

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

11 N° de publication : **2 556 841**
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)
21 N° d'enregistrement national : **83 20052**
51 Int Cl^a : G 01 P 5/00; G 01 S 17/58.

12 **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

A1

22 Date de dépôt : 14 décembre 1983.

30 Priorité :

43 Date de la mise à disposition du public de la demande : BOPI « Brevets » n° 25 du 21 juin 1985.

60 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

71 Demandeur(s) : OFFICE NATIONAL D'ETUDES ET DE RECHERCHES AEROSPATIALES (par abréviation : O.N.E.-R.A.) — FR.

72 Inventeur(s) : Dominique Léger et Gérard Serrot.

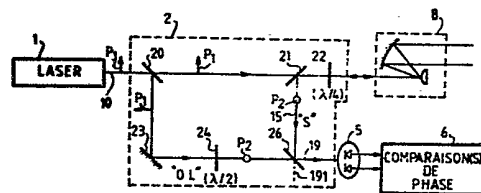
73 Titulaire(s) :

74 Mandataire(s) : Cabinet Netter.

54 Procédé et dispositif de vélocimétrie laser Doppler à détection homodyne.

57 Un vélocimètre laser à détection homodyne est construit à partir d'un laser 1, dont le rayonnement, polarisé linéairement, est appliqué en 10 à un montage optique 2 du type interféromètre de Mach-Zender. Le faisceau de mesure frappe directement ou à travers un télescope 8 l'objet dont la vitesse est à mesurer.

Le faisceau signal S et le faisceau oscillateur local O. L. sont produits avec un léger décalage angulaire l'un par rapport à l'autre, avant de venir frapper un détecteur double 5. Le décalage angulaire est choisi de sorte que les fronts d'ondes des deux faisceaux soient décalés d'une demi-longueur d'onde sur l'ensemble de la surface du détecteur double 5. La comparaison des phases des signaux reçus par les deux détecteurs fournit le signe de la vitesse.



FR 2 556 841 - A1

Aff. 223

1

Procédé et dispositif de vélocimétrie laser Doppler à
détection homodyne.

5 L'invention concerne la vélocimétrie laser à détection homo-
dyne, consistant à produire un signal de battement entre le
faisceau d'ondes émis par un laser en direction d'une cible
et le faisceau rétrodiffusé affecté d'un effet Doppler pro-
portionnel à la vitesse de déplacement relatif de la cible
et du laser.

10

L'intérêt de cette technique particulière de détection, par
rapport à la détection hétérodyne, réside en ce qu'elle con-
duit à la réalisation d'un équipement de mesure de vitesse
plus simple, peu fragile, et peu consommateur d'énergie. Ceci
15 la rend très intéressante pour les systèmes destinés à être
embarqués à bord d'un aéronef.

20

Il est par exemple intéressant d'embarquer à bord d'un héli-
coptère un vélocimètre laser infrarouge, dans le but de me-
surer la vitesse de l'hélicoptère par rapport à l'air, la
zone de visée du laser étant située hors des turbulences aéro-
dynamiques engendrées par l'hélicoptère. Ce vélocimètre doit
donc fournir le module et le signe de la vitesse de déplace-
ment du mobile par rapport à la zone de visée. Une difficulté
25 apparaît alors : difficilement embarquables, les vélocimètres
laser à détection hétérodyne ne conviennent pas à ce genre

d'application ; de leur côté, les vélocimètres laser à détection homodyne, qui sont embarquables, ne fournissent jusqu'à présent qu'une information de module ou valeur absolue de la vitesse, sans son signe.

5

La présente invention surmonte cette difficulté, en proposant un procédé et un dispositif de vélocimétrie laser à détection homodyne perfectionnés.

10 De manière connue, un tel procédé comprend les opérations suivantes :

a) on envoie un faisceau laser dans une direction où on désire mesurer la vitesse du déplacement relatif d'un ou plusieurs
15 objets par rapport au laser,

b) on recueille sélectivement le faisceau rétrodiffusé dans la même direction,

20 c) on mélange ce faisceau rétrodiffusé à un faisceau de référence tiré du faisceau laser initial, et

d) on détecte le faisceau mélangé, la ou les fréquences de battement obtenues étant représentatives du module de la vitesse
25 relative du ou desdits objets.

Selon une caractéristique générale de l'invention, à l'étape c), le mélange des faisceaux s'effectue de manière à obtenir, au moins au niveau de la détection, un léger décalage angulaire de leurs surfaces d'onde respectives, et à l'étape d),
30 sont effectuées séparément au moins deux détections, en des zones décalées l'une de l'autre d'une manière prédéterminée transversalement au faisceau mélangé et à l'axe du décalage angulaire entre les surfaces d'onde.

35

La comparaison des phases des deux signaux détectés (pour la ou chaque fréquence de battement) donne alors le signe à

associer à l'information de module de vitesse correspondante.

De préférence, pour obtenir un bon rapport signal/bruit sur la mesure de phase, le décalage d entre les deux zones de
5 détection vérifie sensiblement la relation $\theta \cdot d = \lambda/4$ (à $k \cdot \lambda/2$ près) où θ est le décalage angulaire en radian, λ la longueur d'onde du rayonnement laser, mesurée dans la même unité que d , et k un nombre entier.

10 Très avantageusement, le décalage entre les deux zones de détection vérifie la relation $\theta \cdot d = \lambda/4$ et les deux zones de détection sont coplanaires et situées côte à côte.

La présente invention s'applique en particulier lorsque la
15 longueur d'onde du faisceau laser est située dans l'infrarouge.

On connaît par ailleurs des dispositifs de vélocimétrie laser à détection homodyne, qui comprennent une source laser, des
20 moyens optiques pour envoyer une partie du faisceau laser dans une direction choisie, pour recueillir sélectivement le faisceau rétrodiffusé dans la même direction, et pour mélanger le faisceau rétrodiffusé à une autre partie du faisceau laser, et des moyens détecteurs propres à fournir un signal
25 détecté, contenant une ou des fréquences de battement représentatives chacune d'une information de vitesse prise en valeur absolue.

Dans un tel dispositif, perfectionné selon l'invention,
30 les moyens optiques sont agencés de sorte que le mélange des faisceaux s'effectue de manière à obtenir, au moins au niveau des moyens détecteurs, un léger décalage angulaire de leurs surfaces d'onde respectives ; et les moyens détecteurs comprennent au moins deux détecteurs, décalés l'un
35 de l'autre d'une manière prédéterminée transversalement au faisceau mélangé et à l'axe dudit décalage angulaire entre

les surfaces d'onde, ainsi que des moyens propres à comparer les phases des deux signaux détectés pour la ou chaque fréquence de battement.

- 5 Dans un mode de réalisation préférentiel, les deux détecteurs sont situés côte à côte, sur le même substrat.

10 La distinction entre le faisceau émis, ou faisceau de mesure, et le faisceau rétrodiffusé peut se faire en appliquant au premier une polarisation linéaire, et en utilisant un séparateur de polarisation.

15 Différents modes de réalisation de l'invention peuvent être construits, notamment à partir de structures d'interféromètres du type Mach-Zender, ou du type Michelson. Par ailleurs, le faisceau peut être appliqué aux organes de détection avec ou sans focalisation préalable.

20 Enfin, tout au moins pour certaines applications, on peut ajouter à l'appareil un dispositif optique du genre télescope, placé sur le trajet du faisceau laser de mesure, afin de lui permettre d'illuminer une zone plus étendue.

25 D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à l'examen de la description détaillée qui va suivre, et des dessins annexés, sur lesquels :

- 30 - la figure 1 illustre schématiquement un premier mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 2 illustre plus en détail la constitution d'un détecteur double, et la situation des surfaces d'ondes incidentes sur celui-ci ; et
- 35 - la figure 3 illustre un second mode de réalisation de la présente invention.

Sur la figure 1, la référence numérique 1 désigne une source de lumière cohérente (ou quasi-cohérente), telle qu'un laser infrarouge à gaz carbonique, fonctionnant par exemple à la longueur d'onde de 10,6 microns.

5

Le faisceau laser illustré en 10 est polarisé linéairement dans la direction matérialisée par la flèche P_1 . Il est appliqué à des moyens optiques notés dans leur ensemble 2. Le faisceau laser 10 frappe tout d'abord une lame à réflexion partielle 20. La majeure partie du faisceau traverse cette lame, en conservant la même polarisation P_1 , pour aboutir à un séparateur de polarisation 21. Celui-ci peut être réalisé sous la forme d'un polariseur à grille. Il est agencé de manière à laisser passer la polarisation P_1 , et à réfléchir par contre la polarisation perpendiculaire (matérialisée, selon une convention connue, par un point entouré d'un cercle). Le faisceau laser de mesure ainsi transmis par le séparateur de polarisation 21 traverse une lame 22, qui est une lame quart d'onde pour la fréquence du rayonnement lumineux concerné. On sait qu'une telle lame quart d'onde convenablement orientée transforme une polarisation linéaire en polarisation circulaire.

Le faisceau de mesure ainsi modifié est appliqué à la cible, ou aux cibles.

En certaines applications, comme celles des vélocimètres infrarouges embarqués à bord d'aéronefs, le faisceau de mesure peut être appliqué à un dispositif 8 agissant en télescope, pour réduire le volume de mesure. On peut alors obtenir une mesure, en valeur moyenne, de la vitesse de déplacement de l'aéronef par rapport à l'air en recueillant les signaux rétrodiffusés par des particules en suspension, dans l'air, hors des zones de turbulence aérodynamiques engendrées par l'aéronef. En d'autres applications, comme celles des anémomètres, on peut accéder à une mesure du mouvement des particules incluses dans un fluide, d'où la me-

sure de la vitesse de déplacement de ce fluide, par exemple de la vitesse du vent.

Le fluide ou l'objet dont on veut mesurer la vitesse, (ou
5 les particules, en suspension dans l'air, de la zone de visée du laser et par rapport à laquelle on veut mesurer la vitesse de déplacement d'un corps, tel qu'un hélicoptère) produit une rétrodiffusion du faisceau laser incident, qui se trouve ainsi renvoyé, (le cas échéant, à travers le
10 télescope 8) en direction des moyens optiques 2.

Après nouvelle traversée de la lame quart d'onde 22, le faisceau rétrodiffusé a maintenant vu sa polarisation tourner de 90° par rapport au faisceau de mesure. A l'incidence
15 sur le séparateur de polarisation 21, il se trouve réfléchi selon le trajet optique 15, avec la polarisation transversale illustrée en P_2 . Ce faisceau 15, noté aussi S (pour Signal), frappe une autre lame à réflexion partielle 26.

20 Une partie, généralement faible, du faisceau laser initial 10 est réfléchi par la lame 20, vers un miroir 23. A ce moment, ce faisceau présente la polarisation P_1 . Comme il opère à la manière d'un oscillateur local, ce faisceau est noté O.L. Il traverse une lame demi-onde 24, qui modifie
25 sa polarisation de 90° , de façon à lui conférer la même polarisation P_2 que le faisceau de signal S. Après cela, le faisceau local O.L. frappe la lame à réflexion partielle 26, en aval de laquelle il se trouve mélangé au faisceau de signal S, par exemple sur le trajet optique 19. Ce faisceau
30 mélangé est appliqué à un détecteur 5.

Selon l'invention, le détecteur 5 est un détecteur double, par exemple comme illustré sur la figure 2. On y voit que le détecteur 5 est ici construit de deux éléments 51 et 52,
35 placés côte à côte, et à sorties électriques séparées. Un tel détecteur double peut être réalisé de différentes manières. Comme matériau photosensible, on peut utiliser en infra-

rouge les structures du type HgCdTe. Il est possible de placer deux détecteurs de ce type côte à côte, soit réellement, soit en utilisant par exemple les deux trajets optiques de mélange 19 et 191 disponibles en sortie de la lame 26.

Cependant, il est préférable que les deux détecteurs soient implantés sur le même substrat, ce qui permet de mettre en commun leurs éléments auxiliaires, et notamment leur cryostat.

A cet effet, on connaît notamment des détecteurs dits quatre quadrants. En reliant électriquement les quadrants deux à deux, on obtient ainsi deux détecteurs utilisables selon la présente invention. De tels détecteurs quatre quadrants fonctionnant en infrarouge sont disponibles notamment auprès de la Société Anonyme de Télécommunications. Bien entendu, quoiqu'il s'agisse d'une application préférentielle, la présente invention n'est pas limitée au cas de la lumière infrarouge.

En agissant sur l'angle des organes 21 et 26 par rapport au trajet optique qui les concerne, il est possible de faire en sorte que, en demeurant mélangé au faisceau oscillateur local O.L., le faisceau signal S arrive sur le détecteur double 5 avec une surface d'onde inclinée d'un faible angle θ par rapport à celle du faisceau oscillateur local (ou inversement, suivant la façon dont est disposé le détecteur 5).

En pratique, ce décalage angulaire θ est ajusté de façon que le déphasage relatif entre les surfaces d'onde S et O.L. soit d'environ $\lambda/4$ lorsqu'on passe de l'un à l'autre des détecteurs.

Sur la figure 2, on note d l'entr'axe entre les détecteurs 51 et 52. La relation qui doit être sensiblement satisfaite s'écrit alors :

$$\theta \cdot d = \lambda/4 \text{ (à } k \text{ fois } \lambda/2 \text{ près ; } k \text{ entier } \geq 0)$$

où λ est la longueur d'onde du rayonnement laser.

5 Ceci assure une différence de phase entre les signaux détectés respectivement par les éléments photosensibles 51 et 52. A cet égard, la différence de marche moyenne relative des ondes arrivant sur chaque élément du détecteur est $\lambda/4$, c'est-à-dire assure un déphasage de $\pi/2$. Pour obtenir un bon rendement d'homodynage il est nécessaire que la différence de
10 marche entre les surfaces d'ondes soit inférieure ou égale à $\lambda/4$ sur toute la surface de chacun des détecteurs, le meilleur rendement étant obtenu pour $k = 0$ ($\theta \cdot d = \lambda/4$).

15 Comme le signe de ce déphasage est lié au signe du décalage de fréquence Doppler observé, et par conséquent au signe de la vitesse du ou des objets concernés, il suffit alors de mesurer, à l'aide d'un dispositif de comparaison de phase 6, l'écart de phase entre les deux signaux pour la ou les fréquences Doppler concernées. Un étalonnage préalable de l'appareil permet de déterminer le signe du déphasage ($\pm \pi/2$) des
20 deux signaux électriques délivrés par les éléments 51 et 52, en fonction du sens de déplacement de l'objet, donc du signe de sa vitesse.

Dans le mode de réalisation illustré à la figure 1, et qui
25 vient d'être décrit, il est admis que le faisceau mélangé 19 demeure en lumière parallèle.

Une variante intéressante consiste à réaliser une focalisation de ce faisceau, à l'aide d'une lentille non représentée sur la figure 1, et dont le foyer sera l'emplacement du détecteur 5.
30

L'agencement des moyens optiques 2 est alors modifié. Au lieu d'agir conjointement sur certains de ces éléments pour modifier l'angle relatif des deux faisceaux au moment de leur

mélange, cette action se fait de manière à décaler latéralement les deux faisceaux l'un par rapport à l'autre, alors qu'ils demeurent parallèles. Compte tenu de la distance focale de la lentille, ce décalage est ajusté de manière que, en aval de la lentille, les deux faisceaux arrivent sur le détecteur 5 en faisant entre eux l'angle θ précité.

En variante on peut ajuster le décalage par translation d'une des lames 21 ou 26 suivant une direction non située dans le plan de cette lame, par exemple dans une direction perpendiculaire à ce plan.

Il est maintenant fait référence à la figure 3, qui illustre un second mode de réalisation de l'invention, dans lequel les moyens optiques 3 sont agencés à la façon d'un interféromètre de Michelson.

Le faisceau laser initial 10 arrive sur le trajet d'entrée 40 de l'interféromètre, dont l'élément central est là encore un séparateur de polarisation 31, qui peut être réalisé comme précédemment. De manière connue, l'interféromètre possède un trajet de sortie par transmission 45, selon lequel se propage le faisceau laser de mesure, qui traverse une lame quart d'onde 32. Il peut rencontrer par la suite un télescope 8 comme précédemment, ou bien aller frapper directement l'objet dont la vitesse est à mesurer. Le faisceau rétrodiffusé traverse à nouveau la lame quart d'onde 32, après quoi sa polarisation a tourné de 90° par rapport au faisceau laser initial 10 (les polarisations ne sont pas illustrées sur la figure 3).

Le séparateur de polarisation 31 a réfléchi une partie du faisceau laser incident 10 sur son premier trajet transversal 41. Sur ce trajet est interposée une lame quart d'onde 34. Le faisceau local ainsi obtenu frappe alors un dièdre droit 35, qui agit en rétroréfecteur avec décalage latéral pour renvoyer le faisceau local vers le séparateur de polarisation 31. A ce moment, le faisceau local a traversé deux fois la lame

quart d'onde 34, et par conséquent subi une rotation de 90° de sa direction de polarisation. Il traverse alors (pour partie) le séparateur de polarisation 31, pour arriver au second trajet transversal 42. De son côté, le faisceau rétrodiffusé en 45 est réfléchi sur le séparateur de polarisation 31, pour rejoindre lui aussi le trajet transversal 42, sur lequel il se trouve décalé par rapport au faisceau local. Le décalage est latéral, les deux faisceaux étant parallèles. Ils frappent alors conjointement une lentille de focalisation 39, placée de telle sorte que les deux faisceaux convergent sur le détecteur double 5. La position du dièdre droit 35 le long du trajet 41 est ajustée de manière à obtenir un décalage entre faisceaux tel que les fronts d'ondes de ceux-ci forment un angle θ sur le détecteur 5, ce qui correspond à des angles d'arrivée des deux faisceaux différents de θ sur ce même détecteur. La suite du procédé se déroule comme précédemment, les deux sorties du détecteur double 5 étant appliquées à un dispositif de comparaison de phase 6.

20 Bien entendu, dans l'un ou l'autre mode de réalisation, le dispositif 6 réalisera en règle générale à la fois la mesure de la vitesse en valeur absolue et la mesure de son signe.

Revendications.

1. Procédé de vélocimétrie laser Doppler à détection homodyne, selon lequel :

5

a) on envoie un faisceau laser (1) dans une direction où l'on désire mesurer la vitesse du déplacement relatif d'un ou plusieurs objets par rapport au laser,

10

b) on recueille sélectivement (21) le faisceau rétrodiffusé dans la même direction,

15

c) on mélange (26) le faisceau rétrodiffusé à un faisceau de référence tiré (20, 23) du faisceau laser initial, et

d) on détecte (5) le faisceau mélangé, la ou les fréquences de battement obtenues étant représentatives du module de la vitesse relative du ou desdits objets,

20

caractérisé en ce que :

- à l'étape c) le mélange des faisceaux s'effectue de manière à obtenir, au moins au niveau de la détection, un léger décalage angulaire de leurs surfaces d'onde respectives, et

25

- à l'étape d) sont effectuées séparément au moins deux détections, en des zones décalées l'une de l'autre d'une manière prédéterminée transversalement au faisceau mélangé et à l'axe du décalage angulaire entre les surfaces d'onde, la comparaison des phases des deux signaux détectés (5) à chaque fréquence de battement donnant le signe de la vitesse correspondante.

30

35

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le décalage d entre les deux zones de détection, vérifie

sensiblement la relation $\theta.d = \lambda/4 + k \lambda/2$, où θ est le décalage angulaire en radians, λ la longueur d'onde de rayonnement laser et k un nombre entier positif ou nul.

5 3. Procédé selon l'une des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que les deux zones de détection sont coplanaires et situées côte à côte et k est égal à zéro.

10 4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la longueur d'onde du faisceau laser est située dans l'infrarouge.

15 5. Dispositif de vélocimétrie laser Doppler à détection homodyne, du type comprenant :

- une source laser (1),

20 - des moyens optiques (2, 3) pour envoyer une partie du faisceau laser (10) dans une direction choisie, pour recueillir sélectivement le faisceau rétrodiffusé dans la même direction, et pour mélanger le faisceau rétrodiffusé à une autre partie du faisceau laser, et

25 - des moyens détecteurs (5) propres à fournir un signal détecté, contenant une ou des fréquences de battement représentatives chacune d'une vitesse prise en valeur absolue,

30 caractérisé en ce que les moyens optiques (2,3) sont agencés de sorte que le mélange des faisceaux s'effectue de manière à obtenir, au moins au niveau des moyens détecteurs, un léger décalage angulaire de leurs surfaces d'onde respectives, et en ce que les moyens détecteurs comprennent au moins deux détecteurs (51,52), décalés l'un de l'autre d'une manière prédéterminée transversalement au faisceau mélangé et à
35 l'axe dudit décalage angulaire entre les surfaces d'onde, et des moyens (6) propres à comparer les phases des deux signaux détectés pour chaque fréquence de battement.

6. Dispositif selon la revendication 5, caractérisé en ce que le décalage d entre les deux détecteurs (51,52) vérifie sensiblement la relation $\theta.d = \lambda/4 + k.\lambda/2$ où θ est le décalage angulaire en radians, λ est la longueur d'onde du rayonnement laser, et k un nombre entier positif ou nul.

7. Dispositif selon l'une des revendications 5 et 6, caractérisé en ce que $k=0$ et en ce que les deux détecteurs (51,52) sont situés côte à côte, sur le même substrat.

10

8. Dispositif selon l'une des revendications 5 à 7, caractérisé en ce que le faisceau laser est polarisé linéairement et en ce que les moyens optiques comprennent les constituants suivants :

15

- une lame à réflexion partielle (20), fournissant le faisceau laser de mesure et le faisceau laser de référence,

20

- un organe séparateur de polarisation (21), placé sur le trajet du faisceau laser de mesure, et suivi sur ce même trajet d'une lame quart d'onde (22),

25

- un ensemble réflecteur (23) et lame demi-onde (24) placé sur le trajet du faisceau de référence,

30

- une autre lame à réflexion partielle (26) pour mélanger le faisceau rétrodiffusé, issu sélectivement du séparateur de polarisation, au faisceau de référence,

35

- l'un au moins de ces constituants (20-26) étant disposé de sorte que les surfaces d'onde du faisceau de référence et du faisceau rétrodiffusé soient décalées angulairement l'une par rapport à l'autre à l'arrivée sur les détecteurs.

35

9. Dispositif selon l'une des revendications 5 à 8, caractérisé en ce qu'un organe de focalisation est placé entre les moyens optiques et les détecteurs, ledit décalage angu-

laire étant obtenu par décalage latéral du faisceau rétrodiffusé relativement au faisceau de référence, en amont de l'organe de focalisation.

5

10. Dispositif selon l'une des revendications 5 à 7, caractérisé en ce que le faisceau laser est polarisé linéairement, et en ce que les moyens optiques comprennent :

10 - un organe séparateur de polarisation (31) possédant un trajet d'entrée (40) qui reçoit le faisceau laser (10), un trajet de sortie (45) par transmission directe fournissant le faisceau de mesure à travers une lame quart d'onde (32), ainsi que deux trajets optiques transversaux (41,42),

15

- le premier trajet transversal (41) comprenant une lame quart d'onde (34) suivie d'un dièdre réflecteur droit (35), ce qui renvoie le faisceau de référence sur l'organe séparateur (31) en léger décalage axial et avec une polarisation linéaire ayant
20 tourné de $\pi/2$ pour mélange avec le faisceau rétrodiffusé sur le second trajet optique transversal (42), lequel comporte un organe de focalisation (39) du faisceau mélangé sur les détecteurs (51,52).

25 11. Dispositif selon l'une des revendications 5 à 10, caractérisé en ce que la longueur d'onde du faisceau laser est située dans l'infrarouge.

30 12. Dispositif selon l'une des revendications 5 à 11, caractérisé en ce qu'il comporte un dispositif optique du genre télescope (8) placé sur le trajet du faisceau laser de mesure.

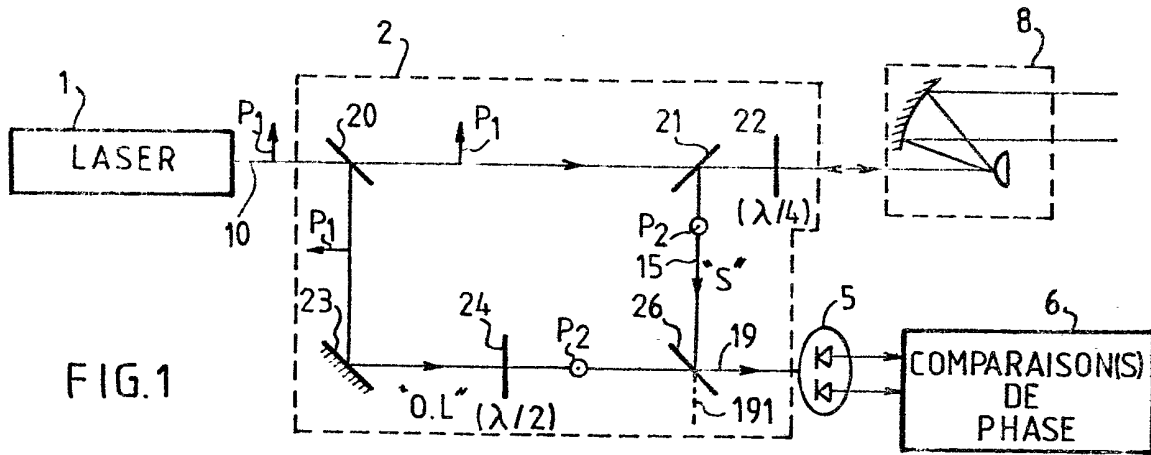


FIG. 1

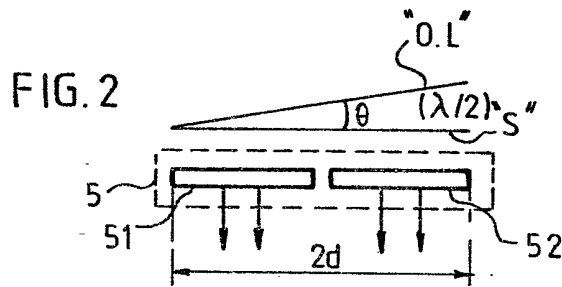


FIG. 2

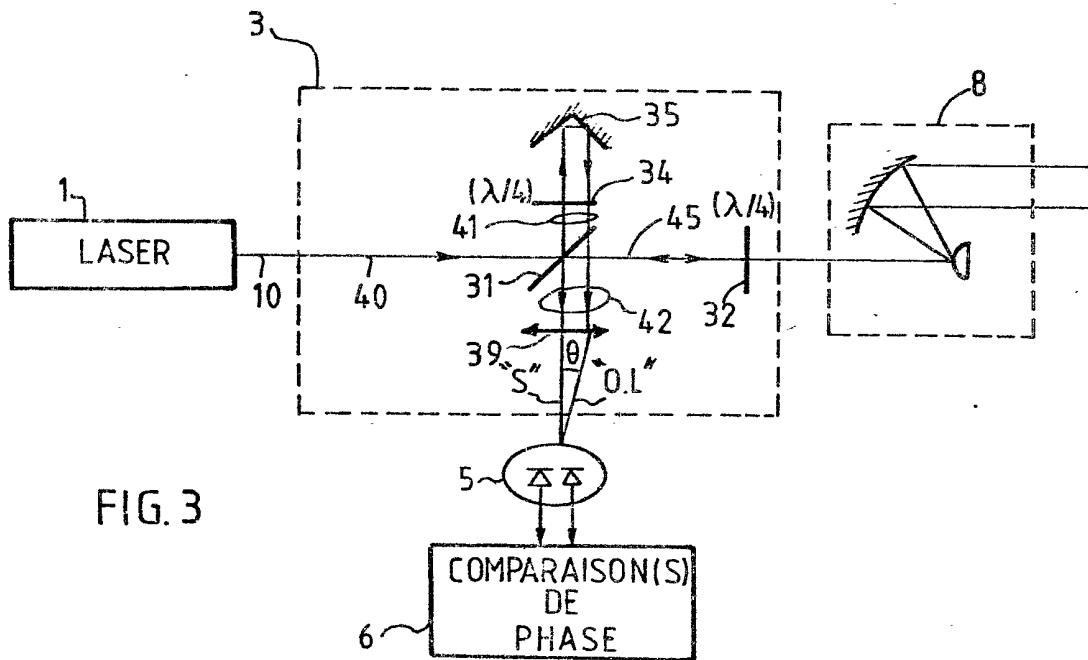


FIG. 3