} , notamment la masse du détecteur **10**, et par l'autre de ses bornes à un transistor MOS de polarisation **18** fonctionnant en régime saturé, par exemple un transistor NMOS, réglant la tension V_{ac} aux bornes du micro-bolomètre **16** au moyen d'une tension de commande de grille GAC.
- [0012] Si **A** désigne le nœud correspondant à la source du MOS **18** et si V_A est la tension à ce nœud, qui dépend de la tension de grille GAC, la tension V_{ac} est alors égale à $V_{ac} = V_A - V_{DET}$.
- [0013] Le pixel **14** comprend également un interrupteur de sélection **20**, connecté entre le

transistor MOS **18** et un nœud **S** prévu pour chaque colonne de la matrice **12**, et piloté par un signal de commande Select, permettant la sélection du micro-bolomètre **16** pour sa lecture. Le transistor **18** et l'interrupteur **20** sont usuellement formés dans le substrat sous l'emprise de la membrane du micro-bolomètre **16**. Les éléments **16** et **18** forment une branche dite de détection.

[0014] Notamment, les pixels étant identiques et la tension VDET d'une part et la tension GAC d'autre part étant identiques pour tous les pixels, les micro-bolomètres **16** sont donc polarisés en tension sous la même tension V_{ac} . En outre, la tension de grille GAC étant constante, la tension V_{ac} est donc également constante.

[0015] Le détecteur **10** comporte également, en pied de chaque colonne de la matrice **12**, une structure de compensation **22**, également usuellement désignée sous le terme de structure « d'ébasage » ou selon l'expression anglo-saxonne « *skimming* ». Comme décrit précédemment, la valeur de la résistance électrique des micro-bolomètres de détection **16** est dictée en grande partie par la température du substrat. Le courant parcourant un micro-bolomètre de détection **16** comporte ainsi une importante composante qui dépend de la température du substrat et est indépendante de la scène observée. La structure de compensation **22** a pour fonction de produire un courant électrique à des fins de compensation partielle ou totale de cette composante.

[0016] La structure de compensation **22** comporte un micro-bolomètre de compensation **24**, de résistance électrique R_{cm} , rendu insensible au rayonnement incident issu de la scène à observer. Le micro-bolomètre **24** est réalisé au moyen du même matériau thermométrique que le micro-bolomètre **16**, mais présente une très faible résistance thermique vers le substrat. Par exemple :

- les éléments résistifs du micro-bolomètre de compensation **24** sont réalisés directement au contact du substrat, ou
- le micro-bolomètre de compensation **24** comporte une membrane similaire à celle des micro-bolomètres de détection **16** suspendue au-dessus du substrat au moyen de structures présentant une résistance thermique très faible, ou encore
- le micro-bolomètre de compensation **24** comprend une membrane et des bras de soutien sensiblement identiques à ceux des micro-bolomètres de détection **16** et un matériau bon conducteur thermique remplit l'espace entre la membrane du micro-bolomètre **24** et le substrat.

[0017] La résistance électrique du micro-bolomètre **24** est ainsi essentiellement dictée par la température du substrat, le micro-bolomètre **24** est alors dit « thermalisé » au substrat.

[0018] Typiquement, ce micro-bolomètre **24** thermalisé est mutualisé pour plusieurs micro-bolomètres **24** et il est placé en tête ou en pied de chaque colonne de la matrice **12**.

[0019] Le micro-bolomètre **24** est connecté par l'une de ses bornes à une tension constante positive VSK, et la structure de compensation **22** comporte en outre un transistor MOS

de polarisation **26** fonctionnant en régime saturé, de polarité opposée à celle des transistors **18** des pixels de détection **14**, par exemple un transistor PMOS, réglant la tension V_{cm} aux bornes du micro-bolomètre **24** au moyen d'une tension de commande de grille GCM, et connecté entre l'autre borne du micro-bolomètre de compensation **24** et le nœud **S**.

- [0020] Si on désigne par **B** le nœud correspondant au drain du MOS **26** et par V_B la tension à ce nœud, la tension V_{cm} est alors égale à $V_{cm} = V_{SK} - V_B$. Les éléments **24** et **26** forment une branche dite de compensation commune à chaque colonne. La valeur du courant de mode commun de compensation est définie par la valeur de la résistance R_{cm} du micro-bolomètre **24** et des paramètres de polarisation de ce dernier.
- [0021] Le détecteur **10** comporte également en pied de chaque colonne de la matrice **12**, un intégrateur **28** de type CTIA, pour l'expression anglo-saxonne « Capacitive Trans Impedance Amplifier », comportant par exemple un amplificateur opérationnel **30** et un unique condensateur **32**, de capacité C_{int} fixe, connecté entre l'entrée inverseuse et la sortie de l'amplificateur **30**. L'entrée inverseuse et l'entrée non-inverseuse de ce dernier sont par ailleurs connectées respectivement au nœud **S** et à une tension constante positive V_{BUS} . La tension V_{BUS} constitue ainsi une référence pour les signaux de sortie, et est comprise entre V_{DET} et V_{SK} .
- [0022] Un interrupteur **34**, piloté par un signal Reset est également ménagé en parallèle du condensateur **32**, pour la décharge de celui-ci. Les sorties des CTIA **28** sont, par exemple, connectées à des échantillonneurs-bloqueurs **36** respectifs, également connus sous l'expression anglo-saxonne « Sample and Hold », pour la délivrance des tensions V_{out} des CTIA en mode multiplexé au moyen d'un multiplexeur **38** vers un ou des amplificateur(s) série de sortie **40**. Il peut être également intégré en sortie des moyens de numérisation par convertisseurs analogique – numérique, également connus sous l'acronyme anglo-saxon « ADC ».
- [0023] Le détecteur **10** comprend enfin une unité de séquençement **42** commandant les différents interrupteurs décrits précédemment. En fonctionnement, la matrice **12** est lue ligne par ligne. Pour lire une ligne de la matrice **12**, les interrupteurs **20** de la ligne de pixels **14** sont fermés et les interrupteurs **20** des autres lignes sont ouverts. La lecture successive de l'ensemble des lignes de la matrice **12** constitue une trame.
- [0024] Pour la lecture d'un micro-bolomètre **16** d'une ligne de la matrice **12** sélectionnée pour la lecture, après une phase de décharge des condensateurs des CTIA en pied de colonne, réalisée par la fermeture des interrupteurs **34** au moyen du signal Reset suivi de leur ouverture, il est ainsi obtenu un circuit tel que représenté sur la figure 2 pour chaque pixel de la ligne en cours de lecture.
- [0025] Un courant I_{ac} circule dans le micro-bolomètre de détection **16** du pixel sous l'effet de sa polarisation en tension par le transistor MOS **18**, et un courant I_{cm} circule dans le

micro-bolomètre de compensation **24** de la structure de compensation sous l'effet de sa polarisation en tension par le transistor MOS **26**. Ces courants sont soustraits l'un de l'autre au niveau du nœud **S**, et la différence de courants résultante est intégrée par le CTIA **28** pendant une durée d'intégration prédéterminée T_{int} . La tension de sortie V_{out} du CTIA **28** représente ainsi une mesure de la variation de la résistance du micro-bolomètre de détection **16** provoquée par le rayonnement incident à détecter, puisque la partie non utile du courant I_{ac} liée à la température du substrat est compensée, au moins en partie, par le courant I_{cm} spécifiquement produit pour reproduire cette partie non utile.

[0026] En supposant que les résistances électriques des micro-bolomètres actifs **16** et de compensation **24** ne sont pas modifiées de manière significative lors de leur polarisation par un phénomène d'auto-échauffement, et que le CTIA **28** ne sature pas, la tension de sortie V_{out} de l'intégrateur à la fin du temps d'intégration T_{int} s'exprime par la relation :

[0027] [Math.1]

$$V_{out} = V_{bus} + \frac{1}{C_{int}} \int_0^{\Delta T_{int}} (i_{ac} - i_{cm}) dt = \frac{(i_{ac} - i_{cm}) \cdot T_{int}}{C_{int}} + V_{BUS}$$

[0028] Comme cela est connu en soi, un CTIA a une dynamique électrique de sortie, ou dynamique « de lecture », fixe. En dessous d'une première quantité de charges électriques reçue en entrée, le CTIA délivre une tension basse fixe, dite « tension de saturation basse » V_{satL} . De même, au-dessus d'une seconde quantité de charges électriques reçue en entrée, le CTIA délivre une tension haute fixe dite « tension de saturation haute » V_{satH} .

[0029] La relation Math.1 exprime le comportement linéaire du CTIA, lorsque celui-ci reçoit une quantité de charges électriques supérieure à la première quantité de charges électrique, et inférieure à la seconde quantité de charges électriques. La dynamique de lecture est essentiellement fixée par la valeur de la capacité C_{int} du condensateur **32**. Notamment, lorsque cette capacité est fixe, c'est-à-dire constante dans le temps, la dynamique de lecture du CTIA est également fixe.

[0030] Par convention, dans le cadre de l'invention, les tensions de saturation basse V_{satL} et haute V_{satH} sont les limites entre lesquelles le CTIA fournit une sortie considérée comme linéaire, même s'il est en général capable de fournir des tensions plus basses ou plus élevées que ces bornes.

[0031] Par ailleurs, la capacité du condensateur d'intégration détermine aussi la sensibilité, ou plus exactement la responsivité, également connue sous l'expression anglo-saxonne « responsivity », du détecteur. La responsivité d'un détecteur est définie par la variation du signal de sortie V_{out} en relation avec la variation du signal d'entrée (la température de scène $T_{scène}$), soit $dV_{out}/dT_{scène}$.

- [0032] Cette responsivité dépend de la technologie de fabrication du micro-bolomètre, des caractéristiques du circuit de lecture, du temps d'intégration et de la surface du micro-bolomètre. A partir du rapport entre le bruit, présent sur le signal de sortie du détecteur, et cette responsivité, il est possible de définir la performance du détecteur, également connus sous l'acronyme « NETD » pour « Noise Equivalent Temperature Difference » dans la littérature anglo-saxonne, exprimée en mK. Plus précisément, il est recherché de minimiser le NETD, en limitant le bruit présent sur le signal de sortie du détecteur et en maximisant la responsivité. Pour maximiser la responsivité, il est classique d'utiliser un maximum de surface de chaque pixel pour former le micro-bolomètre en disposant, sous le micro-bolomètre, les composants formant le circuit d'adressage au circuit de lecture.
- [0033] Ainsi, il est actuellement possible d'obtenir un NETD inférieur à 50 mK avec un temps d'intégration pour une ligne ou une colonne de 64 μ s.
- [0034] Le temps d'intégration étant directement lié à la responsivité et au NETD, il n'est pas possible de réduire ce temps d'intégration sans dégrader le NETD, même si les nouvelles technologies de fabrication permettent d'obtenir des micro-bolomètres avec des constantes de temps réduites. Il s'ensuit que les micro-bolomètres actuels ne permettent pas de capter rapidement une image infrarouge car le circuit de lecture doit parcourir les lignes ou les colonnes pour former une image avec un temps d'intégration qu'il n'est pas possible de réduire.
- [0035] Dans les domaines du visible ou de l'infrarouge refroidi, il existe des capteurs dans lesquels chaque pixel intègre un circuit de mesure de sorte à obtenir une capture simultanée de l'état de tous les pixels d'un capteur.
- [0036] Cependant, dans le domaine de l'infrarouge non refroidi, le montage intégrateur à CTIA de pied de colonne associé au pont bolométrique nécessite une circuiterie électronique qui ne peut être intégrée dans la surface d'un pixel. En effet, le montage intégrateur du circuit de lecture nécessite l'utilisation d'un micro-bolomètre thermalisé afin de réaliser un ébasage du courant d'intégration et de compenser les variations de température du substrat.
- [0037] Or, en disposant un micro-bolomètre thermalisé au substrat à côté d'un micro-bolomètre d'imagerie dans chaque pixel, la surface du micro-bolomètre d'imagerie serait nécessairement réduite car le micro-bolomètre d'imagerie et le micro-bolomètre thermalisé doivent être réalisés en suspension au-dessus du substrat. Ainsi, en réduisant la surface du micro-bolomètre d'imagerie, le NETD serait également réduit.
- [0038] Le problème technique de l'invention consiste à améliorer la vitesse d'acquisition d'une image infrarouge tout en conservant les performances actuelles des capteurs infrarouges, c'est-à-dire un NETD inférieur ou égal à 50 mK.

Exposé de l'invention

- [0039] Afin de résoudre ce problème technique, l'invention propose d'intégrer un circuit de lecture dans chaque pixel avec un montage intégrateur comportant peu de composants. Pour intégrer ce circuit de lecture, l'invention propose également un montage permettant de déporter le micro-bolomètre thermalisé en dehors de chaque pixel. Ainsi, un micro-bolomètre thermalisé ou un ensemble de micro-bolomètres thermalisés peuvent être utilisés pour réaliser l'ébasage en courant de plusieurs, voire de tous les pixels, du capteur infrarouge.
- [0040] A cet effet, l'invention concerne un capteur infrarouge comportant un ensemble de pixels juxtaposés en lignes et en colonnes, chaque pixel intégrant un micro-bolomètre d'imagerie connecté entre une tension de référence et un nœud d'intégration par l'intermédiaire d'un transistor d'injection dont une tension de grille permet de fixer une tension aux bornes du micro-bolomètre d'imagerie de sorte que les variations de résistance micro-bolomètre d'imagerie, dues aux rayonnements infrarouges, entraînent une variation d'un courant traversant ledit micro-bolomètre d'imagerie.
- [0041] L'invention se caractérise en ce que ledit capteur infrarouge comporte, sous la surface de chaque pixel, un montage intégrateur comportant :
- un transistor monté en amplificateur entre ledit nœud d'intégration et un nœud de sortie ;
 - et un condensateur monté en contre-réaction sur ledit transistor entre ledit nœud de sortie et ledit nœud d'intégration ;
- [0042] ledit nœud d'intégration étant connecté à un transistor d'ébasage fonctionnant en miroir de courant avec un transistor de commande d'ébasage déporté en dehors dudit pixel, un courant d'ébasage traversant ledit transistor de commande d'ébasage étant commandé en fonction de la température d'au moins un micro-bolomètre thermalisé, ledit montage en miroir de courant permettant de transmettre ledit courant d'ébasage traversant ledit transistor de commande d'ébasage sur ledit nœud d'intégration de sorte que ledit condensateur intègre la différence entre ledit courant traversant ledit micro-bolomètre d'imagerie et ledit courant d'ébasage.
- [0043] L'invention permet ainsi d'intégrer un circuit de lecture dans chaque pixel afin de réaliser une lecture simultanée des pixels du capteur infrarouge. Avec cette lecture simultanée des pixels, l'invention permet d'obtenir un détecteur infrarouge fonctionnant avec un temps d'intégration équivalent au temps trame. Celui-ci peut avantageusement être amélioré et permet d'acquérir jusqu'à 500 images par seconde avec un NETD inférieur ou égal à 50 mK.
- [0044] Dans l'état de la technique, pour obtenir un NETD inférieur ou égal à 50 mK, le temps ligne est environ de 64 images par seconde alors que le courant de polarisation

du micro-bolomètre d'imagerie est de l'ordre de quelque micro ampères.

[0045] Ce courant de polarisation est fonction de la tension imposée aux bornes du micro-bolomètre d'imagerie et de la résistivité obtenue par construction du micro-bolomètre d'imagerie.

[0046] Selon un mode de réalisation de l'invention, le micro-bolomètre d'imagerie présente une résistance comprise entre 40 et 60 M Ω pour une température de 30°C. Dans l'état de la technique, un micro-bolomètre d'imagerie comporte classiquement une résistance sensiblement égale à 1 M Ω à température ambiante. L'utilisation de cette résistance beaucoup plus importante permet de modifier le point de fonctionnement et, notamment, le courant de polarisation du micro-bolomètre d'imagerie.

[0047] Dans l'état de la technique, le courant de quelque micro ampères entraîne un auto-échauffement du micro-bolomètre d'imagerie. L'utilisation d'un circuit de lecture intégré dans chaque pixel permet d'utiliser un temps d'intégration variable de quelques dizaines de microsecondes à plusieurs millisecondes et le point de de polarisation du détecteur peut être réduit drastiquement pour conserver un NETD inférieur ou égal à 50 mK.

[0048] Pour se faire, il est possible d'utiliser un courant de polarisation cinquante fois plus faible que dans l'état de la technique, ce qui ne conduit pas le micro-bolomètre d'imagerie dans sa zone d'emballement thermique.

[0049] La modification du point de fonctionnement permet d'obtenir un mode de fonctionnement « continu », c'est-à-dire sans utiliser de phases de pré-charge. Le fonctionnement du capteur infrarouge peut donc entièrement être modifié car l'état de la technique des détecteurs non refroidis met en œuvre un fonctionnement « pulsé » avec des phases de lecture et des phases de pré-charge pour limiter l'emballement thermique des micro-bolomètres d'imagerie.

[0050] Selon un mode de réalisation, le courant d'ébasage est compris entre 50 et 200 nano ampères.

[0051] Le fait de réduire la polarisation à quelques dizaines de nanoampères implique que la technologie CMOS utilisée dans ce mode de réalisation ne doit pas introduire de courants de fuite des transistors CMOS, susceptibles de perturber le courant intégré au niveau de chaque pixel. Certaines technologies CMOS ont des courants de fuite des transistors de quelques nanoampères bien que ceux-ci soient bloqués électriquement, le choix de la technologie est donc un point très important. De préférence, la technologie CMOS doit permettre d'obtenir des transistors avec un courant de fuite inférieur à 1nA.

[0052] En outre, l'utilisation d'un courant de polarisation très faible permet de limiter la consommation du circuit de lecture et, ainsi, de limiter la consommation globale du détecteur infrarouge. En effet, contrairement aux dispositifs classiques dans lesquels

des circuits de lecture sont disposés pour chaque colonne du détecteur infrarouge, l'utilisation d'un circuit de lecture par pixel risque d'augmenter la consommation du détecteur infrarouge. En utilisant un courant de polarisation beaucoup plus faible que ceux utilisés dans l'état de la technique, ce mode de réalisation permet de maîtriser la consommation du détecteur infrarouge.

- [0053] Cette polarisation et l'amplification réalisée par le circuit de lecture sont deux éléments distinctifs entre l'invention et les circuits de lecture existants intégrés dans chaque pixel dans le domaine du visible. En effet, dans le domaine du visible, il n'est pas nécessaire d'appliquer une polarisation en tension ou une amplification pour lire la valeur de chaque pixel, si bien qu'il est beaucoup plus simple d'intégrer le circuit de lecture dans chaque pixel.
- [0054] Le courant d'ébasage est obtenu par un montage en miroir de courant avec une partie déportée comportant au moins un micro-bolomètre thermalisé. Cette partie déportée est préférentiellement commune pour tous les pixels. Un seul micro-bolomètre thermalisé peut être utilisé pour former le courant d'ébasage.
- [0055] En variante, plusieurs micro-bolomètres thermalisés peuvent être montés en parallèle au niveau de la partie déportée pour améliorer la précision du courant d'ébasage.
- [0056] Par exemple, cinq micro-bolomètre thermalisés peuvent facilement être intégrés contrairement à l'état de la technique qui utilise un seul micro-bolomètre thermalisé, car il doit être dupliqué sur toutes les colonnes pour réaliser une intégration simultanée d'une même ligne.
- [0057] Selon un mode de réalisation, la tension de grille du transistor d'injection est commandée en fonction d'un transistor de commande de polarisation, déporté en dehors dudit pixel, en fonction de la température d'au moins un micro-bolomètre thermalisé.
- [0058] Ainsi, de la même manière que pour le courant d'ébasage, la tension de grille du transistor d'injection peut être obtenue par cinq micro-bolomètres thermalisés montés en parallèle. Ce mode de réalisation permet de supprimer, plus efficacement que dans l'état de la technique, les variations liées à la température du substrat.
- [0059] De préférence, la polarisation du transistor monté en amplificateur est réalisée par l'application d'une tension de référence au niveau d'une borne dudit transistor monté en amplificateur, opposée à celle reliée audit nœud de sortie.
- [0060] La tension de référence est préférentiellement appliquée par un transistor monté en diode. Ce mode de réalisation permet de limiter l'encombrement du circuit de lecture. La tension aux bornes de la diode montée en directe est de l'ordre de 0,7V, suivant la technologie CMOS utilisée. Cette tension permet de fixer la valeur du niveau bas de saturation du CTIA, qui correspond à une réception d'un très faible niveau de flux infrarouge. Ce montage remplace avantageusement une solution avec une tension de

référence qu'il faudrait distribuer à l'ensemble de la matrice.

- [0061] Outre la polarisation du nœud d'intégration, ledit nœud de sortie est préférentiellement polarisé par l'application d'un courant compris entre 0,5 et 2 micro ampères.
- [0062] En outre, le nœud de sortie est préférentiellement relié à un filtre à capacités commutées constitué d'un interrupteur et d'un condensateur. Ce mode de réalisation permet de réduire la bande passante du bruit car cette dernière dépend de la valeur de la capacité du condensateur et de la fréquence d'intégration.
- [0063] En sortie du filtre à capacités commutées, le montage présente préférentiellement un condensateur de lecture destinée à être chargé, après l'intégration, pour permettre la lecture de la tension résultante du circuit de lecture tout en réalisant une autre intégration. De préférence, les interrupteurs nécessaires pour former le filtre à capacités commutées et le transfert de charges dans le condensateur de lecture sont réalisés avec des transistors fonctionnant en commutation.
- [0064] En outre, la sortie du circuit de lecture peut être composée d'un transistor monté en suiveur de tension. Ce mode de réalisation permet de faciliter l'adaptation d'impédance du signal de sortie.
- [0065] De préférence, le pas de chaque pixel du capteur infrarouge est inférieur ou égal à 25 micromètres.

BREVE DESCRIPTION DES FIGURES

- [0066] L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui suit, donnée uniquement à titre d'exemple, et réalisée en relation avec les dessins annexés, dans lesquels des références identiques désignent des éléments identiques ou analogues, et dans lesquels :
- [0067] [fig.1] La figure 1 illustre un capteur infrarouge de l'état de la technique avec un circuit de lecture et d'ébasage disposé en pied de colonnes ;
- [0068] [fig.2] La figure 2 illustre le schéma électrique équivalent de lecture d'un micro-bolomètre d'imagerie de la figure 1 ;
- [0069] [fig.3] La figure 3 illustre un circuit de lecture intégré sous un pixel d'un capteur infrarouge selon un mode de réalisation de l'invention ;
- [0070] [fig.4] La figure 4 illustre un circuit de commande d'ébasage déporté et destiné à être connecté au circuit de lecture de la figure 3 selon un mode de réalisation de l'invention ; et
- [0071] [fig.5] La figure 5 illustre un circuit de commande de polarisation déporté et destiné à être connecté au circuit de lecture de la figure 3 selon un mode de réalisation de l'invention.

DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION

- [0072] La figure 3 illustre un circuit de lecture **11** d'un micro-bolomètre d'imagerie intégré

sous la surface de chaque pixel d'un capteur infrarouge. La structure du micro-bolomètre d'imagerie est similaire à celle décrite dans l'état de la technique, c'est-à-dire qu'elle intègre une membrane sensible au rayonnement infrarouge dont la résistivité varie en fonction du rayonnement infrarouge capté par cette membrane. Cette membrane est reliée par au moins deux plots au circuit de lecture **11** illustré sur la figure 3.

- [0073] Au sein de ce circuit de lecture **11**, l'ensemble formé par les plots et la membrane est schématisé par la résistance bolométrique R_{ac} qui correspond à la résistance variable du micro-bolomètre d'imagerie de chaque pixel. Contrairement aux membranes de l'état de la technique, la membrane du micro-bolomètre d'imagerie est réalisée de sorte que la résistance du micro-bolomètre d'imagerie est comprise entre 40 et 60 M Ω à température ambiante. Typiquement, pour une température de 30 °C, la membrane peut être réalisée pour présenter une résistance de 50 M Ω . Cette résistance spécifique peut être atteinte classiquement en adaptant l'épaisseur du matériau constituant la membrane et/ou le design de la membrane, par exemple la longueur des bras de soutien et de dissipation thermique.
- [0074] Sous le micro-bolomètre d'imagerie, le substrat intègre un étage CMOS comportant l'ensemble des autres composants illustrés sur le circuit de lecture **11** de la figure 3. Ce circuit de lecture **11** est, de préférence, réalisé avec des transistors présentant un courant de fuite inférieure à 1nA.
- [0075] Tel qu'illustré sur la figure 3, le circuit de lecture **11** présente un transistor d'injection **N2** permettant de fixer la tension V_{ac} aux bornes du micro-bolomètre d'imagerie au moyen de sa tension de grille **GAC**. Ainsi, la tension V_{ac} aux bornes du micro-bolomètre d'imagerie est fixe et imposée via la tension de grille **GAC** par le montage de la figure 5. Par ailleurs, le micro-bolomètre d'imagerie est également connecté à une source de tension **VDET**, préférentiellement la masse du circuit de lecture **11**. Dans l'exemple de la figure 3, le micro-bolomètre d'imagerie est connecté en bas du circuit de lecture **11** au moyen d'un transistor d'injection **N2** de type NMOS. En variante, la partie gauche du circuit peut être retournée et le micro-bolomètre d'imagerie peut être connecté par l'intermédiaire d'un transistor PMOS en haut du circuit de lecture sans changer l'invention.
- [0076] Outre la source reliée au micro-bolomètre d'imagerie, le drain du transistor d'injection **N2** est connecté sur un nœud d'intégration **Ne**. Ce nœud d'intégration **Ne** est également connecté à un transistor d'ébasage **P1** de type PMOS. Ce transistor d'ébasage **P1** est relié à une source de tension constante **VSK**. La tension de grille **GCM** de ce transistor d'ébasage **P1** est connectée à un circuit déporté **19** (figure 4) permettant de transmettre une commande d'ébasage à tous les circuits de lecture **11** des différents pixels. En variante, plusieurs circuits déportés **19** peuvent être utilisés pour

différents circuits de lecture intégrés sous différents pixels sans changer l'invention. En outre, la partie gauche du circuit peut être retournée et le transistor d'ébasage **P1** peut être réalisé par un transistor NMOS sans changer l'invention.

- [0077] Le nœud d'intégration **Ne** est également relié à la grille d'un transistor **N4** monté en amplificateur de sorte à former un montage de type CTIA avec un condensateur C_{int} monté en contre réaction entre un nœud de sortie **No** et le nœud d'intégration **Ne**. Ainsi, le drain du transistor **N4** est connecté sur le nœud de sortie **No**, alors que la grille de ce transistor **N4** est connectée sur le nœud d'intégration **Ne**. Le nœud de sortie **No** est également connecté à un interrupteur **RAZ** permettant de court-circuiter le condensateur C_{int} pour remettre à zéro l'intégration.
- [0078] Pour obtenir une tension constante équivalant au seuil de saturation inférieur d'un intégrateur de type CTIA, la source du transistor **N4** est connectée à la tension constante **VDET** par l'intermédiaire d'une diode **D1**. De préférence, cette diode **D1** est réalisée par un transistor monté en diode.
- [0079] Par ailleurs, le nœud de sortie est également relié à une source de courant connectée entre la tension constante **VSK** et le nœud de sortie **No** de sorte à appliquer un courant fixe, par exemple 1 μ A, sur le drain du transistor **N4** et à polariser ce dernier.
- [0080] Par exemple, le transistor d'injection **N2** est polarisé avec un courant I_{cm} de l'ordre de 100 nA.
- [0081] Le courant I_{Ac} circulant dans la résistance bolométrique R_{ac} correspond au courant de polarisation I_{cm} additionné des variations de courant dues aux variations de résistance de la résistance bolométrique R_{ac} . Au niveau du nœud d'intégration **Ne**, le courant de polarisation I_{cm} est soustrait au courant I_{Ac} , et seules les variations de courant dues aux variations de résistance de la résistance bolométrique R_{ac} sont intégrées dans le condensateur C_{int} .
- [0082] Au niveau du nœud de sortie **No**, le circuit de lecture **11** comporte également un filtre à capacités commutées comportant un interrupteur **PART** et un condensateur C_{part} connecté entre l'interrupteur **PART** et la tension constante **VDET**. Lorsque l'interrupteur **PART** est fermé, les charges présentes dans le condensateur d'intégration C_{int} sont transférées dans le condensateur de stockage C_{part} . Ensuite, l'interrupteur **PART** peut être ouvert et une nouvelle intégration peut être réalisée après fermeture de l'interrupteur **RAZ** durant quelques micro secondes.
- [0083] De la même manière, les charges présentes dans le condensateur C_{part} peuvent ensuite être transférées vers un condensateur de lecture C_{lec} , connecté entre un interrupteur **SH** et la tension constante **VDET**, lorsque l'interrupteur **SH** est fermé. La lecture de ce condensateur C_{lec} est obtenue par un transistor de sortie **SF** de type NMOS dont le drain est connecté à la tension **VSK** et la source est reliée à un signal de sortie **VOUT** par l'intermédiaire d'un interrupteur **LEC(i,j)**.

- [0084] Lorsque le capteur infrarouge demande la lecture du pixel correspondant au circuit de lecture de la figure 3, les coordonnées i et j du pixel dans la matrice sont utilisées pour commander l'interrupteur **LEC**(i,j) et obtenir la valeur de tension aux bornes du condensateur C_{lec} .
- [0085] Outre ces éléments présents au niveau de chaque pixel, les circuits illustrés sur les figures 4 et 5 sont préférentiellement mutualisés pour l'ensemble des pixels afin de fournir les tensions de grille **GAC** et **GCM** des transistors **N2** et **P1**.
- [0086] La figure 4 illustre la génération de la tension de grille **GCM** au moyen d'un circuit **19** intégrant cinq micro-bolomètres thermalisés, de résistance équivalente R_{cm} , montés en parallèle. De préférence, ces micro-bolomètres thermalisés sont réalisés de la même manière que les micro-bolomètres d'imagerie des pixels et présentent la même résistivité. Cependant, ces micro-bolomètres thermalisés sont isolés de la scène observée au moyen d'un écran de protection de sorte qu'ils captent uniquement les variations de température du substrat correspondant aux variations de température du plan focal de l'image.
- [0087] Dans l'état de la technique, un micro-bolomètre thermalisé est utilisé au niveau de chaque circuit de lecture de chaque colonne : il y a donc autant de micro-bolomètres thermalisés que de colonnes de la matrice. Dans l'invention, ces cinq micro-bolomètres thermalisés suffisent pour fournir toutes les tensions de grilles **GCM**, ce qui réduit de manière significative la surface utilisée autour des pixels pour former ces micro-bolomètres thermalisés tout en améliorant la précision du courant d'ébasage I_{cm} en moyennant le courant traversant plusieurs micro-bolomètres thermalisés.
- [0088] Dans le circuit **19**, une tension V_{av} issue d'un convertisseur digital analogique, non représenté, permet d'ajuster les tensions de grille **GCM** et, plus particulièrement, le courant I_{cm} destiné à circuler entre le transistor **P1** et le nœud d'intégration **Ne** de chaque circuit de lecture **11**. Pour ce faire, les cinq micro-bolomètres thermalisés sont connectés entre la tension constante **VDET** et la source d'un transistor **N1** de type NMOS.
- [0089] La grille de ce transistor **N1** est connectée sur la sortie d'un amplificateur opérationnel, dont l'entrée positive est reliée à la tension V_{av} et l'entrée négative est connectée sur la source de ce transistor **N1**. Le drain du transistor **N1** est connecté au drain d'un transistor **P1b** de type PMOS. La source de ce transistor **P1b** est connectée à la tension constante **VSK** et la tension de grille de ce transistor **P1b** permet de fournir la tension **GCM**.
- [0090] En outre, ce transistor **P1b** est monté en contre réaction avec la grille reliée au drain de sorte à former, avec le transistor **P1**, un miroir de courant dans lequel le courant I_{cm} obtenu par les micro-bolomètres thermalisés est recopié entre le transistor **P1** et le nœud d'intégration **Ne**. Si le montage de gauche du circuit de lecture **11** de la figure 3

est retourné, ce circuit **19** doit également être retourné.

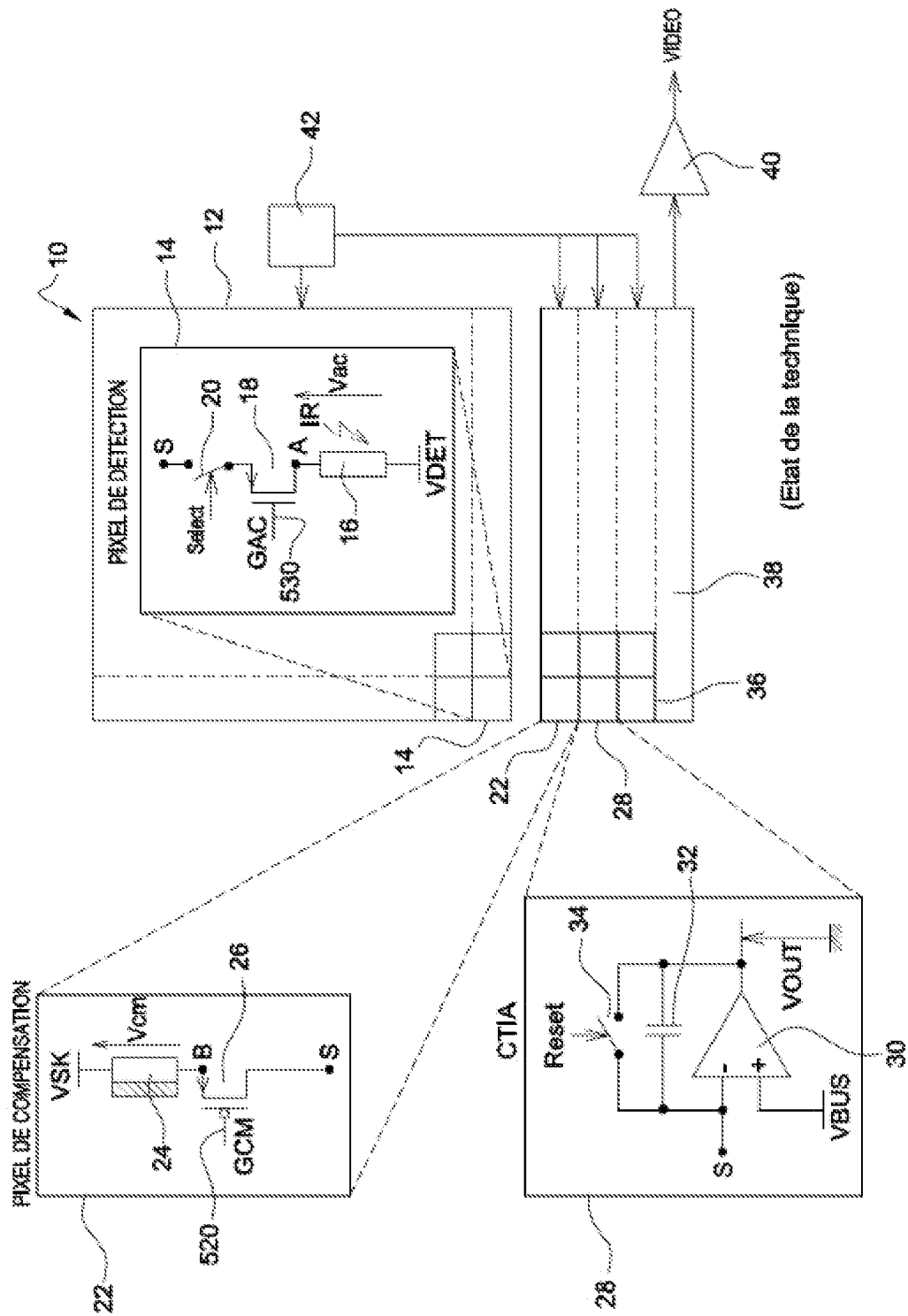
- [0091] Le montage de la figure 5 est proche de celui de la figure 4 à ceci près que la tension de grille **GAC**, n'est pas extraite au niveau de la grille du transistor PMOS **P2**, mais au niveau de la grille du transistor NMOS **N2b**. La tension V_{ac} imposée à l'entrée de l'amplificateur opérationnel permet de fixer la tension aux bornes du micro-bolomètre d'imagerie par un fonctionnement en miroir de courant entre les transistors **N2** et **N2b**.
- [0092] De la même manière, le courant I_{cm2} est recopié par un montage en miroir de courant entre les transistors **N2** de la figure 3 et **N2b** du circuit **21** de la figure 5. Cependant, le courant I_{ac} circulant dans la résistance bolométrique R_{ac} n'est pas directement équivalent à I_{cm2} car celui-ci dépend de l'échauffement du micro-bolomètre d'imagerie provoqué par le flux infrarouge.
- [0093] Ainsi, avec ces éléments très peu nombreux, l'invention permet d'obtenir une lecture très précise de tous les pixels d'un capteur infrarouge.
- [0094] En outre, les éléments du circuit de lecture **11** de la figure 3 peuvent être intégrés sous la surface de chaque pixel de sorte à obtenir une lecture simultanée de tous les pixels d'une image infrarouge. Ce faisant, la vitesse d'acquisition des images infrarouges s'en trouve significativement optimisée, notamment pour des résolutions importantes (et par exemple 1280 x 1024 pixels).

Revendications

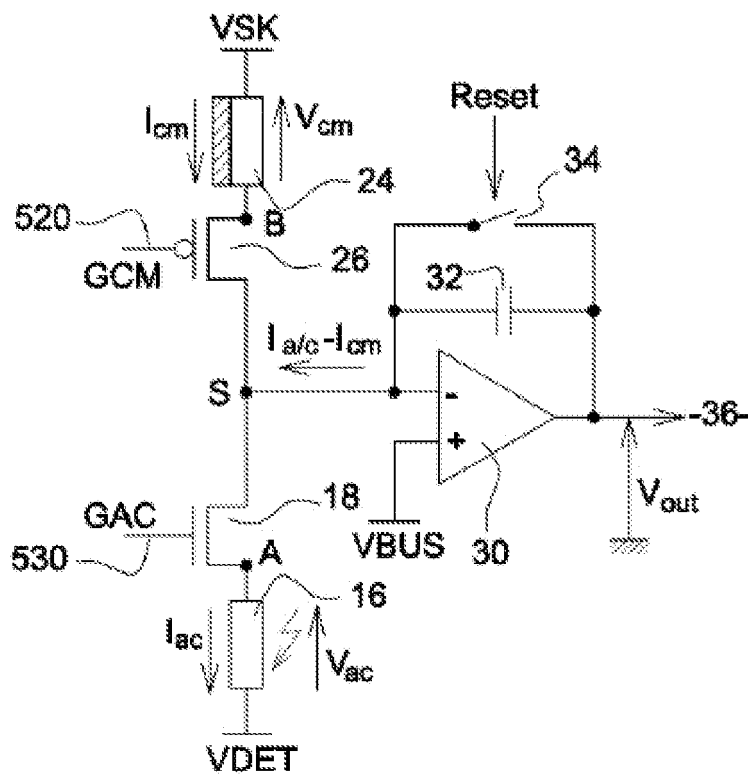
- [Revendication 1] Capteur infrarouge comportant un ensemble de pixels (11) juxtaposés en lignes et en colonnes, chaque pixel (11) intégrant un micro-bolomètre d'imagerie (R_{ac}) connecté entre une tension de référence (VDET) et un nœud d'intégration (Ne) par l'intermédiaire d'un transistor d'injection (N2) dont une tension de grille (GAC) permet de fixer une tension (V_{ac}) aux bornes du micro-bolomètre d'imagerie (R_{ac}), de sorte que les variations de résistance du micro-bolomètre d'imagerie (R_{ac}), dues au rayonnement infrarouge, entraînent une variation d'un courant (I_{ac}) traversant ledit micro-bolomètre d'imagerie (R_{ac}),
caractérisé en ce que le capteur infrarouge comporte, sous la surface de chaque pixel (11), un montage intégrateur comportant :
 – un transistor (N4) monté en amplificateur entre ledit nœud d'intégration (Ne) et un nœud de sortie (No) ; et
 – un condensateur (C_{int}) monté en contre-réaction sur ledit transistor (N4) entre ledit nœud de sortie (No) et ledit nœud d'intégration (Ne) ;
 ledit nœud d'intégration (Ne) étant connecté à un transistor d'ébasage (P1) fonctionnant en miroir de courant avec un transistor de commande d'ébasage (P1b) déporté en dehors dudit pixel (11), un courant d'ébasage (I_{cm}) traversant ledit transistor de commande d'ébasage (P1b) étant commandé en fonction de la température d'au moins un micro-bolomètre thermalisé (R_{cm}), ledit montage en miroir de courant permettant de transmettre le courant d'ébasage (I_{cm}) traversant le transistor de commande d'ébasage (P1b) sur le nœud d'intégration (Ne) de sorte que ledit condensateur (C_{int}) intègre la différence entre ledit courant (I_{ac}) traversant ledit micro-bolomètre d'imagerie (R_{ac}) et ledit courant d'ébasage (I_{cm}).
- [Revendication 2] Capteur infrarouge selon la revendication 1, **dans lequel** la tension de grille (GAC) du transistor d'injection (N2) est commandée en fonction d'un transistor de commande de polarisation (N2b), déporté en dehors dudit pixel (11), en fonction de la température d'au moins un micro-bolomètre thermalisé (R_{cm}).
- [Revendication 3] Capteur infrarouge selon la revendication 1 ou 2, **dans lequel** le courant d'ébasage (I_{cm}) est compris entre 50 et 200 nano ampères.
- [Revendication 4] Capteur infrarouge selon l'une des revendications 1 à 3, **dans lequel** ledit capteur infrarouge comporte des transistors (N1, N2, N2b, N4, P1, P1b, P2, SF) présentant un courant de fuite inférieur à 1nA.

- [Revendication 5] Capteur infrarouge selon l'une des revendications 1 à 4, **dans lequel** le micro-bolomètre d'imagerie (R_{ac}) présente une résistance comprise entre 40 et 60 $M\Omega$ pour une température de 30°C.
- [Revendication 6] Capteur infrarouge selon l'une des revendications 1 à 5, **dans lequel** une polarisation du transistor (N4) monté en amplificateur est réalisée par l'application d'une tension de référence (VBUS) au niveau d'une borne dudit transistor (N4) monté en amplificateur, opposée à la borne reliée audit nœud de sortie (No).
- [Revendication 7] Capteur infrarouge selon la revendication 6, **dans lequel** la tension de référence (VBUS) est appliquée par un transistor (D1) monté en diode.
- [Revendication 8] Capteur infrarouge selon l'une des revendications 1 à 7, **dans lequel** le nœud de sortie (No) est polarisé par l'application d'un courant de polarisation (I_{po}) compris entre 0,5 et 2 micro ampères.
- [Revendication 9] Capteur infrarouge selon l'une des revendications 1 à 8, **dans lequel** le nœud de sortie (No) est relié à un filtre à capacités commutées constitué d'un interrupteur (PART) et d'un condensateur (C_{part}).
- [Revendication 10] Capteur infrarouge selon la revendication 9, **dans lequel** le filtre à capacités commutées est relié à un condensateur de lecture (C_{lec}) destiné à être chargé, après l'intégration, pour permettre une lecture d'une tension tout en réalisant une autre intégration.
- [Revendication 11] Capteur infrarouge selon l'une des revendications 1 à 10, **dans lequel** le nœud de sortie (No) est relié à un transistor (SF) monté en suiveur de tension.

[Fig. 1]

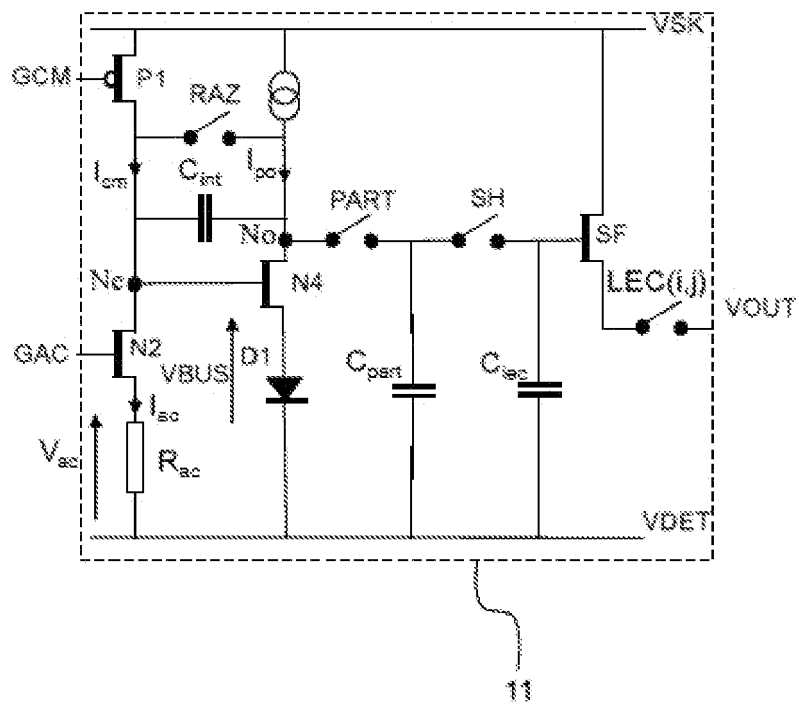


[Fig. 2]

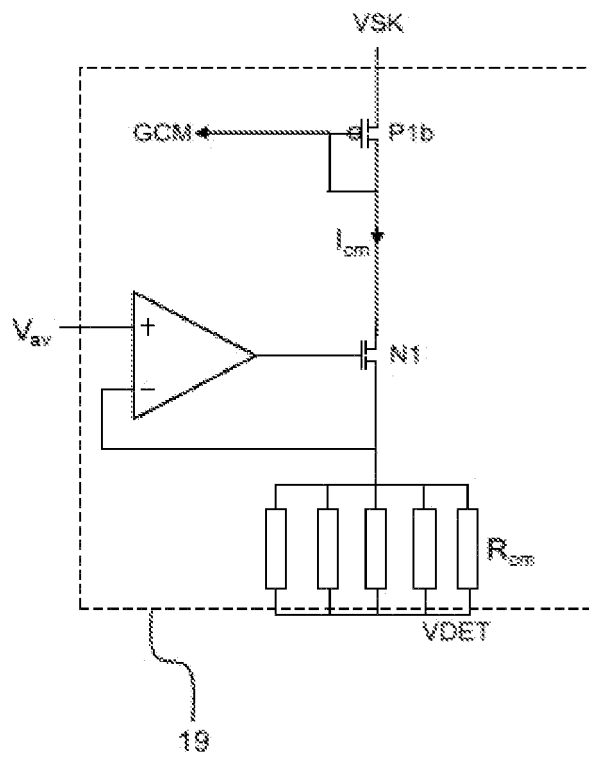


(Etat de la technique)

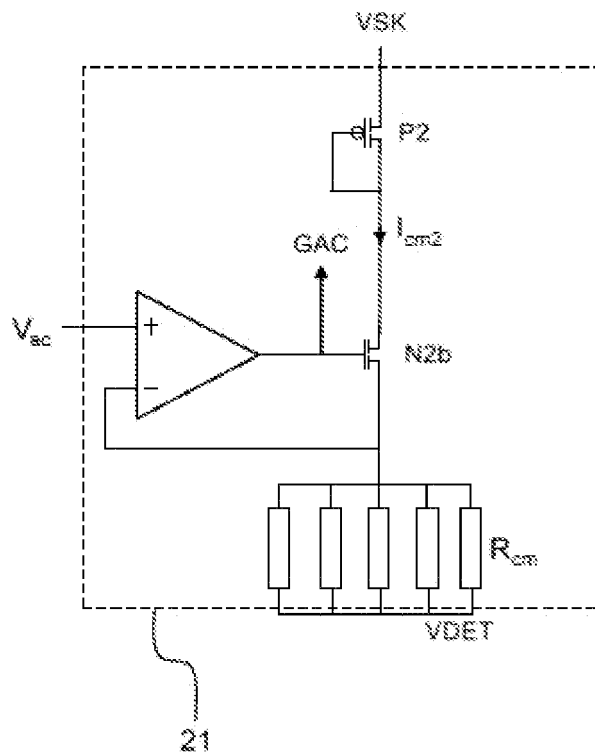
[Fig. 3]



[Fig. 4]



[Fig. 5]



RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

☒ Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

☒ Le demandeur a maintenu les revendications.

☐ Le demandeur a modifié les revendications.

☐ Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

☐ Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

☐ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

☒ Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

☐ Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN
CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

EP 2 209 305 A1 (ULIS [FR])
21 juillet 2010 (2010-07-21)

US 2015/055002 A1 (BECK JEFFERY [US])
26 février 2015 (2015-02-26)

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN
TECHNOLOGIQUE GENERAL**

NEANT

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND
DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT