

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

(11) Nº de publication : 3 034 528
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)
(21) Nº d'enregistrement national : 15 52908
(51) Int Cl⁸ : G 01 S 17/06 (2016.01)

(12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 03.04.15.

(30) Priorité :

(43) Date de mise à la disposition du public de la demande : 07.10.16 Bulletin 16/40.

(56) Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : Se reporter à la fin du présent fascicule

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

Demande(s) d'extension :

(71) Demandeur(s) : STMICROELECTRONICS (GRENOBLE 2) SAS Société par actions simplifiée — FR et STMICROELECTRONICS (RESEARCH & DEVELOPMENT) LIMITED — GB.

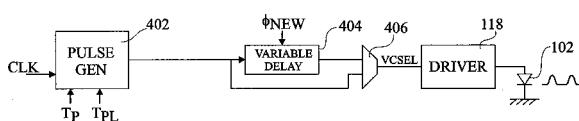
(72) Inventeur(s) : MELLOT PASCAL et BAXTER DONALD.

(73) Titulaire(s) : STMICROELECTRONICS (GRENOBLE 2) SAS Société par actions simplifiée, STMICROELECTRONICS (RESEARCH & DEVELOPMENT) LIMITED.

(74) Mandataire(s) : CABINET BEAUMONT.

(54) PRODUCTION DE SIGNAL OPTIQUE DANS UN RESEAU SPAD.

(57) L'invention concerne un circuit comprenant un premier circuit (402, 404, 406) adapté à produire un signal de tension (VCSEL) pour générer une impulsion optique, le signal de tension étant produit en fonction d'un signal de contrôle de phase (Φ_{NEW}) ; un réseau de cellules SPAD (diode à avalanche à photon unique) adapté à détecter la phase de l'impulsion optique ; et un circuit de contrôle de phase adapté à produire le signal de contrôle de phase (Φ_{NEW}) en fonction d'une phase cible (Φ_T) et de la phase détectée (Φ_C) de l'impulsion optique.



PRODUCTION DE SIGNAL OPTIQUE DANS UN RESEAU SPADDomaine

La présente invention concerne le domaine des réseaux SPAD, de l'anglais "single photon avalanche diode" (diode à avalanche à photon unique), et en particulier un circuit et un procédé pour produire un signal optique.

Arrière-plan

Les réseaux SPAD peuvent être utilisés pour un grand nombre d'applications, incluant la mesure de distance, la reconnaissance de mouvements en Z ou en 3D, et l'imagerie 3D. Un dispositif adapté à de telles applications comprend en général un laser qui émet une impulsion lumineuse vers une scène image. La lumière réfléchie par tout objet de la scène est détectée par le réseau SPAD, et est utilisée pour déterminer le temps de parcours de l'impulsion lumineuse. La distance entre l'objet et le dispositif peut alors être déduite de ce temps de parcours.

La détection par le réseau SPAD du retour de l'impulsion lumineuse est basée sur une détection d'évènement dans les cellules du réseau SPAD. En particulier, chaque cellule fournit une impulsion de sortie quand un photon est détecté et, en surveillant les évènements, on peut estimer l'instant d'arrivée du retour de l'impulsion.

Un problème est que la précision de l'estimation du temps de parcours déterminé peut être dégradée par les caractéristiques temporelles de l'impulsion lumineuse.

Résumé

5 Un objet de modes de réalisations de la présente invention est de résoudre au moins partiellement un ou plusieurs des problèmes de l'art antérieur.

Selon un aspect, un mode de réalisation prévoit un circuit comprenant un premier circuit adapté à produire un signal de tension pour générer une impulsion optique, le signal de tension étant produit en fonction d'un signal de contrôle de phase ; un réseau de cellules SPAD (diode à avalanche à photon unique) adapté à détecter la phase de l'impulsion optique ; et un circuit de contrôle de phase adapté à produire le signal de 10 contrôle de phase en fonction d'une phase cible et de la phase détectée de l'impulsion optique.

Selon un mode de réalisation, le circuit comprend en outre un second circuit adapté à produire la valeur de phase cible en fonction d'une cadence de comptage de fond.

20 Selon un mode de réalisation, le second circuit est une table de correspondance.

Selon un mode de réalisation, le second circuit est adapté à produire une première valeur de phase cible pour une première cadence de comptage de fond ; et une deuxième valeur de 25 phase cible, correspondant à une caractéristique temporelle de l'impulsion optique survenant après la première valeur de phase cible, pour une deuxième cadence de comptage de fond plus élevée que la première cadence de comptage de fond.

Selon un mode de réalisation, le signal de contrôle de 30 phase est une valeur numérique, et le circuit de contrôle de phase est adapté à comparer la valeur de phase cible et la phase détectée, et à incrémenter et décrémenter le signal de contrôle de phase en fonction de cette comparaison.

Selon un mode de réalisation, le premier circuit 35 comprend un circuit de génération d'impulsions pour produire un

premier signal comportant des impulsions de tension ; et un circuit de retard variable adapté à appliquer un retard au premier signal en fonction du signal de contrôle de phase afin de produire le signal de tension.

5 Selon un mode de réalisation, le circuit comprend en outre un pilote pour commander une source lumineuse produisant les impulsions optiques en fonction du signal de tension.

10 Selon un mode de réalisation, le réseau de cellules SPAD adapté à détecter la phase de l'impulsion optique est un réseau SPAD de référence écranté vis à vis de la scène image et adapté à recevoir l'impulsion optique, le circuit comprenant de plus un autre réseau de cellules SPAD adapté à recevoir l'impulsion optique revenant de la scène image.

15 Selon un autre aspect, un procédé prévoit la production, par un premier circuit, d'un signal de tension pour la génération d'une impulsion optique, le signal de tension étant produit en fonction d'un signal de contrôle de phase; la détection de la phase de l'une impulsion optique par un réseau de cellules SPAD ; et la production d'un signal de contrôle de phase par un circuit 20 de contrôle en fonction d'une valeur cible de phase et de la phase détectée de l'impulsion optique.

Brève description des dessins

25 Les caractéristiques et avantages susmentionnés, ainsi que d'autres, apparaîtront clairement à la lecture de la description détaillée suivante de modes de réalisation, donnée à titre d'illustration et non de limitation, en référence aux dessins joints parmi lesquels :

La figure 1 représente schématiquement un dispositif SPAD selon un exemple de réalisation de la présente invention ;

30 la figure 2 représente schématiquement de manière plus détaillée le circuit de détection de retard de la figure 1 selon un exemple de réalisation ;

la figure 3 est un chronogramme illustrant des exemples de signaux du circuit de la figure 2 selon un exemple de 35 réalisation ;

la figure 4 représente schématiquement un circuit de génération d'impulsions optiques selon un exemple de réalisation ;

la figure 5 représente schématiquement un circuit de contrôle de phase selon un exemple de réalisation ; et

5 la figure 6 est un organigramme illustrant un procédé permettant de déterminer un déphasage à appliquer au signal optique selon un exemple de réalisation.

Description détaillée

Dans la présente description, le terme "connecté" est
10 utilisé pour désigner une connexion électrique directe entre deux éléments, tandis que le terme "couplé" est utilisé pour désigner une connexion électrique entre deux éléments qui peut être directe ou par l'intermédiaire d'un ou de plusieurs autres composants comme des résistances, des condensateurs ou des transistors. De
15 plus, ici, le terme "approximativement" est utilisé pour désigner un intervalle de +/- 10 pourcent de la valeur en question.

La figure 1 illustre un dispositif SPAD 100, qui est par exemple un dispositif de mesure de distance, un dispositif de reconnaissance de mouvements en Z ou en 3D, ou un dispositif
20 d'imagerie 3D. Le dispositif 100 comprend une source lumineuse 102, qui peut par exemple être un laser, produisant un rayon d'impulsions lumineuses émis vers une scène image, par exemple par l'intermédiaire d'une lentille 104. Les impulsions lumineuses de retour sont par exemple reçues par une lentille supplémentaire
25 106.

Le dispositif SPAD 100 comprend en outre un circuit de détection 108 qui détermine la distance entre le dispositif 100 et un objet dans la scène image sur lequel les impulsions lumineuses se reflètent. Le circuit de détection 108 comprend par exemple un réseau SPAD cible (TARGET SPAD) 110, qui reçoit le retour des impulsions lumineuses par l'intermédiaire de la lentille 106. Le réseau SPAD cible 110 comprend par exemple entre 4 et quelques centaines de cellules SPAD. Dans un exemple, le réseau est une matrice 12 par 12 comprenant 144 cellules SPAD.

Le circuit de détection 108 comprend aussi, par exemple, un réseau SPAD de référence (REF SPAD) 112, qui est par exemple de mêmes dimensions que le réseau SPAD cible 110, et qui reçoit une réflexion interne des impulsions lumineuses émises. Un circuit de détection de retard (DELAY DETECTION) 114 est par exemple couplé au réseau SPAD cible 110 et au réseau SPAD de référence 112, et estime le retard entre chaque impulsion lumineuse émise et l'impulsion lumineuse reçue en retour par le réseau SPAD cible 110. Le circuit de détection 108 comprend aussi par exemple un circuit de génération de fréquence (FREQUENCY GENERATION) 116, qui génère un signal de tension VCSEL fourni à un pilote (DRIVER) 118 pour qu'il génère un signal de commande de la source lumineuse 102. Le signal VCSEL est par exemple produit en fonction d'un signal de contrôle de phase ϕ_{NEW} fourni par le circuit de détection de retard 114, tel que décrit ci-après de manière plus détaillée.

La figure 2 représente schématiquement et de manière plus détaillée un mode de réalisation d'un circuit 200 faisant partie du circuit de détection de retard 114 de la figure 1. Le circuit 200 reçoit des signaux des cellules du réseau SPAD de référence 112. Un circuit similaire est par exemple prévu pour recevoir les signaux à partir des cellules du réseau SPAD cible 110.

Le circuit 200 comprend, par exemple, un arbre de portes OU (OR TREE) 202 dont les entrées sont couplées respectivement à chacune des cellules SPAD, SPAD1 à SPADN, du réseau 112, et qui fournit, sur sa ligne de sortie 204, des impulsions produites chaque fois qu'un événement est détecté par l'une des cellules SPAD. La ligne de sortie 204 est couplée à des compteurs qui comptent les événements détectés. Dans l'exemple de la figure 2, la ligne de sortie 204 est couplée à l'entrée d'horloge d'un compteur montant (UP) 206 et d'un compteur descendant (DN) 208. Le compteur montant 206 est validé pendant une période de comptage montant par un signal (UP) reçu d'un circuit de génération de synchronisation (TIMING GEN) 210 qui reçoit un signal d'horloge CLK. De même, le compteur descendant 208 est validé pendant une

période de comptage descendant par un signal DN reçu du circuit de génération de synchronisation 210. La sortie du compteur 206 est par exemple cadencée par une bascule 212 en fonction du signal d'horloge CLK, et la sortie du compteur 208 est par exemple 5 cadencée par une bascule 214 en fonction du signal d'horloge CLK. La différence entre les sorties des bascules 212 et 214 est réalisée par un module de soustraction 216 qui fournit un signal COUNT_SUM. Ce signal est analysé par un circuit d'analyse 218 afin de déterminer une phase à appliquer par le circuit génération de 10 synchronisation 210.

Le circuit 200 comprend en outre par exemple un circuit de contrôle de phase (CTRL) 220 adapté à fournir le signal de contrôle de phase ϕ_{NEW} en fonction du signal de phase produit par le circuit d'analyse 218 et, dans certains modes de réalisation, 15 en fonction d'une cadence de comptage de fond. La cadence de comptage de fond est une cadence de comptage détectée par exemple à partir du signal sur la ligne 204 à la sortie de l'arbre de portes OU 202 pendant qu'aucune impulsion optique n'est émise.

Le circuit de la figure 2 constitue un exemple 20 particulier de mise en oeuvre d'un circuit de détection pour un réseau SPAD. Cependant, il apparaîtra clairement à l'homme de l'art que les principes du procédé de génération d'impulsions optiques décrit ici pourraient être appliqués à différents types de circuits SPAD.

La figure 3 est un chronogramme qui illustre des 25 exemples du signal d'horloge CLK fourni au circuit de génération de synchronisation, du signal VCSEL, de la forme des impulsions optiques émises telles qu'elles sont reçues par le réseau SPAD de référence 112, des signaux PHASE et PHASE' indiquant la phase des 30 impulsions optiques telles qu'elles sont détectées par le circuit d'analyse 218 de la figure 2, des signaux UP et DN produits par le circuit de génération de synchronisation 210, du signal de phase le plus précoce (EARLIEST PHASE) et du signal de phase le plus tardif (LATEST PHASE).

Dans l'exemple de la figure 3, la période des impulsions optiques, notée VCSEL_PERIOD, est égale à huit périodes du signal d'horloge CLK, bien que d'autres valeurs puissent être possibles. Par exemple l'impulsion du signal VCSEL se produit pendant les deux premières périodes d'horloge de l'horloge CLK au début de chaque période VCSEL. Bien sûr, en fonction du retard introduit par le pilote 118 et par la source lumineuse 102, le signal VCSEL pourrait avoir une position très différente, par exemple se produire avant le début de la période VCSEL indiquée en figure 3.

Le signal de phase a des fronts montants qui correspondent aux instants où les signaux de comptage descendant DN, et de comptage montant UP, se croisent, et comme cela est représenté par les signaux PHASE et PHASE', la valeur de phase bascule par exemple entre deux valeurs adjacentes. Dans l'exemple de la figure 3, le signal de phase produit par le circuit d'analyse 218 indique une phase de l'impulsion optique se produisant entre les troisième et quatrième fronts montants de l'horloge CLK pendant chaque période VCSEL. La valeur de la phase bascule par exemple entre ces valeurs. Par exemple, le circuit de génération de synchronisation produit des signaux DN et UP en fonction de ce signal de phase, dont des exemples sont montrés en figure 3. Ces signaux DN et UP définissent ensemble une fenêtre de comptage pendant laquelle le compteur 208 compte d'abord les événements détectés, et ensuite le compteur 206 compte les événements détectés. En particulier, la valeur de comptage produite par le compteur 208 va augmenter chaque fois qu'un événement est détecté quand le signal DN est activé, et la valeur de comptage produite par le compteur 206 va augmenter chaque fois qu'un événement est détecté pendant que le signal UP est activé. Le module 216 génère alors le signal COUNT_SUM qui est la différence entre ces deux valeurs de comptage.

Par exemple, le circuit d'analyse 218 intègre le signal COUNT_SUM. Si le résultat de l'intégration augmente au-delà d'un premier seuil, le signal de phase est incrémenté afin de retarder la fenêtre de comptage définie par les signaux DN et UP. Si le

résultat de l'intégration diminue en dessous d'un second seuil, le signal de phase est décrémenté afin d'avancer le départ de la fenêtre de comptage définie par les signaux DN et UP. En ajustant le moment de départ de la fenêtre de comptage, le nombre 5 d'événements détectés pendant les périodes UP, DN va être modifié, et la phase va finalement basculer entre deux valeurs adjacentes ce qui permet qu'une phase moyenne de l'impulsion optique soit déduite.

Le front montant du signal de phase PHASE a des positions 10 minimum et maximum basées sur la période VCSEL. Dans un exemple basé sur une période d'impulsions optiques égale à 8 périodes d'horloge, la phase la plus précoce correspond au premier front montant de la période VCSEL, et la phase la plus tardive correspond au septième front montant de la période VCSEL. Le signal de phase 15 final est produit en moyennant les signaux de phase produits sur une pluralité de périodes VCSEL. Si l'impulsion optique est positionnée en dehors des limites maximum et minimum, la valeur de phase sera écrêtée entre ces limites, provoquant un décalage dans la valeur de phase moyenne finale. Plus le signal et le 20 niveau de comptage de fond sont élevés, plus la position de la phase aura tendance à varier et plus elle aura de chance de se heurter à l'une des limites.

Il est souhaitable que l'impulsion optique soit 25 positionnée le plus tôt possible au cours de la période VCSEL, sans qu'un écrêtage survienne, en d'autres termes un temps libre doit être maintenu avant la phase la plus précoce. En fait, comme ceci est indiqué par une durée référencée 302 en figure 3, l'intervalle de phase disponible pour le retour de l'impulsion lumineuse correspond aux fronts montants de la période VCSEL entre 30 le signal de phase de référence et la fin de la période VCSEL. Ainsi, afin de maintenir un grand intervalle dynamique de lecture du temps de parcours, il est préférable que le signal de référence de phase soit précoce dans la période VCSEL. Des circuits permettant d'ajuster la phase du signal d'impulsion optique vont 35 maintenant être décrits en relation avec les figures 4 à 6.

La figure 4 représente de manière plus détaillée le circuit de génération d'impulsions lumineuses. Un circuit de génération d'impulsions (PULSE GEN) 402 génère par exemple, à partir du signal l'horloge CLK, un signal de tension comportant des impulsions ayant une longueur d'impulsion adaptée, en fonction de la longueur des impulsions de lumière à transmettre, et une période correspondant à la période VCSEL. Par exemple, la longueur d'impulsion est commandable par un signal d'entrée T_{PL} du circuit 402, et la période est commandable par un signal d'entrée T_p du circuit 402. Le signal de tension de sortie du circuit de génération d'impulsions 402 est par exemple fourni à un circuit de retard variable (VARIABLE DELAY) 404, qui reçoit le signal de contrôle de phase ϕ_{NEW} , et retarde le signal de tension d'un retard en fonction du signal ϕ_{NEW} . Par exemple, le signal ϕ_{NEW} est une valeur numérique comprise entre 1 et M, où M est le nombre de valeurs de phase discrètes dans la période VCSEL. Chacune des valeurs M du signal ϕ_{NEW} sélectionne par exemple un retard différent, chaque retard correspond par exemple à un nombre différent de périodes du signal d'horloge CLK. A titre de variante, dans certains modes de réalisation, les incrémentés de retard peuvent être plus petits que les périodes du signal d'horloge CLK, et pourraient par exemple être des retards analogiques.

Dans des modes de réalisation, un multiplexeur 406 permettant de contourner le circuit de retard variable 404 est prévu. Par exemple, le multiplexeur 406 a une entrée couplée à la sortie du circuit de retard variable 404, et son autre entrée couplée directement à la sortie du circuit de génération d'impulsions 402.

Le signal ϕ_{NEW} est par exemple produit en fonction d'une phase cible et d'une cadence de comptage de fond, comme ceci va maintenant être décrit en relation avec la figure 5.

La figure 5 représente de manière plus détaillée un exemple de réalisation du circuit de contrôle de phase 220.

Dans l'exemple de la figure 5, la cadence de comptage de fond est déterminée à partir du réseau SPAD cible 110 de la figure 1. Par exemple, la cadence de comptage de fond est déterminée par un compteur (COUNTER) 502 dont l'entrée d'horloge 5 est couplée à la ligne 204 à la sortie de l'arbre de portes OU 202 qui reçoit les signaux du réseau SPAD cible 110. Le compteur 502 est par exemple validé par un signal de validation AMBIENT_EN, qui est activé pendant les périodes où aucun signal optique n'est émis, de sorte que seuls les événements qui se produisent dans 10 les conditions ambiantes peuvent être mesurés. La sortie du compteur fournit le signal de cadence de comptage de fond AMBIENT_RATE.

Le signal de cadence de comptage de fond est par exemple utilisé pour déterminer une phase cible de l'impulsion optique.

15 Dans un exemple, dans des conditions de faible éclairage ambiant, la phase cible est sélectionnée de manière relativement proche du début de la période VCSEL. En fait, les inventeurs ont trouvé que dans des conditions de faible éclairage ambiant, la dispersion des mesures de la phase tend à être relativement 20 faible, et ainsi il y a un risque réduit d'écrêtage de la phase. Cependant, dans des conditions de fort éclairage ambiant, les inventeurs ont trouvé une dispersion accrue dans les mesures de la phase, et ainsi la phase cible est par exemple sélectionnée pour être plus éloignée du départ de la période VCSEL. Une telle 25 sélection va réduire l'intervalle dynamique, mais aussi réduire le risque d'écrêtage.

Par exemple, la phase cible est fournie par une table de correspondance (LUT) 504 en fonction de la cadence de comptage de fond. La LUT 504 stocke par exemple une pluralité de phases 30 optiques, chacune d'elles étant associée à une cadence de comptage de fond correspondante.

La phase cible ϕ_T est par exemple fournie à un circuit de traitement (P) 506. Le circuit 506 compare par exemple la phase cible ϕ_T et la phase courante ϕ_C de l'impulsion optique, et adapte 35 en fonction le signal de contrôle de phase ϕ_{NEW} . Par exemple, la

phase courante ϕ_C correspond à la phase fournie par le circuit d'analyse 218 (CURRENT PHASE), arrondie (ROUND) au plus proche front montant de l'horloge. Un exemple du procédé appliqué par le circuit de traitement 506 va maintenant être décrit en référence 5 avec la figure 6. Ce procédé peut être mis en oeuvre de manière matérielle ou logicielle, ou par une combinaison des deux.

La figure 6 est un organigramme qui illustre les étapes dans un procédé de détermination du signal de contrôle de phase ϕ_{NEW} .

10 A une première étape 601, la phase cible ϕ_T est déterminée, par exemple en utilisant une table de correspondance telle que décrite ci-dessus en référence à la figure 5. Dans des modes de réalisation, la phase cible pourrait être une valeur fixe.

15 A une étape 602, on détermine si la phase cible ϕ_T est plus grande que la phase courante ϕ_C . Si oui, la valeur de phase ϕ_{NEW} est incrémentée lors d'une étape 603. On répète alors par exemple l'étape 601 quand une nouvelle lecture de phase courante ϕ_C est disponible. Si non, si la phase cible ϕ_T n'est pas plus 20 grande que la phase courante ϕ_C , l'étape suivante est l'étape 604.

A l'étape 604, on détermine si la phase cible ϕ_T et la phase courante ϕ_C sont égales. Si oui, l'étape suivante est l'étape 605, au cours de laquelle la valeur courante du signal de contrôle de phase ϕ_{NEW} est maintenue. On répète alors par exemple l'étape 25 601 quand une nouvelle lecture de phase courante ϕ_C est disponible.

Si non, si à l'étape 604 les valeurs de phase ϕ_C et ϕ_T ne sont pas égales, la phase cible ϕ_T doit être plus petite que la phase courante ϕ_C , et la valeur de phase ϕ_{NEW} est décrémentée dans une étape 606. On répète alors par exemple l'étape 601 quand une 30 nouvelle lecture de phase courante ϕ_C est disponible.

Bien sûr, il apparaîtra à l'homme de l'art que le procédé de la figure 6 est seulement un exemple, et que beaucoup de modifications pourraient être appliquées à ce procédé, comme de changer l'ordre des étapes de comparaison 602 et 604.

Un avantage des modes de réalisation décrits ici est que le positionnement d'une impulsions optique au cours d'une période de détection peut être contrôlé d'une manière simple, augmentant de la sorte la précision du processus d'estimation de la phase en 5 évitant l'écrêtage. De plus, en faisant varier la phase cible en fonction des niveaux de lumière ambiantes, l'intervalle dynamique du dispositif peut être relativement élevé pour des niveaux d'éclairage ambiant donnés.

Bien qu'au moins un mode de réalisation illustratif ait 10 été décrit, diverses variantes, modifications ou améliorations apparaîtront facilement à l'homme de l'art.

Par exemple, il apparaîtra facilement à l'homme de l'art que, bien que les modes de réalisation décrits utilisent des transistors de type MOS, d'autres modes de réalisation pourraient 15 au moins partiellement être faits à partir d'autres types de transistors, par exemple des transistors bipolaires.

De plus, il apparaîtra facilement à l'homme de l'art que le rail d'alimentation positive et le rail de masse dans les différents modes de réalisation peuvent être échangés l'un avec 20 l'autre et qu'à la place d'une tension de masse, un niveau de tension d'alimentation différent pourrait être utilisé, comme une tension négative.

De plus, il apparaîtra à l'homme de l'art que les divers éléments décrits en relation avec des divers modes de réalisation 25 pourraient être combinés, de n'importe quelle manière, en d'autres modes de réalisation.

REVENDICATIONS

1. Circuit comprenant :

un premier circuit (116, 402, 404, 406) adapté à produire un signal de tension (VCSEL) pour générer une impulsion optique, le signal de tension étant produit en fonction d'un 5 signal de contrôle de phase (ϕ_{NEW}) ;

un réseau (112) de cellules SPAD (diode à avalanche à photon unique) adapté à détecter la phase de l'impulsion optique ; et

10 un circuit de contrôle de phase (220) adapté à produire le signal de contrôle de phase (ϕ_{NEW}) en fonction d'une phase cible (ϕ_T) et de la phase détectée (ϕ_C) de l'impulsion optique.

2. Circuit selon la revendication 1, comprenant en outre un second circuit (504) adapté à produire la valeur de phase cible (ϕ_T) en fonction d'une cadence de comptage de fond 15 (AMBIENT_RATE).

3. Circuit selon la revendication 2, dans lequel le second circuit (504) est une table de correspondance.

4. Circuit selon la revendication 2 ou 3, dans lequel le second circuit (504) est adapté à produire :

20 une première valeur de phase cible pour une première cadence de comptage de fond ; et

une deuxième valeur de phase cible, correspondant à une caractéristique temporelle de l'impulsion optique survenant après la première valeur de phase cible, pour une deuxième cadence de 25 comptage de fond plus élevée que la première cadence de comptage de fond.

5. Circuit selon l'une quelconque des revendications 2 à 4, dans lequel le signal de contrôle de phase (ϕ_{NEW}) est une valeur numérique, et le circuit de contrôle de phase (220) est adapté à comparer la valeur de phase cible et la phase détectée, et à incrémenter et décrémenter le signal de contrôle de phase (ϕ_{NEW}) en fonction de cette comparaison.

6. Circuit selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel le premier circuit (116, 402, 404, 406) comprend :

un circuit de génération d'impulsions (402) pour produire un premier signal comportant des impulsions de tension ; et

5 un circuit de retard variable adapté à appliquer un retard au premier signal en fonction du signal de contrôle de phase (ϕ_{NEW}) afin de produire le signal de tension (VCSEL).

7. Circuit selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, comprenant en outre un pilote (118) pour commander une source lumineuse (102) produisant les impulsions optiques en fonction du 10 signal de tension (VCSEL).

8. Circuit selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans lequel le réseau (112) de cellules SPAD adapté à détecter la phase de l'impulsion optique est un réseau SPAD de référence écranté vis à vis de la scène image et adapté à recevoir 15 l'impulsion optique, le circuit comprenant de plus un autre réseau (110) de cellules SPAD adapté à recevoir l'impulsion optique revenant de la scène image.

9. Procédé comprenant :

la production, par un premier circuit, d'un signal de 20 tension (VCSEL) pour la génération d'une impulsion optique, le signal de tension étant produit en fonction d'un signal de contrôle de phase (ϕ_{NEW}) ;

la détection de la phase de l'une impulsion optique par un réseau (112) de cellules SPAD ; et

25 la production d'un signal de contrôle de phase (ϕ_{NEW}) par un circuit de contrôle en fonction d'une valeur cible de phase (ϕ_T) et de la phase détectée (ϕ_C) de l'impulsion optique.

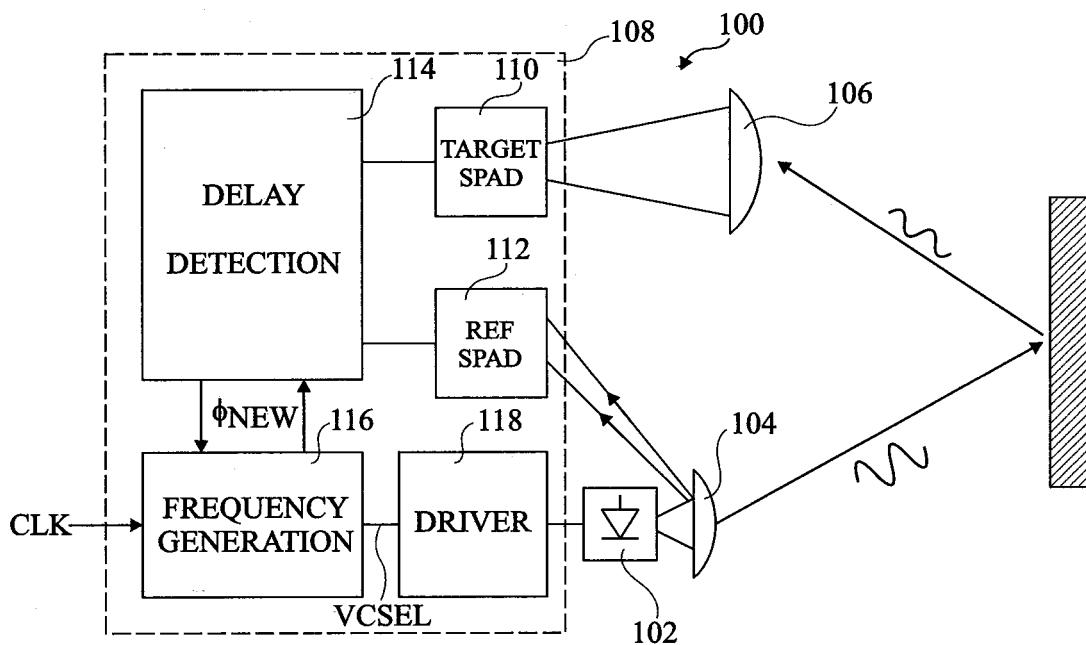


Fig 1

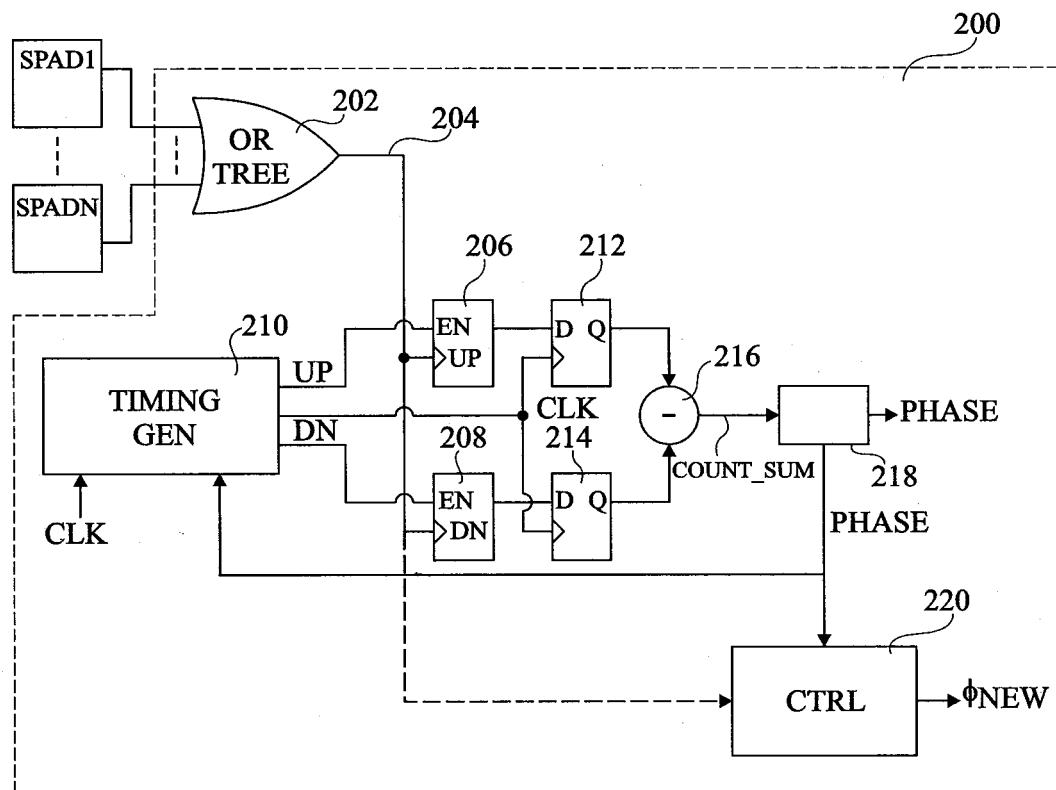


Fig 2

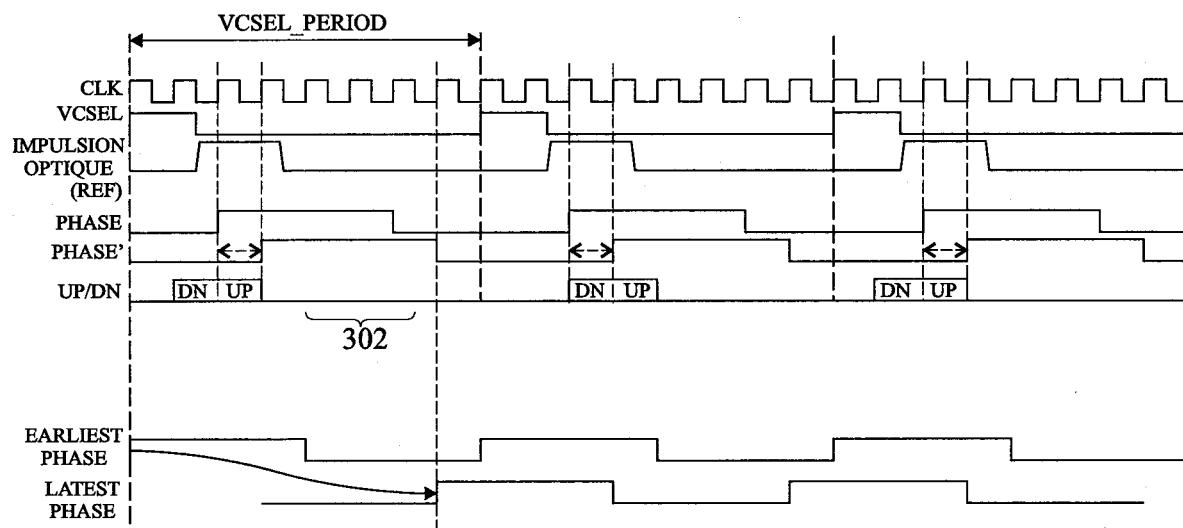


Fig 3

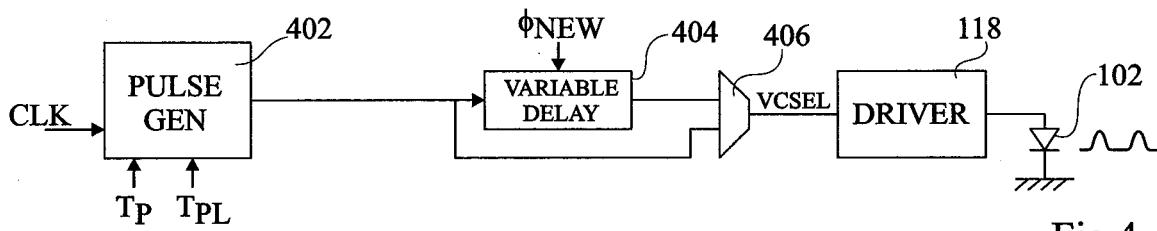


Fig 4

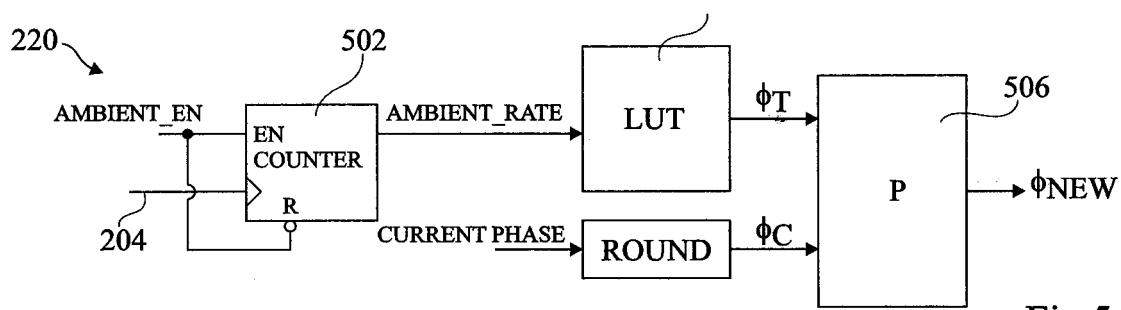


Fig 5

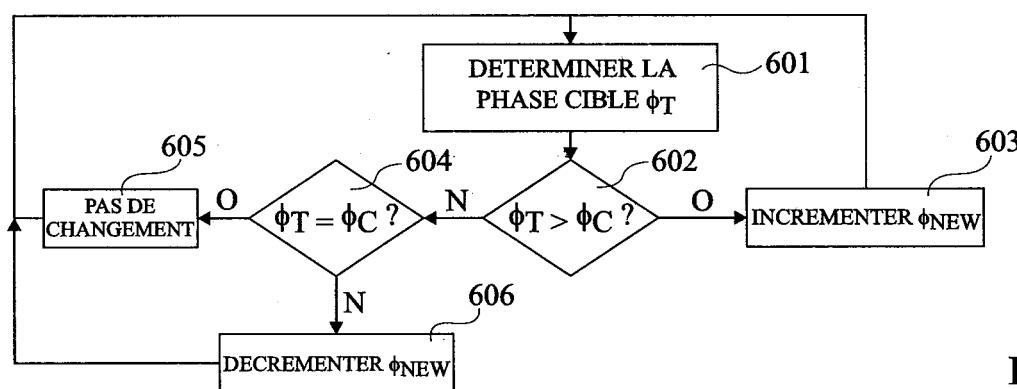


Fig 6

**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

 établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche
N° d'enregistrement
nationalFA 812370
FR 1552908

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
X	EP 2 264 481 A1 (IEE SARL [LU]) 22 décembre 2010 (2010-12-22) * abrégé *	1,3,5-7, 9	G01S17/06
Y	US 2014/231630 A1 (RAE BRUCE [GB] ET AL) 21 août 2014 (2014-08-21) * abrégé; figures 2,3,13 * * alinéas [0040], [0082], [0092], [0095], [0097], [0100] * -----	2,8 8	
Y	US 8 610 043 B2 (BAXTER DAVID PATRICK [GB]) 17 décembre 2013 (2013-12-17) * abrégé; figure 2 * * colonne 4, ligne 49 - colonne 6, ligne 30 *	2	
A	FR 2 980 586 A1 (ST MICROELECTRONICS GRENOBLE 2 [FR]) 29 mars 2013 (2013-03-29) * abrégé; revendications 8,13; figure 1 * -----	1-9	
			G01S
2	Date d'achèvement de la recherche 22 janvier 2016	Examinateur Mercier, Francois	
EPO FORM 1503 12.99 (F04C14)	CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire	T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1552908 FA 812370**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **22-01-2016**

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 2264481 A1 22-12-2010	EP 2264481 A1 WO 2010139609 A1	22-12-2010 09-12-2010	
US 2014231630 A1 21-08-2014	CN 103994829 A GB 2510890 A US 2014231630 A1	20-08-2014 20-08-2014 21-08-2014	
US 8610043 B2 17-12-2013	GB 2485995 A US 2012153120 A1 US 2014091206 A1	06-06-2012 21-06-2012 03-04-2014	
FR 2980586 A1 29-03-2013	FR 2980586 A1 US 2013077082 A1	29-03-2013 28-03-2013	