(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication : **2 615 280**
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) N° d'enregistrement national : **88 06316**

(51) Int Cl⁴ : G 01 D 5/38; G 02 B 27/40; G 01 B 9/02.

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt** : 10 mai 1988.

(30) **Priorité** : JP, 11 mai 1987, n°s 112260/1987, 112261/1987 et 112262/1987.

(43) **Date de la mise à disposition du public de la demande** : BOPI « Brevets » n° 46 du 18 novembre 1988.

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

(71) **Demandeur(s)** : *Société dite : CANON KABUSHIKI KAISHA.* — JP.

(72) **Inventeur(s)** : Minoru Yoshii ; Noriyuki Nose ; Yukichi Niwa ; Ryo Kuroda.

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

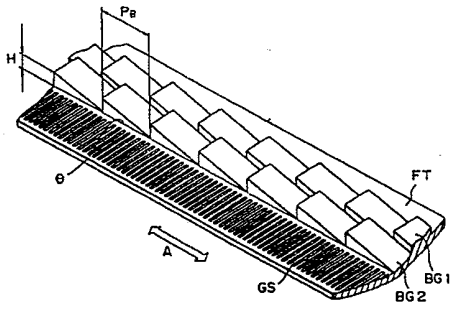
(74) **Mandataire(s)** : Rinuy et Santarelli.

(54) Dispositif de mesure de la distance en mouvement relatif de deux objets mobiles l'un par rapport à l'autre.

(57) L'invention concerne un dispositif de mesure d'une distance en mouvement relatif de deux objets se déplaçant l'un par rapport à l'autre.

Le dispositif utilise plusieurs surfaces inclinées formant des réseaux dentelés BG1, BG2, alignées suivant un pas prédéterminé pB le long de la direction A du mouvement relatif des deux objets. Ces surfaces sont solidaires d'un premier objet, et l'autre objet porte des moyens de mesure de la distance le séparant d'au moins l'une des surfaces inclinées, dans une direction formant un angle avec la direction A du mouvement relatif.

Domaine d'application : positionnement de précision d'une tête à alignement automatique d'appareils de fabrication de dispositifs semiconducteurs, etc.



FR 2 615 280 - A1

L'invention concerne un système de mesure de distance ayant une haute précision de mesure et une grande course.

On a utilisé classiquement des interféromètres à laser ou des interféromètres à réseaux pour la mesure de distance avec une haute précision. Des exemples de système de mesure de distance du type à interférence de réseau (type interférométrique) sont décrits dans les demandes de brevets japonais n° Sho59-191906 et Sho59-191907.

Un tel interféromètre permet une course de mesure relativement grande, par exemple d'un ordre de grandeur non inférieur à 100 mm. Par ailleurs, la mesure de distance est effectuée fondamentalement par l'utilisation, comme longueur unitaire, d'un pas particulier qui est déterminé par les conditions optiques telles que la longueur d'onde de la lumière de mesure, l'ordre de la lumière diffractée et l'état de polarisation. En conséquence, la résolution est faible et la précision est donc mauvaise lorsqu'une très petite distance, dont l'ordre de grandeur ne dépasse pas une fraction de micromètre, par exemple, doit être mesurée.

Compte tenu de ceci, on a proposé, dans un interféromètre à réseau, par exemple, de diviser électriquement et de traiter un signal qui est déterminé par les conditions optiques telles que l'ordre de la lumière

diffractée et l'état de polarisation, pour améliorer ainsi la résolution.

Cependant, une telle division électrique conduit à un risque d'apparition d'une erreur due à une variation quelconque de la quantité de lumière, à un changement quelconque de l'efficacité de la diffraction, etc.

Un objet principal de l'invention est donc de proposer un dispositif de mesure de distance par lequel au moins l'un des inconvénients indiqués ci-dessus est évité.

Un autre objet de l'invention est de proposer un dispositif de mesure de distance ayant une haute précision de mesure et une grande course.

L'invention sera décrite plus en détail en regard des dessins annexés à titre d'exemples nullement limitatifs et sur lesquels :

la figure 1 est un schéma d'un dispositif de mesure de distance selon une forme de réalisation de l'invention, qui est incorporé dans une platine se déplaçant suivant un seul axe ;

la figure 2 est une vue schématique en perspective montrant la structure d'une tête de mesure de distance utilisée dans le dispositif de la figure 1 ;

la figure 3 est une vue de formes d'ondes montrant les signaux de sortie de photodétecteurs utilisés dans l'agencement de la figure 2 ;

la figure 4 est une vue schématique permettant d'expliquer le fonctionnement d'un système de mesure de distance du type à interférence de réseaux montré sur la figure 2 ;

la figure 5 est un diagramme expliquant la rotation de la direction de polarisation de la lumière détectée dans la structure de la figure 4 ;

la figure 6 est une vue de forme d'onde montrant des signaux ayant des phases de 0 degré et de 180

degrés dans la structure de la figure 4 ;

la figure 7 est une vue schématique d'un exemple d'agencement pour extraire des signaux ayant des phases de 0 degré et de 180 degrés dans la structure de la figure 4 ;

la figure 8 est une vue schématique expliquant la fonction d'un système de mesure de distance à mise au point automatique utilisé dans le dispositif de la figure 2 ;

la figure 9 est une vue schématique montrant l'état d'un spot lumineux formé sur la surface d'un capteur de position en fonction de la position d'un miroir plan, et une distribution de la quantité de lumière ;

la figure 10 est un graphique montrant la caractéristique de la relation entre un signal différentiel ΔI (= I_A - I_B) pouvant être obtenu d'après le signal de sortie du capteur de position et la position du miroir plan (c'est-à-dire l'amplitude de la défocalisation) ;

la figure 11 est un organigramme montrant le fonctionnement du dispositif de mesure de distance de la forme de réalisation de la figure 1 ;

la figure 12 est un diagramme montrant les signaux de sortie d'un système de mesure de distance du type à interférence de réseaux utilisé dans le dispositif de mesure de distance de la figure 1 ;

la figure 13 est un graphique montrant la caractéristique d'un signal de sortie d'un système de mesure de distance à mise au point automatique utilisé dans le dispositif de mesure de distance de la figure 1 ;

la figure 14 est une vue schématique montrant une forme de réalisation dans laquelle les composants du dispositif de mesure de distance sont assemblés en un bloc de mesure de distance ;

la figure 15 est un organigramme montrant le fonctionnement du bloc de mesure de distance de l'exemple

de la figure 14 ;

la figure 16 est un graphique montrant la relation entre les signaux à impulsion de mesure de distance interférométrique à réseau et la tension de sortie de mesure de distance à mise au point automatique dans les blocs de mesure de distance de l'exemple de la figure 14 ;

la figure 17 est une vue schématique d'une forme de réalisation dans laquelle plusieurs blocs de mesure de distance, chacun du type montré sur la figure 14, sont utilisés avec un dispositif à déplacement sur deux axes ;

la figure 18 est une vue schématique d'une autre forme de réalisation de l'invention dans laquelle un système de mesure de distance interférométrique à laser est utilisé en tant que système de mesure de distance du type à interférence ;

la figure 19 est une vue en perspective montrant des détails d'un système optique de mesure de distance prévu sur une platine à mouvement fin incorporée dans la forme de réalisation de la figure 18 ;

la figure 20 est une vue schématique en perspective éclatée d'une forme de réalisation dans laquelle un réseau dentelé est utilisé pour la mesure de distance à mise au point automatique ;

la figure 21 est une vue partielle en perspective d'un élément de référence sur lequel sont formés des réseaux dentelés ;

la figure 22 est une vue schématique expliquant la relation de position entre le réseau dentelé et le système de mesure de distance à mise au point automatique de la forme de réalisation de la figure 20 ;

la figure 23 est une vue schématique montrant la relation entre le signal à train d'impulsions de sortie du système de mesure de distance interférométrique à réseaux et le signal de sortie du système de mesure de

distance à mise au point automatique dans la forme de réalisation de la figure 20 ;

la figure 24 est une vue schématique expliquant la relation entre la position d'un élément de référence et l'état de commutation de signal pour le signal de mesure de distance à mise au point automatique dans une variante de la forme de réalisation de la figure 18 ;

la figure 25 est une vue schématique expliquant la relation de position entre un réseau dentelé et un système de mesure de distance à mise au point automatique dans une variante de la forme de réalisation de la figure 18 ;

la figure 26 est une vue schématique en perspective montrant la structure d'un dispositif de mesure de distance interférométrique à réseaux de diffraction selon une autre forme de réalisation de l'invention, dans laquelle aucun cube d'angle n'est utilisé ;

la figure 27 est une vue de formes d'ondes montrant les signaux de sortie de photodétecteurs utilisés dans la forme de réalisation de la figure 26 ;

la figure 28 est une vue schématique expliquant l'état de la lumière diffractée lorsque la longueur d'onde de sortie d'une source de lumière change, dans le cas du dispositif de mesure de distance de la forme de réalisation de la figure 26 ;

la figure 29 est une vue de formes d'ondes montrant les signaux de sortie de photodétecteurs de la forme de réalisation de la figure 26 lorsque la longueur d'onde de la lumière provenant de la source de lumière est décalée ;

la figure 30 est une vue schématique en perspective d'un dispositif de mesure de distance du type à diffraction par réseaux selon une autre forme de réalisation de l'invention, dans laquelle une partie importante du dispositif est réalisée dans un circuit intégré ;

la figure 31 est une vue partielle à échelle agrandie montrant la partie principale d'un dispositif de mesure de distance selon une variante de la forme de réalisation de la figure 30 ;

la figure 32 est une vue de formes d'ondes montrant les signaux de sortie de photodétecteurs utilisés dans le dispositif de la figure 31 ;

la figure 33 est une vue schématique en perspective montrant un dispositif de mesure de distance selon une autre variante de la forme de réalisation de la figure 30 ;

la figure 34 est une vue en perspective montrant schématiquement un dispositif de mesure de distance du type à interférence de réseaux selon une autre forme de réalisation de l'invention dans laquelle un prisme de Wollaston est utilisé ;

la figure 35 est une vue schématique expliquant la fonction du prisme de Wollaston du dispositif de la figure 34 ;

la figure 36 est une vue schématique d'un dispositif de mesure de distance du type à interférence de réseaux selon une autre forme de réalisation de l'invention dans laquelle la lumière passe quatre fois à travers un réseau de référence de mesure de distance afin d'améliorer la résolution du système.

En référence d'abord à la figure 1, celle-ci réprésente un dispositif de mesure de distance à haute précision et haute résolution selon une première forme de réalisation de l'invention, dans laquelle le dispositif de mesure est incorporé dans une platine à un seul axe. Dans ce dispositif de mesure de distance, un appareil de mesure de distance interférométrique à réseaux et des moyens de détection de foyer, utilisables dans un dispositif de mise au point automatique, sont mis en oeuvre en combinaison, et l'intervalle entre les signaux à impulsions qui sont

produits à intervalles réguliers, déterminés par l'agencement optique de l'appareil de mesure de distance du type à interférence de réseaux, est complété par l'utilisation de signaux de sortie de mesure de foyer provenant des moyens de détection de foyer, de façon que la résolution soit augmentée tandis que la haute précision de l'appareil de mesure de distance du type à interférence de réseaux est conservée. En conséquence, on obtient à la fois la haute précision et la haute résolution.

Sur la figure 1, la référence SR désigne une platine mobile ; la référence GS désigne un réseau de diffraction utilisable en tant que mesure de référence ; la référence MH désigne une tête de mesure destinée à mesurer l'amplitude du mouvement de la platine mobile SR par rapport au réseau de diffraction GS ; la référence RG désigne deux guides ; la référence SS désigne une vis d'avance ; la référence MT désigne un moteur d'entraînement ; et la référence MTD désigne un circuit d'attaque du moteur. Les guides RG et le réseau de diffraction GS sont montés fixement sur une plaque de surface SP de façon à s'étendre parallèlement à la direction du mouvement de la platine mobile SR, telle que désignée par une flèche A. La platine mobile SR peut être déplacée le long des guides RG dans la direction de la flèche A, sous l'action de la vis d'avance SS qui est commandée en rotation par le moteur MT.

La figure 2 illustre des détails de la structure de la tête de mesure MH.

Sur cette figure, la plaque de surface est indiquée en SP et, sur cette plaque de surface SP, la platine mobile SR est supportée de façon à pouvoir se déplacer. De plus, le réseau de diffraction GS est disposé fixement sur cette plaque de surface de façon à s'étendre parallèlement à la direction de déplacement A de la platine mobile SR. Un miroir plan PM, monté fixement sur la platine mobile SR, présente une surface réfléchissante qui est

perpendiculaire à la direction A du mouvement de la platine. De plus, une platine AFS à mouvement fin (platine de mise au point automatique) est prévue sur la platine mobile SR. La platine AFS à mouvement fin est reliée fonctionnellement à la platine mobile SR au moyen d'un mécanisme de commande PD à mouvement fin tel qu'un mécanisme de commande piézoélectrique, par exemple. Au moyen de ce mécanisme PD de commande à mouvement fin, la platine AFS peut être déplacée sur une très petite distance par rapport à la platine mobile SR et dans la direction d'une flèche B qui est la même que la direction du mouvement (direction de la flèche A) de la platine mobile SR. Un système optique de mesure de distance, prévu sur la platine AFS à mouvement fin, comprend un système de mesure de distance du type à interférence de réseaux et un système de mesure de distance à mise au point automatique.

Le système optique de mesure de distance comprend une source de lumière LD qui peut comprendre un laser à semi-conducteur ou autre ; une lentille collimatrice CL ; des diviseurs de faisceaux HM1 et HM2 ; des plaques ou lames de phase FP1 et FP2 ; des miroirs prismatiques ou prismes à cube d'angle CC1 et CC2 ; un diviseur de faisceau BS ; des photodétecteurs PD1 et PD2 ; une lentille d'objectif LN ; un détecteur optique de position (capteur de position) PS et d'autres éléments. Le nombre de composants optiques est réduit de façon souhaitable, par exemple par l'utilisation en commun de la source de lumière LD et de la lentille collimatrice CL à la fois pour le système de mesure de distance du type à interférence de réseaux et pour le système de mesure de distance à mise au point automatique.

Sur la figure 2, un faisceau lumineux émis par la source de lumière LD est collimaté par la lentille collimatrice CL, puis est divisé en deux par le diviseur optique HM1. L'un des deux faisceaux lumineux divisés est

projeté sur la lentille d'objectif LN, tandis que l'autre est projeté à travers le diviseur optique HM2 sur le réseau de diffraction GS.

La lumière arrivant sur le réseau de diffraction GS est diffractée par ce dernier avec, pour résultat, que la phase δ du réseau de diffraction GS est additionnée à la surface d'onde de diffraction. Lorsque la phase initiale de la lumière incidente est 0, la phase de l'onde de diffraction peut être exprimée par "$\exp[i(\omega t+m\delta)]$", où ω est la fréquence optique et m est l'ordre de diffraction. Par exemple, une lumière positive de premier ordre et une lumière négative de premier ordre sont exprimées par "$\exp[i(\omega t+\delta)]$" et "$\exp[i(\omega t-\delta)]$", respectivement. Le faisceau lumineux L11, qui est la lumière positive du premier ordre, et le faisceau lumineux L12 qui est la lumière négative du premier ordre, passent à travers les plaques ou lames de phase (lames $\lambda/8$) FP1 et FP2, respectivement, et sont projetés sur les prismes à cubes d'angle CC1 et CC2, respectivement, par lesquels chaque faisceau lumineux incident est réfléchi dans une direction parallèle à la direction d'incidence, mais en sens opposé. Les faisceaux lumineux réfléchis L11 et L12 franchissent de nouveau les lames de phase FP1 et FP2, respectivement, dans des sens inverses. En conséquence, ils sont convertis en lumières à polarisation circulaire, ces lumières étant polarisées dans le sens des aiguilles d'une montre et en sens inverse respectivement, et ils sont de nouveau diffractés en un point P2 du réseau de diffraction GS, qui est espacé d'un point P1 du réseau dans la direction du mouvement (la direction de la flèche A) de la platine mobile SR. Ensuite, ces lumières passent à travers le diviseur optique HM2 puis sont projetées sur le diviseur optique BS. Chacun des faisceaux lumineux L11 et L12 arrivant sur le diviseur optique BS et ayant des caractéristiques de polarisation circulaire (polarisation dans

le sens des aiguilles d'une montre ou en sens inverse) est divisé en deux, les deux faisceaux lumineux divisés étant transmis à travers et réfléchis par le diviseur optique BS, respectivement. Les lumières transmises L_{R1} et L_{R2} et les lumières réfléchies L_{S1} et L_{S2} passent ensuite à travers des lames polarisantes (non représentées) dont les axes de transmission sont inclinés de 45° l'un par rapport à l'autre, de façon que des composantes de ces lumières, polarisées linéairement, soient extraites. Par conséquent, les lumières transmises interfèrent entre elles et sont projetées sur le photodétecteur PD1, tandis que les lumières réfléchies interfèrent entre elles et sont projetées sur les photodétecteurs PD2.

Etant donné que les photodétecteurs PD1 et PD2 détectent, en utilisant l'intensité de la lumière d'interférence, les composantes polarisées des deux lumières polarisées circulairement à l'aide de lames polarisantes ayant des axes de transmission inclinés de 45° l'un par rapport à l'autre, les signaux de sortie R et S des photodétecteurs PD1 et PD2, lorsque la tête de mesure MH (platine de mise au point automatique AFS) est déplacée par rapport au réseau de diffraction GS, présentent une différence de phase de 90 degrés, comme montré dans les deux lignes supérieures (a) et (b) de la figure 3. En utilisant des circuits électriques (non représentés) et en se basant sur un niveau prédéterminé, on met sous forme binaire (sous forme codée binaire) ces deux signaux R et S, comme illustré aux lignes (c) et (d) de la figure 3 ; et quatre impulsions par période sont produites aux instants de montée et de descente des signaux mis sous forme binaire, comme indiqué à la ligne (e) de la figure 3. En comptant le nombre d'impulsions, il est possible de mesurer l'amplitude du mouvement relatif entre la tête de mesure MH et le réseau de diffraction GS. Dans ce cas, pour le mouvement relatif d'une amplitude correspondant à un pas du

réseau de diffraction GS, l'intensité de la lumière d'interférence change sur quatre périodes et, par conséquent, seize impulsions sont produites. De plus, à l'instant de comptage des impulsions, la direction de ce mouvement relatif est détectée et, selon le résultat de la détection, il est déterminé si le nombre compté doit ou non être additionné ou soustrait. La direction du mouvement peut être différenciée à partir d'un niveau de chaque signal, montré aux lignes (c) et (d) de la figure 3, tel que celui engendré à l'instant de la génération de chaque impulsion montrée à la ligne (e) de la figure 3. Par exemple, si le niveau du signal montré à la ligne (d), tel qu'engendré à l'instant de la chute du signal montré à la ligne (c), est "haut" alors que le mouvement s'effectue dans le sens positif, ce niveau devient "bas" lorsque le mouvement est en sens inverse ou négatif.

Les signaux R et S montrés aux lignes (a) et (b) de la figure 3 peuvent être additionnés et soustraits de façon à produire des signaux "R+S" et "R-S" ayant des différences de phases de 45 degrés par rapport aux signaux R et S, respectivement ; ces signaux peuvent être mis sous forme binaire d'une manière similaire, afin que les impulsions soient produites aux instants de montée et de descente. En procédant ainsi, il est possible d'obtenir trente-deux impulsions pour le mouvement d'une amplitude correspondant à un pas du réseau de diffraction GS.

La figure 4 est une vue schématique expliquant le principe de mesure dans l'appareil de mesure de distance du type à interférence de réseaux utilisé dans la présente forme de réalisation.

Sur la figure 4, une lumière cohérente arrivant sur le réseau de diffraction GS est diffractée pour produire des lumières diffractées positive et négative de premier ordre. Les phases de ces lumières diffractées changent avec le mouvement du réseau GS et dans la

direction du mouvement. Lorsque le réseau de diffraction GS se déplace dans le sens X d'une quantité correspondant à un pas de ce réseau, comme montré sur cette figure, la phase de la lumière de diffraction positive de premier ordre L11 avance d'une quantité correspondant à une longueur d'onde, tandis que la phase de la lumière de diffraction négative de premier ordre L12 est retardée d'une quantité correspondant à une longueur d'onde. Ces lumières de diffraction L11 et L12 sont renvoyées par réflexion par des cubes d'angle CP1 et CP2. Lorsqu'elles sont de nouveau diffractées par le réseau GS, la phase de la lumière diffractée positive de premier ordre L11 avance encore d'une quantité correspondant à une longueur d'onde, tandis que la phase de la lumière diffractée négative de premier ordre L12 est retardée d'une quantité correspondant à une longueur d'onde. En conséquence, lorsque le réseau de diffraction GS se déplace d'un pas, la lumière d'interférence formée par suite de la combinaison finale des lumières L11 et L12 présente quatre alternances de luminosité et d'obscurité (c'est-à-dire que quatre crêtes de luminosité sont observées). En conséquence, si un pas du réseau de diffraction est de 1,6 micromètre, il apparaît une alternance de luminosité et d'obscurité pour une quantité de mouvements correspondant au quart de 1,6 micromètre, c'est-à-dire pour un mouvement d'environ 0,4 micromètre. Par une conversion photoélectrique de ces alternances de luminosité et d'obscurité et par leur comptage, on peut obtenir des impulsions produites chacune pour un mouvement sur 0,4 micromètre. Dans ce système de mesure de distance du type à interférence de l'exemple de la figure 2, décrit ci-dessus, pour améliorer encore la résolution, un traitement électrique peut être réalisé comme souhaité de manière que seize ou trente deux impulsions soient produites pour un pas du réseau de diffraction. Autrement dit, une impulsion peut être produite pour chaque mouvement

sur 0,1 micromètre ou sur 0,05 micromètre.

On décrira à présent la façon de détecter le sens de l'instrument de mesure de distance du type à interférence de réseau.

Pour détecter le sens dans lequel la distance est mesurée, il est nécessaire d'extraire deux signaux ayant entre eux une différence de phase de 90 degrés.

Lorsque, comme montré sur la figure 4, une lumière cohérente polarisée linéairement est projetée sur une lame quart-d'onde QW1 ou QW2 en formant un angle de 45 degrés avec l'axe rapide de cette lame, puis est passée à travers la lame quart-d'onde, la lumière peut être transformée en une lumière polarisée circulairement.

Si une lumière diffractée positive de premier ordre et une lumière diffractée négative de premier ordre sont transformées, par exemple, en lumières de polarisation circulaire, polarisées dans le sens inverse de celui des aiguilles d'une montre et dans le sens des aiguilles d'une montre, respectivement, et si elles sont combinées, la lumière combinée devient alors une lumière polarisée linéairement.

La direction de polarisation d'une telle lumière polarisée linéairement est déterminée par la différence de phase ϕ entre les lumières de diffraction positive et négative de premier ordre.

Si une lumière polarisée circulairement, dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, obtenue à partir de lumières diffractées positives de premier ordre, est exprimée par :

$$y_+ = a \exp \{i (\omega t - \phi/2)\}$$

$$x_+ = a \exp \{i (\omega t - \pi/2 - \phi/2)\}$$

et si une lumière polarisée circulairement, dans le sens inverse de celui des aiguilles d'une montre, obtenue à partir d'une lumière de diffraction négative de premier ordre, est exprimée par :

$$y_- = a \exp \{i (\omega t + \phi/2)\}$$

$$x_- = a \exp \{i (\omega t - \pi/2 + \phi/2)\}$$

puis, l'onde plane obtenue par une combinaison de ces lumières peut alors être exprimée de la manière suivante :

$$y = y_+ + y_- = a \{\exp(i\phi/2)+\exp(-i\phi/2)\}$$

$$x = x_+ + x_- = a \{\exp(i\phi/2)-\exp(-i\phi/2)\}$$

On voit donc, comme montré sur la figure 5, la lumière résultante est une lumière polarisée linéairement dont la direction de polarisation (c'est-à-dire θ) est égale à $\phi/2$.

Dans les équations ci-dessus, a est l'amplitude d'une onde lumineuse et ω est la fréquence angulaire de l'onde lumineuse.

On voit donc que, lorsque le pas du réseau GS est désigné par p, un mouvement du réseau GS sur une distance x provoque une différence de phase ϕ entre les lumières de diffraction positive et négative de premier ordre, laquelle différence peut être exprimée de la manière suivante :

$$\phi = 2\pi\{x/(p/4)\} = (8\pi/p)x$$

Par conséquent, la direction de polarisation θ de l'onde combinée des lumières diffractées positive et négative du premier ordre est donnée par l'équation suivante :

$$\theta = (4\pi/p)x$$

L'onde combinée de cette lumière polarisée linéairement est séparée en deux par un diviseur optique HM3, comme montré sur la figure 4, et les lumières divisées sont passées à travers des lames polarisantes PP1 et PP2 puis arrivent sur des détecteurs PD1 et PD2, respectivement. S'il est établi une différence de 45 degrés entre les axes de transmission des deux lames ou plaques polarisantes PP1 et PP2 et lorsque, par exemple, le détecteur PD1, disposé après la première lame polarisante PP1, détecte une quantité maximale de lumière lorsque $\theta = 0$, la quantité de lumière arrivant sur le détecteur PD2 disposé après le

second polariseur PP2, devient maximale lorsque la condition suivante est satisfaite :

$$\pi/4 = (4\pi x)/p$$

autrement dit,

$$x = p/16 = (p/4) \cdot (1/4)$$

Par conséquent, le signal provenant du détecteur PD2 présente une différence de phase de 90 degrés en comparaison avec le signal provenant du détecteur PD1, produit à l'aide du premier polariseur. Il est donc possible de déterminer la direction de la mesure.

On décrira à présent la manière d'obtenir des signaux à impulsions avec une reproductibilité (précision de répétition) supérieure.

Comme décrit ci-après, la précision (résolution) de l'instrument de mesure de distance de la forme de réalisation de la figure 1, est, par exemple, de l'ordre de 0,01 à 0,002 micromètre. Pour utiliser au mieux l'avantage de la précision élevée de ce système de mesure de distance à mise au point automatique, il est nécessaire que des signaux à impulsions ayant une précision de répétition élevée soit produits dans le système de mesure de distance du type à interférence. Plus particulièrement, la précision de répétition demandée doit avoir une valeur ne dépassant pas 0,002 micromètre, qui est la précision pouvant être résolue par la mise au point automatique.

Dans un système dans lequel le nombre d'impulsions par pas d'un réseau est augmenté par un traitement électrique, comme décrit précédemment, les facteurs provoquant une détérioration de la précision sont le changement de la quantité de lumière, le changement de l'efficacité de la diffraction, etc. Par exemple, s'il apparaît un changement dans un niveau en continu ou un changement dans l'amplitude des signaux R et S tels que montrés aux lignes (a) et (b) de la figure 3, la position de découpage V_{SR} ou V_{SS} change avec, pour résultat, une

détérioration de la précision de répétition.

Compte tenu de ceci, on propose d'utiliser des signaux ayant une différence de phase de "180 degrés", c'est-à-dire des signaux en opposition de phase.

Etant donné qu'un changement quelconque affectant le niveau en continu ou un changement quelconque affectant l'amplitude est habituellement commun aux deux signaux d'une phase de "0 degré" et d'une phase de "180 degrés", un tel changement peut être annulé par la détection de la différence entre ces signaux dont la différence de phase est de 180 degrés. La figure 6 montre ceci.

Sur la figure 6, une partie supérieure montre un signal d'intensité de lumière d'interférence dans un plan de polarisation prédéterminé ; la partie médiane montre un signal d'intensité de lumière d'interférence ayant une différence de phase de 180 degrés par rapport au signal montré dans la partie supérieure ; et la partie inférieure montre des signaux à impulsions produits chacun pour une moitié de la longueur d'onde pouvant être obtenue à partir de ces deux signaux. Les niveaux en courant continu CC de ces signaux sont représentés en traits mixtes dans les parties supérieure et médiane de la figure 6. Comme illustré, si le niveau de courant continu change, le changement de niveau de courant continu dans l'un des deux signaux est le même que celui se produisant dans l'autre signal. Par conséquent, un signal de différence des deux signaux n'est pas affecté par un tel changement. Etant donné que la différence entre deux signaux, dont les phases sont opposées mutuellement, devient nulle pour chaque demi-longueur d'onde, on peut obtenir, en produisant un signal à impulsion à chaque fois que le signal de différence devient nul, des signaux tels qu'illustrés dans la partie inférieure de la figure 6.

Lorsque des signaux de phases "0 degré" et "180

degrés" sont utilisés, un signal à impulsion est produit pour chaque demi-longueur d'onde. Dans ce cas, des signaux à impulsions sont produits à intervalles de 0,2 micromètre.

La figure 7 montre un exemple d'agencement pour la mise en oeuvre du procédé décrit ci-dessus. Il est bien entendu qu'à partir de la figure 7, un moyen possible consiste à utiliser, en plus des deux lames ou plaques polarisantes PP1 et PP2 ayant des angles d'azimuth de 0 degré et 45 degrés, respectivement, une troisième lame polarisante PP3 ayant un angle d'azimuth de 90 degrés, qui peut être disposée sur un trajet optique ramifié. Sur la figure 7, les références HM3 et HM4 désignent des demi-miroirs ; et les références PD1, PD2 et PD3 désignent des détecteurs (photocapteurs).

En référence de nouveau à la figure 2, la lumière qui est émise par la source de lumière LD et qui est collimatée par la lentille collimatrice CL, puis passée à travers le diviseur optique HM1, arrive dans la lentille d'objectif LN du système de mesure de distance à mise au point automatique.

La figure 8 est une vue schématique pour expliquer le fonctionnement du système de mesure de distance à mise au point automatique.

Sur la figure 8, la lumière provenant de la source de lumière LD arrive sur la lentille d'objectif LN en une position qui est écartée de l'axe optique principal de cette lentille. Lorsque la cible de la lentille d'objectif LN (c'est-à-dire la surface réfléchissante du miroir plan PM fixée à la platine mobile SR montrée sur la figure 2) est dans une position au point (a), la lumière provenant de la source LD parcourt un trajet représenté en traits pleins sur la figure 8 et forme une image d'un spot lumineux, projeté sur la surface du miroir, au centre (a) de la surface du capteur PS qui est disposé dans une position optiquement conjuguée (position de formation

d'image) de la position au point (a) par rapport à la lentille d'objectif LN. Lorsque la cible PM est dans une position non au point (défocalisée) de la lentille d'objectif LN, comme indiqué en (b) ou (c), la lumière provenant de la source parcourt un trajet tel qu'illustré en traits mixtes ou en traits discontinus sur la figure 8 et forme une image défocalisée sur le capteur PS, en une position (b) ou (c) qui est espacée du centre (a) du capteur PS.

La figure 9 montre des spots lumineux et des distributions de quantité de lumière sur la surface du capteur PS, correspondant aux positions (a - c) du miroir plan PM. La différence entre l'amplitude du signal du capteur dans une zone A de la surface du capteur PS et l'amplitude du signal du capteur dans une autre zone B présente une caractéristique dite de "courbe en S". La figure 10 montre la relation d'un signal différentiel ΔI qui concerne les amplitudes des signaux du capteur (I_A et I_B) et qui peut être obtenu par un amplificateur différentiel (non représenté), où $\Delta I = I_A - I_B$, par rapport à l'amplitude de la défocalisation (la position de la cible). Le système de mesure à mise au point automatique de l'exemple de la figure 2 utilise une zone de la courbe caractéristique en S dans laquelle l'amplitude de la défocalisation et le signal différentiel ΔI sont dans une relation sensiblement linéaire.

En référence à présent à l'organigramme de la figure 11 et aux représentations de formes d'ondes de sortie des figures 12 et 13, on décrira en détail le fonctionnement du système de mesure de distance montré sur les figures 1 et 2. Le système de mesure de distance de la figure 1 est agencé de façon que le fonctionnement soit commandé dans son ensemble par une unité centrale de traitement (UCT).

A la suite de la mise en marche, par exemple au

moment de la mise sous tension, la platine mobile SR est ramenée dans sa position d'origine. Cette étape est indiquée en ST1. Lorsque la platine mobile SR arrive au point d'origine, comme déterminé à l'étape ST2, le compteur est remis à 0 comme indiqué à l'étape ST3. Ainsi, le système est prêt à l'application d'un signal de commande d'entraînement de la platine mobile.

Lorsque, dans cet état, le signal de commande d'entraînement de la platine est appliqué, l'application de ce signal étant déterminée à l'étape ST4, on procède d'abord à l'opération de mise au point automatique indiquée en ST5. Plus particulièrement, sur la base d'un signal de sortie du système de mesure de distance à mise au point automatique, la platine de mise au point automatique AFS est commandée au moyen du mécanisme piézoélectrique d'entraînement à mouvement fin (actionneur piézoélectrique) afin que la lentille d'objectif LN soit correctement mise au point sur le miroir plan PM. Lorsque l'état au point est établi, comme déterminé à l'étape ST6, la platine de mise au point automatique AFS est bloquée dans cette position sur la platine mobile SR, étape ST7, et la platine mobile SR est ensuite entraînée par le moteur MT, étape ST8.

Dans ce système de mesure de distance et lorsque la platine mobile SR se déplace, comme décrit précédemment, un signal à impulsion est délivré par un circuit électrique (non représenté) du système de mesure de distance du type à interférence de réseaux, pour chaque seizième du pas p du réseau de diffraction GS qui est fixe par rapport à la plaque de surface SP (voir figures 3 et 12). Le compteur travaille de façon à intégrer le nombre d'impulsions.

L'unité centrale de traitement, lorsqu'elle reçoit une instruction d'arrêt, telle que déterminée à l'étape ST9, pendant le mouvement de la platine mobile SR, intervient de façon à arrêter le moteur MT à l'aide du

circuit d'attaque MTD de ce moteur pour arrêter la platine mobile SR, étape ST10, et elle lit le nombre intégré d'impulsions obtenu par le compteur. Ensuite, à l'étape ST11, la platine de mise au point automatique AFS est débloquée. Puis l'actionneur piézoélectrique FD est commandé par un élément d'attaque, non représenté, étape ST12, afin de déplacer la platine de mise au point automatique AFS, portant sur elle le système de mise au point et le système optique du type à interférence de réseau, et de détecter quelle position, entre les signaux à impulsions obtenus du système de mesure de distance du type à interférence de réseaux, la platine mobile a atteint. Autrement dit, si la platine mobile SR est arrêtée en un point S et que le nombre compté d'impulsions, à ce moment, est N, étape ST 13, les moyens de mise au point automatique sont utilisés pour déterminer avec une grande précision quelle position entre la Nième impulsion et la (N+1) ième impulsion le point d'arrêt S prend.

Premièrement, le nombre intégré d'impulsions tel que compté par le compteur à l'instant où la platine mobile SR s'arrête est mémorisé, puis l'actionneur piézoélectrique FD est commandé de façon à déplacer la platine de mise au point automatique AFS, c'est-à-dire le système optique de mesure de distance MH, d'une très faible quantité (d'une quantité légèrement supérieure à l'espacement d'impulsions Δx) et dans un sens opposé à celui du mouvement précédent. En conséquence, l'amplitude de la défocalisation du système de mesure de distance à mise au point automatique ayant, comme cible, le miroir plan PM qui est monté fixement par rapport à la platine mobile SR, est modifiée de façon que le signal différentiel de sortie ΔI (c'est-à-dire le signal de différence $I_A - I_B$ du capteur PS de mise au point automatique) change comme illustré sur la figure 13. A ce moment, l'amplitude de l'avance par la commande piézoélectrique est avantageusement établie dans

la plage dans laquelle la quantité de défocalisation et le signal de différence présentent une relation linéaire. Ceci est souhaitable, car la relation entre le signal de différence et la quantité de défocalisation est détectée à l'avance, de sorte que la quantité de défocalisation peut être déterminée de façon définie une fois que le signal de différence est appliqué. Par conséquent, en déplaçant la platine d'une très faible distance et au moyen de la commande piézoélectrique vers une position qui correspond à la Nième impulsion, il est possible d'obtenir un signal de différence dans la position correspondant à la Nième impulsion. Le signal de différence ainsi obtenu peut être transformé en une quantité de défocalisation δ, étape ST15, et, en conséquence, la position du point S auquel la platine mobile SR est arrêtée peut être représentée par une valeur pouvant être obtenue par addition de δ à la position de génération de la Nième impulsion (c'est-à-dire N. Δx) où Δx est l'intervalle d'impulsion du train d'impulsions du système de mesure de distance du type à interférence de réseaux, étape ST16. Il convient de noter que, jusqu'à ce que la platine mobile SR soit arrêtée, la platine AFS à mouvement fin portant sur elle le système optique est maintenue fixement dans la position (position au point) dans laquelle le signal de mise au point automatique est nul.

Si, dans ce système de mesure de distance, le pas du réseau de diffraction GS est de 1,6 micromètre, l'intervalle des signaux à impulsions du système de mesure de distance du type à interférence de réseau devient 0,1 micromètre. Par conséquent, en plaçant l'amplitude de la commande piézoélectrique dans la plage d'environ 0,2 micromètre, le procédé décrit ci-dessus peut être mis en pratique. En conséquence, tout en conservant une grande course du système de mesure de distance du type à interférence de réseaux, la mesure de distance peut être obtenue

avec la précision de la mise au point automatique. Le positionnement d'une platine mobile, par exemple, peut donc être réalisé avec une grande précision.

Par exemple, la précision de la mesure de distance par mise au point automatique peut être de l'ordre de 0,01 - 0,002 micromètre lorsqu'une lentille d'objectif à mise au point automatique de "x100" (ouverture d'environ 0,9) est utilisée et qu'un capteur à dispositifs à couplage de charge, un capteur de position ou autre est utilisé comme capteur PS de mise au point automatique. Dans ce cas, la relation linéaire du signal de mise au point automatique s'étend sur une région de l'ordre de 1 micromètre.

Dans le système de mesure de distance de la forme de réalisation de la figure 1, le système optique de mise au point automatique ne doit pas toujours être agencé de façon que la position du miroir plan PM et la position du capteur de mise au point automatique PS soit placées dans une relation de formation d'image (conjuguée). Il suffit que le signal différentiel du capteur de mise au point automatique ou que le signal de position du spot lumineux (la quantité de défocalisation par rapport à la direction des mouvements) présente des caractéristiques linéaires ou approximativement linéaires. En l'absence de caractéristiques linéaires, la relation entre l'amplitude du mouvement (amplitude de la défocalisation) et le signal peut être mémorisée à l'avance dans une mémoire morte (MEM) afin que la quantité du très faible mouvement puisse être détectée par une lecture de l'amplitude du mouvement correspondant au signal détecté.

Dans le système de mesure de distance de la forme de réalisation de la figure 1, tel que décrit précédemment, des moyens de mesure de distance à grande course sont utilisés en combinaison avec un système optique dans lequel un signal de sortie est en relation sensiblement linéaire avec l'amplitude du mouvement, par lequel

l'intervalle entre des signaux (résolution) des moyens de mesure de distance ayant une grande course peut être complété. En conséquence, la précision des moyens de mesure de distance à grande course peut être notablement améliorée.

Ceci aboutit à l'avantage d'éviter le problème selon lequel des erreurs sont aisément engendrées par une variation quelconque de la quantité de lumière ou de l'efficacité de la diffraction, lequel problème apparaît parfois lorsqu'un signal déterminé par les conditions optiques, tel que l'ordre de la lumière de diffraction, l'état de polarisation ou autre, est divisé et traité électriquement pour accroître la résolution.

Le système de mesure de distance de la forme de réalisation de la figure 1 peut être modifié en ce qui concerne les points suivants.

Par exemple, lorsque l'amplitude de défocalisation δ est sur le point d'être détectée, la platine de mise au point automatique AFS peut être déplacée en très petites quantités, séquentiellement vers la position correspondant à la Nième impulsion et vers la position correspondant à la (N+1) ième impulsion, et les signaux de différence a et b en ces positions peuvent être détectés. En substituant le pas p des impulsions dans l'équation "$\delta = (a/|b-a|) \times p$", on peut calculer l'amplitude δ du défaut de mise au point ou défocalisation. Tant que les signaux de sortie sont linéaires entre les deux impulsions, l'amplitude de défocalisation δ peut être détectée correctement, même si le signal de sortie du capteur de mise au point automatique varie. Les moyens de mesure de distance à grande course ne sont pas limités à l'instrument de mesure de distance du type à interférence de réseaux. On peut utiliser un instrument de mesure de distance interférométrique à laser ou autre.

Le système optique placé sur la platine à

mouvement fin peut ne comporter qu'une lentille d'objectif du système de mise au point automatique et les éléments optiques de l'instrument de mesure de distance du type à interférence de réseaux. Il n'est pas nécessaire que tous les composants du système de mise au point automatique soient placés sur la platine à mouvement fin.

Bien que la forme de réalisation de la figure 1 constitue un exemple appliqué à la mesure concernant un mouvement sur un seul axe, elle peut également s'appliquer à une mesure portant sur un mouvement à deux axes ou autrement, par l'utilisation d'une structure composée.

Sur la figure 2, le système de mise au point automatique est du type TTL (à visée à travers l'objectif). Cependant, il peut être constitué par un système de mise au point automatique utilisable dans un capteur optique pour un disque audio-numérique (DAN) ou pour un disque vidéo, ou par un système de mise au point automatique utilisable dans un appareil photographique.

La tête MH de mesure de distance peut être fixée à la platine SR et le réseau de diffraction GS peut être monté de façon mobile par rapport à la plaque de surface SP. De plus, le système de mise au point automatique peut être séparé de la tête MH de mesure de distance et disposé dans un emplacement où le système de mise au point automatique peut mesurer la distance du mouvement du réseau de diffraction par rapport à la plaque de surface SP. Après le mouvement de la platine SR, le réseau de diffraction GS peut être déplacé et l'amplitude du mouvement, effectué jusqu'à la détection de l'impulsion, peut être détectée par le système de mise au point automatique.

Comme décrit précédemment, il n'est pas toujours nécessaire que le système de mise au point automatique se trouve dans une relation de formation d'image. Il suffit que le signal de sortie du capteur soit

approximativement linéaire. Dans un système dans lequel le spot lumineux se déplace linéairement sur la surface du capteur, le point sur la surface du miroir plan (montré sur la figure 2) et celui sur la surface du capteur peuvent ne pas être dans une relation conjuguée.

La figure 14 montre un exemple dans lequel un système de mesure de distance selon une forme de réalisation de l'invention est constitué en une unité ou un bloc de mesure de distance.

Dans ce bloc de mesure de distance, des moyens de mise au point automatique, qui comprennent une source de lumière LD, une lentille collimatrice CL, un diviseur de faisceau à polarisation HM1, une lame quart d'onde QW, des lentilles de condensation GL1 et GL2 et un capteur optique de détection de position PS (comprenant un dispositif à couplage de charge ou autre), sont disposés sur une partie mobile de platine ST. De plus, le mouvement de la partie mobile de platine ST est détecté, sous forme d'un signal à train d'impulsions, au moyen d'un réseau linéaire GS fixé à la partie mobile de platine ST et d'une tête de lecture MH prévue sur une partie fixe de platine SS.

La partie mobile de platine ST est déplacée au moyen d'un actionneur AT. Un objet MO examiné possède un plan de référence de mesure OS qui est formé par une surface de miroir ayant une grande précision de surface.

L'une des caractéristiques les plus importantes de cet exemple est que, dans un circuit ED de détection et de traitement, à chaque fois qu'un circuit FF de détection de foyer reçoit un signal à impulsions provenant d'un système électrique PC de mesure de distance par train d'impulsions, la valeur de sortie de mise au point automatique à cet instant est renouvelée et mémorisée.

La figure 15 montre l'organigramme d'un tel fonctionnement. La figure 16 montre aussi un exemple de l'écartement des impulsions et d'une tension électrique de

mise au point automatique.

Lorsque l'arrêt de l'objet MO est déterminé, étape ST20, l'actionneur AT du bloc de mesure de distance intervient, étape ST21, afin d'amener le système de mise au point automatique dans la position de mise au point correcte par rapport au plan de référence OS. Ce mouvement est mesuré par la détection de variations portant sur la quantité de la lumière d'interférence en utilisant l'échelle GS et la tête de lecture MH et par le comptage, sous forme de signaux à impulsions, étape ST22, des variations de quantité de lumière, par l'utilisation du système électrique PC de mesure de distance par train d'impulsions. La résolution, dans ce cas, est égale à l'écartement Δx des impulsions (figure 16).

A chaque fois qu'une unité centrale de traitement UCT reçoit un signal à impulsion, la tension de mise au point V_{AF} est, à cet instant, renouvelée et mémorisée, étape ST23. Lorsque le signal de mise au point automatique produit un signal indiquant la mise au point, à savoir V_{AF} = 0 V, l'actionneur AT s'arrête, étape ST24.

Puis, dans l'unité centrale de traitement UCT, le nombre j des impulsions ayant été compté et la tension de mise au point Vj mémorisée en dernier par le système de détection de mise au point FF sont utilisés pour calculer la distance x, à l'aide de l'équation suivante :

$$x = j.\Delta x + Vj.\xi$$

dans laquelle Δx est la distance en mouvement correspondant à l'écartement des impulsions, et il s'agit d'un pas de 0,4 micromètre, par exemple, et ξ est un coefficient de distance de sortie ayant été étalonné à l'avance en fonction de la sensibilité du système de mise au point automatique (étape ST25).

La figure 17 montre un exemple dans lequel deux blocs de mesure de distance, du type venant d'être décrit, sont incoporés dans un dispositif se déplaçant sur deux

axes. Dans cet exemple, ces blocs de mesure de distance sont utilisés pour le positionnement avec une haute précision d'une tête d'alignement automatique d'un appareil d'exposition pour la fabrication de dispositifs à semiconducteurs.

La figure 18 montre un exemple dans lequel le système de mesure de distance du type à interférence de réseaux de diffraction de l'instrument de mesure de distance utilisé dans l'exemple de la figure 1 est remplacé par un système de mesure de distance interférométrique à laser.

Sur la figure 18, les mêmes caractères de référence que ceux utilisés sur la figure 1 sont affectés à des éléments correspondants ou similaires. Dans l'exemple de la figure 18, une tête à laser LZ, un bloc d'interférence IU et un prime CP à cube d'angle constituent un système de mesure interférométrique à laser. Le bloc d'interférence IU est fixé à une plaque de surface SP, tandis que le prisme CP à cube d'angle est fixé à une platine AFS à mouvement.

La figure 19 montre des détails du système optique de mesure de distance placé sur la platine AFS à mouvement fin illustrée sur la figure 18. Certains des éléments de l'exemple de réalisation de la figure 2, constituant le système optique de mesure de distance du type à interférence de réseaux de diffraction, à savoir le diviseur optique HM2, les plaques ou lames de phase FP1 et FP2, les prismes à cubes d'angle CC1 et CC2, le diviseur optique BS et les photodétecteurs PD1 et PD2 sont supprimés et, à leur place, le prisme CP à cube d'angle, destiné à réfléchir un faisceau laser vers le bloc d'interférence à laser, est monté sur une table RT qui est fixée à la platine AFS à mouvement fin.

De plus, dans l'instrument de mesure de distance de cet exemple, la mesure de distance est réalisée

sensiblement suivant la même séquence (voir figure 11) et les mêmes opérations que dans la forme de réalisation de la figure 1. Plus particulièrement, une platine SR à mouvement grossier et la platine AFS à mouvement fin sont déplacées et, à chaque fois que la platine AFS à mouvement fin, ou que le sujet de la mesure, tel qu'une sonde optique (non représentée) ou autre, fixée à la platine AFS, se déplace sur une longueur unitaire prédéterminée Δx, un signal à impulsion est émis par le système interférométrique à laser. Puis, en utilisant un signal analogique de sortie de mesure de distance du système de mesure de distance à mise au point automatique, on établit de façon complète l'intervalle entre ces impulsions. En procédant ainsi, il est possible de mettre en pratique une mesure de distance à haute résolution (haute précision) tout en conservant la précision du système de mesure de distance interférométrique à laser vis-à-vis d'une mesure sur une grande course.

La figure 20 représente une autre forme de réalisation de l'invention.

Sur cette figure, on désigne en SM un élément de référence ayant un réseau de diffraction qui correspond au réseau de diffraction GS de l'exemple de la figure 2. L'élément de référence SM est fixé à l'un de deux objets mobiles l'un par rapport à l'autre. Les composants optiques autres que l'élément de référence SM, montrés sur la figure 20, constituent un système optique MH de tête de mesure de distance et ils sont fixés sur l'autre des deux objets. Il est prévu, sur l'élément de référence SM, comme montré sur la figure 23, un réseau de diffraction GS pour la mesure interférométrique de distance. Il est également prévu des réseaux échelonnés ou dentelés BG1 et BG2 pour une mesure de distance à mise au point automatique, disposés parallèlement au réseau GS, et une surface plate FT qui se comporte comme une surface réfléchissante et qui assume la fonction d'une surface de référence pour une mesure de

distance par mise au point automatique. Les deux réseaux dentelés BG1 et BG2 sont disposés de façon à pouvoir être déplacés l'un par rapport à l'autre dans la direction du mouvement relatif (direction d'une flèche A) entre l'élément de référence SM et le système optique MH de la tête de mesure de distance, d'une amplitude correspondant à la moitié du pas p_B du réseau.

Sur la figure 20, il est prévu une source de lumière LD1, un demi-miroir HM2, des plaques ou lames de phase FP1 et FP2, des miroirs CP1 et CP2, un diviseur optique BS et des photodétecteurs PD1 et PD2 qui peuvent tous coopérer pour constituer un système optique de mesure interférométrique de distance. Le système optique de mesure interférométrique de distance et le réseau GS de mesure interférométrique de distance formés sur l'élément de référence SM correspondent au système optique produisant un train d'impulsions et au capteur qui ont été décrits en référence à la figure 2, par exemple.

En outre, il est prévu une source de lumière LD2, une lentille collimatrice CL, des demi-miroirs HM11 et HM12 ayant chacun une demi-surface de miroir formée uniquement sur la moitié de sa surface diagonale, des lentilles d'objectif LN1 et LN2 et des détecteurs optiques de position PS1 et PS2, tous ces éléments constituant en fait deux jeux de systèmes optiques de mesure de distance à mise au point automatique. Chacun des systèmes optiques de mesure de distance à mise au point automatique possède une structure qui est optiquement équivalente à celle du système optique décrit en référence à la figure 2, par exemple. Chaque système optique de mesure de distance à mise au point automatique est disposé de manière que, comme montré sur la figure 22, la lumière soit focalisée au voisinage de la surface de l'un, correspondant, des réseaux dentelés BG1 et BG2 formés sur l'élément de référence SM.

En outre, il est prévu une source de lumière

LD3 qui comprend un laser à semiconducteur ou autre, et un capteur PS3 de détection de position d'un spot lumineux, qui sont utilisés pour détecter une variation quelconque de l'intervalle entre l'élément de référence SM et la surface de détection du système optique MH de la tête de mesure de distance. La source de lumière LD3 et le capteur PS3 sont agencés de manière qu'une lumière soit projetée par la source de lumière LD3 sur une région de surface de réflexion FT sur l'élément de référence SM, tandis que la lumière réfléchie par la région FS est reçue par le capteur PS3 de détection de position et, sur la base de cette lumière, un signal représentant une variation quelconque de l'intervalle entre l'élément de référence SM et le système optique MH de la tête de mesure de distance est obtenu. Ce signal est utilisé de manière que, lorsqu'une erreur est engendrée dans le signal de mesure de distance par mise au point automatique par suite d'une variation de l'intervalle, cette erreur affectant le signal de mesure de distance par mise au point automatique soit détectée à partir de ce signal afin qu'elle puisse être corrigée par soustraction de la composante d'erreur du signal de mise au point automatique.

La figure 23 montre la relation entre des signaux à trains d'impulsions tels qu'émis par le système de mesure interférométrique de distance à réseau de la figure 20 et la forme, en coupe, de chacun des réseaux dentelés BG1 et BG2 formés sur l'élément de référence SM (c'est-à-dire les signaux de sortie du système de mesure de distance à mise au point automatique). On suppose à présent que chacun des réseaux dentelés BG1 et BG2 possède un pas p_B et que la différence de hauteur (gradin ou échelon de surface) du réseau est désignée par H. Il est donné au pas p_B une valeur supérieure d'un nombre paire de fois (par exemple dix fois supérieure) à l'intervalle Δx des impulsions du train d'impulsions du système de mesure

interférométrique de distance.

A la suite d'une mesure de distance effectuée dans ce dispositif, on compte des nombres cumulés ... n-1, n, n+1, ... pour le train d'impulsions du système de mesure interférométrique de distance à réseaux. Les systèmes de mesure de distance à mise au point automatique, destinés à mesurer les positions en surface des réseaux dentelés BG1 et BG2, sont utilisés en alternance. Par exemple, immédiatement avant un gradin de surface (arête) du réseau BG1, le signal à utiliser pour la mesure de distance est commuté sur le signal produit par le système de mesure de distance à mise au point automatique du côté du réseau BG2 et, de plus, immédiatement avant un gradin de surface (arête) du réseau BG2, le signal à utiliser pour la mesure est commuté sur le signal produit par le système de mesure de distance à mise au point automatique du côté du réseau BG1. Autrement dit, lorsque le mouvement de l'élément de référence par rapport à la tête MH de mesure de distance est un mouvement de l'élément de référence SM dans le sens négatif sur l'axe X de la figure 23, la commutation du côté BG2 vers le côté BG1 est réalisée à l'instant de la (n-1)-ième impulsion, tandis que la commutation du côté BG1 vers le côté BG2 est réalisée à l'instant de la (n+4) ième impulsion, comme montré sur la figure 23. Lorsque le mouvement relatif de l'élément de référence SM est de sens positif sur l'axe X, la commutation inverse est réalisée. le sens du mouvement relatif de l'élément de référence SM par rapport au système optique MH de la tête de mesure de distance peut être différencié sur la base des signaux de mesure de distance à mise au point automatique correspondant aux réseaux BG1 et BG2, respectivement. En conséquence, la commutation peut être réalisée correctement sur la base de l'information obtenue par la différenciation.

Le signal de sortie (signal de mise au point automatique) d'un système de mesure de distance à mise au

point automatique qui est focalisé au voisinage de la surface d'un réseau dentelé, change avec la variation de l'amplitude du défaut de mise au point, ou de la défocalisation, du système optique de mesure de distance à mise au point automatique, laquelle variation est due à un mouvement relatif de l'élément de référence SM. En conséquence, le mouvement de l'élément de référence SM dans la direction de l'axe X peut être détecté sous la forme d'une information portant sur la direction de la hauteur (hauteur de surface) de la surface du réseau dentelé. Dans ce cas, pour utiliser une zone dans laquelle le signal de mesure de distance à mise au point automatique présente des caractéristiques linéaires par rapport à l'amplitude du défaut de mise au point (voir figure 10), il est nécessaire que la hauteur H du réseau dentelé soit faible en comparaison avec la hauteur sur laquelle la linéarité du signal de mise au point automatique est assurée. Par exemple, en choisissant la hauteur de manière que, au centre (point C) du réseau dentelé par rapport à sa direction longitudinale, le signal différentiel de sortie ΔI (voir figures 9 et 10) sur la surface du capteur du système de mise au point automatique devienne nul (c'est-à-dire l'état au point), on peut obtenir un signal lié à la différence de hauteur δ de la surface dans la position d'un point K sur la figure 23. La longueur comprise, dans la direction de l'axe X, entre le point C et le point K, est déterminée par "$\delta.H/p_B$". Par conséquent, si la Nième impulsion correspond au point C, la position du point K peut être donnée par :

$$N.\ x + \delta.H/p_B$$

En outre, comme montré sur la figure 24, à chaque fois qu'un signal à impulsions est produit par le système de mesure interférométrique de distance, la tension de détection de mise au point V_{AF} peut alors être mémorisée et, jusqu'à la production du signal à impulsions suivant,

la complémentation peut être effectuée sur la base de la tension de différence, en référence à la tension mémorisée V_{AF}.

Lorsqu'une lumière destinée à la mesure de distance à mise au point automatique est projetée sur le réseau dentelé, il est souhaitable qu'un plan défini par une lumière incidente et une lumière réfléchie forme un angle, proche d'un angle droit, avec la direction du mouvement relatif de l'élément de référence SM.

Un réseau dentelé, utilisable dans la présente forme de réalisation, peut être fabriqué par l'un quelconque de procédés connus, tels qu'un procédé de gravure par voie humide utilisant la relation entre l'orientation cristalline d'une tranche de silicium et la vitesse d'attaque, un procédé d'usinage mécanique, un procédé de fabrication par lithographie et gravure à sec, etc.

Les spécifications d'un exemple particulier peuvent être celles données ci-dessous.

Le pas p du réseau de mesure interférométrique de distance est de 1,6 micromètre et l'intervalle des impulsions du train d'impulsions du système de mesure interférométrique de distance à réseaux est de 0,4 micromètre. Des lentilles d'objectif "x100" (ouverture d'environ 0,9) sont utilisées pour les lentilles LN1 et LN2 du système de mesure de distance à mise au point automatique.

Chaque réseau dentelé utilisé possède un pas p_b d'environ 3 micromètres, une hauteur différentielle de surface H d'environ 1 micromètre et un angle d'inclinaison θ de 18 degrés par rapport à la surface plane FS. Il est apparu que l'étendue de la zone dans laquelle le signal de mise au point automatique présente des caractéristiques linéaires est légèrement inférieure à 1 micromètre, et que la tension différentielle maximale de sortie $(I_A - i_B)_{max}$ est d'environ 2 V, tandis que le bruit (N) est de 5 mV. La précision de mise au point automatique pouvant être

obtenue en tant que valeur différentielle de sortie $\Delta I(S)$ où le rapport signal/bruit est égal à 1, est de 0,0025 micromètre. De plus, la précision de la mesure du mouvement relatif entre le réseau de référence SM et le système optique MH de la tête de mesure de distance est de 0,007 micromètre.

Il convient de noter que, dans la présente forme de réalisation, l'instrument de mesure de distance à grande course n'est pas limité à une jauge interférométrique à réseau. Tout autre type d'instrument de mesure de distance, tel qu'un instrument de mesure de distance interférométrique à laser, au moyen duquel on peut obtenir des signaux à impulsions de mesure, peut être utilisé.

Chaque système de mesure de distance à mise au point automatique utilisé dans la forme de réalisation de la figure 20 est du type à mise au point à travers l'objectif (TTL). Cependant, tout autre type de système de mise au point automatique tel que, par exemple, un système de mise au point automatique utilisable en tant que capteur optique pour une mise en oeuvre avec un disque audionumérique ou un disque vidéo, un système de mise au point automatique utilisable dans un appareil photographique, etc peut être utilisé.

De plus, soit l'élément de référence SM, soit le système optique MH de la tête de mesure de distance peut être réalisé de façon à être mobile. Il est évident que tous deux peuvent être rendus mobiles.

Bien que dans la présente forme de réalisation, on utilise deux réseaux dentelés, il est possible d'utiliser un seul réseau dentelé en combinaison avec deux systèmes de sondes PR1 et PR2 de mise au point automatique, comme montré sur la figure 25. Dans ce cas, il est préférable que les deux sondes soient disposées de façon que deux points de mesure définis par les sondes soient espacés d'une distance approximativement égale à la moitié

du pas du réseau dentelé, ou approximativement égale à un multiple impair de la moitié du pas.

Dans le dispositif de mesure de distance de la forme de réalisation de la figure 20, l'intervalle entre impulsions provenant du dispositif de mesure de distance qui est conçu pour produire des signaux à impulsions à intervalles correspondant à une certaine longueur ou une certaine distance, comme dans le cas d'un dispositif de mesure interférométrique de distance à réseaux ou d'un dispositif de mesure interférométrique de distance à laser, est complété sur la base de la valeur mesurée obtenue par des moyens de mesure de distance à mise au point automatique à haute précision (haute résolution) et faible course, mis au point sur la configuration de surface d'un élément de réseau dentelé. Par conséquent, l'intervalle entre impulsions peut être résolu de façon additionnelle afin qu'il soit rendu possible d'assurer une mesure avec une haute précision et une haute résolution, tout en conservant la haute précision de la position du dispositif de mesure de distance, dans laquelle une impulsion est produite.

En outre, les moyens de mesure à mise au point automatique possèdent une très faible course, par exemple de l'ordre de 1 micromètre et, pour cette raison, dans la forme de réalisation de la figure 1, la platine portant la tête de mesure de distance est constituée d'une structure double, comprenant une platine mobile SR et une platine AFS à mouvement fin. Cependant, dans la présente forme de réalisation, un élément particulier analogue à un réseau dentelé, dans lequel des surfaces inclinées sont formées de façon répétée avec de très faibles différences de hauteur entre elles, est utilisé et, grâce à cet élément, un déplacement correspondant à la petite course, dans la direction du mouvement de l'objet examiné, est converti en un déplacement dans la direction coupant la direction du mouvement et, après cette conversion, il est mesuré. Par

conséquent, en donnant à la hauteur différentielle de la surface de l'élément tel que le réseau dentelé une valeur telle que la différence soit comprise dans la course des moyens de mesure de distance à mise au point automatique, il est possible de mesurer un très faible déplacement, à l'intérieur de la petite course des moyens de mesure de distance à mise au point automatique, qui peut faire partie d'un mouvement sur une grande distance, sans qu'il soit nécessaire de déplacer les moyens de mise au point automatique.

En outre, comme décrit précédemment, deux éléments de réseaux dentelés sont disposés de façon que les positions de leurs gradins de surface soient décalées entre elles dans la direction du mouvement. En variante, un seul élément de réseau dentelé est utilisé, les points, qui sont écartés d'une valeur correspondant à environ la moitié du pas du réseau, étant pris comme cibles pour la mesure de distance à mise au point automatique. Dans tous les cas, avant et après un gradin (une arête) de la surface de l'élément de réseau dentelé, le sujet de la mesure ou la position est commuté de façon à empêcher qu'un signal de mesure de distance à mise au point automatique provenant d'une partie de l'élément de réseau dentelé ayant une forme de surface non fiable soit utilisé. Grâce à cet agencement, on peut parvenir à une amélioration supplémentaire de la précision de la mesure.

La figure 26 montre un exemple d'un dispositif de mesure interférométrique de distance à réseaux de diffraction qui est réalisé sans l'utilisation d'un cube d'angle quelconque comme moyen de production de signaux à impulsions. Sur la figure 26, un réseau de diffraction GS, relativement mobile, est monté fixement sur l'un de deux objets pouvant être déplacés l'un par rapport à l'autre, et une partie de tête de mesure de distance MH est montée fixement sur l'autre des deux objets.

Un faisceau laser émis par une source de lumière LD (par exemple un laser à semiconducteurs) de la partie de tête MH de mesure de distance est transformé en une onde plane au moyen d'une lentille collimatrice CL, puis est divisé en deux au moyen d'un demi-miroir MH20. Les deux faisceaux L01 et L02 résultant de la division sont réfléchis par des miroirs MR1 et MR2, respectivement, et sont dirigés sur des lames quart d'onde QW1 et QW2. Ils sont ensuite diffractés par des réseaux fixes GF1 et GF2, respectivement. Des lumières diffractées positive et négative de Nième ordre LN1 et LN2 sont projetées sur le réseau mobile GS où elles sont de nouveau diffractées de façon réfléchissante, afin de revenir dans la même direction et d'être combinées entre elles. La lumière ainsi obtenue est séparée par des demi-miroirs HM21 - HM23 et, après avoir été convertis en signaux électriques au moyen de l'ensemble formé des lames polarisantes PP1 - PP4 et des capteurs (photodétecteurs) PD1 - PD4, ces signaux sont extraits. Les lames quart d'onde QW1 et QW2 disposées sur les trajets des faisceaux lumineux L01 et L02 sont préparées à l'avance de façon que leurs axes rapides soient inclinés en formant des angles respectifs de +45 degrés et -45 degrés avec la composante de lumière polarisée linéairement du faisceau laser. En outre, les positions angulaires des lames polarisantes PP1 - PP4 sont établies de façon que leurs orientations de polarisation deviennent égales à 0 degré, 45 degrés, 90 degrés et 135 degrés, respectivement.

Grâce à cet agencement, la quantité de chaque lumière arrivant sur l'un, correspondant, des capteurs PD1-PD4 change, comme montré sur la figure 27, avec le mouvement du réseau mobile GS, et ces changements sont détectés sous forme de signaux de sortie de détection de la quantité de lumière, autrement dit sous la forme des signaux de sortie des capteurs PD1 - PD4 dont les phases

sont décalées successivement d'une différence de 90 degrés.

La figure 28 montre l'état des lumières diffractées où, dans le système de mesure de distance de l'exemple de la figure 26, la longueur d'onde de sortie de la source de lumière LD se décale.

Sur la figure 28, les trajets des lumières, où le réglage est sensiblement parfait, sont illustrés en traits pleins, tandis que les trajets des lumières où la longueur d'onde est décalée sont illustrés en traits mixtes. Ainsi, les flux lumineux désignés L11 et L12 sur cette figure représentent respectivement les lumières de diffraction obtenues lorsque la longueur d'onde a été décalée. Les signaux de sortie des capteurs PD1 - PD4, lorsqu'ils se produit un tel décalage de la longueur d'onde, sont tels qu'illustrés sur la figure 29. Indépendamment de l'amplitude du mouvement du réseau mobile GS, une composante dite de polarisation est incorporée dans chacun des signaux de sortie des capteurs. La raison en est qu'une zone de flux lumineux (dans laquelle aucune frange d'interférence ne se forme), autre que la zone d'interférence, comme représenté par des hachures sur la figure 28, augmente et que l'étendue de la zone du flux lumineux dans laquelle aucune frange d'interférence ne se forme change avec l'amplitude du décalage de la longueur d'onde. Par conséquent, il apparaît des variations telles que celles représentées, affectant les formes d'ondes des signaux de sortie des photodétecteurs PD1 - PD4 montrés sur la figure 29. Cependant, lorsque le traitement doit être réalisé sur la base de quatre signaux de détection ayant des différences de phase successives de 90 degrés, la division par rapport à la période des signaux peut être réalisée avec une bonne précision, même en cas de décalage de la longueur d'onde.

Plus particulièrement, les quatre signaux sont classés en deux groupes comprenant chacun deux signaux

ayant une différence de phase de 180 degrés. Lorsque deux signaux de différence, concernant chacun les deux signaux d'un groupe correspondant, sont considérés, ces deux signaux de différence ont une différence de phase de 90 degrés. Par conséquent, en utilisant ces deux signaux de différence, on peut obtenir des signaux à impulsions d'une manière similaire à celle décrite en référence aux formes de réalisation précédentes. Ces deux signaux de différence ne sont pas affectés par une variation quelconque du niveau du courant continu et ont chacun une amplitude double de celle du signal d'origine. En conséquence, on peut réaliser une mesure avec une bonne précision.

Si l'on utilise seulement deux capteurs et si l'on souhaite obtenir des impulsions du même pas que dans le cas où l'on utilise quatre capteurs, en traitant électriquement deux types de signaux ayant des phases de 0 degré et de 90 degrés, la précision de la division électrique des signaux est alors détériorée par suite d'un décalage quelconque de la longueur d'onde. Ceci est identique à ce qui a été décrit en référence aux figures 3 à 6.

Lorsqu'une lumière est projetée sur un réseau à l'aide d'un dispositif tel que celui décrit dans les demandes N° Sho58-191906 et Sho58-191907 précitées, la direction de leur diffraction (à savoir l'angle) change avec la longueur d'onde de la lumière. Pour s'adapter à de telles caractéristiques, on utilise des cubes d'angle ou trièdres. Le cube d'angle est un prisme formé de façon à définir un angle de 90 degrés entre des surfaces multiples afin que la lumière réfléchie reparte dans la même direction que la lumière incidente. Le cube d'angle exige une haute précision d'usinage, de sorte qu'il est coûteux. En outre, il est de grande dimension.

Dans le dispositif de la Figure 26, des moyens à réseaux de diffraction (réseaux fixes GF1 et GF2) sont

également prévus sur le côté de la partie de tête MH de mesure de distance, en plus du réseau mobile GS, de manière que les lumières de diffractions positive et négative de Nième ordre provenant des réseaux fixes soient de nouveau diffractées par le réseau mobile, les dernières lumières diffractées se propageant le long du même trajet vers le capteur. Par conséquent, on peut obtenir, lorsque la longueur d'onde change, une lumière d'interférence dont la luminosité change avec le mouvement du réseau mobile, sans utilisation d'un cube d'angle quelconque décrit ci-dessus. En d'autres termes, l'instrument interférométrique de mesure de distance à réseaux décrit possède une bonne stabilité à l'encontre des variations de la longueur d'onde, sans utilisation d'un quelconque cube d'angle. Le coût et la dimension du dispositif peuvent donc être abaissés. En outre, la structure décrite facilite l'intégration des composants dans un dispositif compact, comme décrit ci-après.

Lorsqu'un dispositif de mesure interférométrique de distance à réseaux est formé d'une source de lumière, d'un demi-miroir, de cubes d'angle, de plaques polarisantes, de détecteurs, etc., qui sont combinés dans trois dimensions, il existe un risque de détérioration de la précision de mesure de distance par suite de l'introduction d'une erreur dans un signal d'interférence, du fait d'une variation mécanique entre composants optiques, d'un changement de température ou d'un écoulement irrégulier de l'air. De plus, la présence séparée de la source de lumière, du système de détection, etc., conduit à l'encombrement en volume occupant l'espace. Il n'est pas difficile de rendre la structure compacte. De plus, du fait de la distance spatiale entre le dispositif de détection et le circuit de traitement, des parasites se mêlent aisément au signal, entraînant une détérioration de la précision de la mesure.

La Figure 30 montre un exemple dans lequel les composants principaux d'un dispositif de mesure de distance à réseaux de diffraction sont formés en un "circuit intégré". Dans cet exemple, une partie qui correspond à un système optique de la partie de tête MH de mesure de distance de l'instrument de mesure de la forme de réalisation de la Figure 1 et un circuit électrique de traitement de signaux, produisant des impulsions en fonction de la luminosité/obscurité de la lumière d'interférence, sont formés sur une plaque de base en GaAS.

Comme montré sur cette figure, une couche guide d'onde diélectrique WG est formée sur l'élément de base SB en GaAS, et l'onde lumineuse se propage le long d'un trajet optique préalablement établi.

La source de lumière LD peut être formée sur la plaque de base SB en GaAS par l'utilisation d'un procédé d'épitaxie par faisceau moléculaire, par exemple. Une partie LS à lentille et diviseur de faisceau formée dans la couche guide d'onde WG, a pour effet de transformer une lumière divergente, provenant de la source de lumière LD, en une lumière parallèle, puis de la diviser suivant deux directions. Des coupleurs à réseaux GC1 et GC2 ont chacun pour effet d'émettre vers l'extérieur, sous un certain angle, l'onde lumineuse se propageant à travers le guide d'onde à filmmince WG, en direction de l'espace extérieur.

Le réseau de diffraction de référence GS correspond au réseau mobile GS de l'instrument de mesure de distance de la forme de réalisation de la Figure 26 et il a pour effet de diffracter les ondes lumineuses provenant des coupleurs à réseaux GC1 et GC2 vers la même direction. Le photodétecteur PD est destiné à détecter l'intensité de la lumière de diffraction d'interférence à partir du réseau de diffraction de référence GS.

On décrira à présent le fonctionnement.

L'onde lumineuse provenant de la source de

lumière LD se propage à travers le guide d'onde WG et, au moyen de la partie LS à lentille et diviseur de faisceau, elle est transformée en deux lumières parallèles L01 et L02 qui se propagent dans des directions différentes à travers le guide d'onde WF. Chacune des lumières L01 et L02 est réfléchie à l'intérieur du guide d'onde WG par l'un, correspondant, des miroirs MR1 et MR2 de façon qu'elle progresse parallèlement à la direction longitudinale du réseau de référence GS. Les lumières réfléchies par les miroirs MR1 et MR2 arrivent sur les coupleurs à réseaux GC1 et GC2. Les coupleurs à réseaux GC1 et GC2 ont chacun pour fonction d'émettre l'onde lumineuse, qui s'est propagée à travers le guide d'onde WG, de la surface de la plaque de base vers l'extérieur, sous un angle préalablement établi, et à travers la surface du guide d'onde. Cet angle est lié au pas du réseau de référence GS et à la longueur d'onde de la lumière. Si un réseau de référence ayant un pas p = 1,6 micromètre est utilisé et lorsque la longueur d'onde est λ=0,83 micromètre, l'angle d'émission est alors de 58,8 degrés.

Les deux ondes lumineuses provenant des coupleurs à réseaux GC1 et GC2 sont diffractées perpendiculairement par le réseau de diffraction de référence GS et arrivent sur le photodétecteur PD. Ce dernier soumet à une conversion photoélectrique l'intensité d'interférence des deux lumières diffractées.

On expliquera à présent le principe de fonctionnement en tant qu'instrument de mesure de distance.

Les ondes lumineuses émises vers l'espace extérieur au moyen des coupleurs à réseaux GC1 et GC2 sont diffractées par le réseau de référence GS, comme décrit. La distribution d'intensité de la lumière diffractée produite à cet instant peut être exprimée par l'équation suivante :

$$I = I_0 + I_1 \cos[2\pi . X/\{p/(m-n)\}]$$

dans laquelle

X est l'amplitude de la variation relative entre la plaque de base et le réseau de référence ;

p est le pas du réseau de diffraction de référence ;

m est l'ordre de diffraction, par le réseau de diffraction de référence, de la lumière provenant du coupleur à réseau GC1 ;

n est l'ordre de diffraction, par le réseau de diffraction de référence, de la lumière provenant du coupleur à réseau GC2 ;

I_0 est le niveau en continu ; et

I_1 est l'amplitude du signal.

En supposant à présent que m = + 1, n = - 1 et p = 1,6 micromètre, la distribution d'intensité I peut être déterminée par :

$$I = I_0 + I_1 \cos[2\pi \cdot (X/0,8]$$

On voit donc qu'à chaque fois que le réseau de référence GS se déplace d'un pas de 0,1 micromètre, un signal sinusoïdal d'une période est produit. Le détecteur PD peut travailler de façon à compter les périodes de tels signaux sinusoïdaux afin que l'amplitude du mouvement du réseau de référence GS puisse être mesurée.

Le dispositif de mesure de distance du type à interférence de réseaux de la présente forme de réalisation comporte une source de lumière, des éléments optiques, un système de détection et un circuit de traitement qui sont intégrés sur la même plaque de base. En conséquence, la dimension peut être réduite et les parasites peuvent être supprimés ; de plus, on peut atteindre une précision plus élevée.

On décrira à présent les moyens destinés à détecter le sens du mouvement du réseau de référence GS.

Pour détecter le sens du mouvement, il est nécessaire d'obtenir deux signaux dont les phases sont décalées l'une par rapport à l'autre d'une quantité correspondant à un quart de la période.

Un exemple particulier est illustré sur la Figure 31 où le réseau de référence GS est formé de deux rangées GL1 et GL2 dont les phases sont relativement décalées par rapport à la direction du mouvement du réseau de référence GS d'une quantité correspondant à 1/4 x (m-n) pas. De plus, deux détecteurs photoélectriques PD1 et PD2 sont formés sur la plaque de base SB, en correspondance avec les deux rangées de grilles.

Les lumières de diffraction provenant des rangées de grilles GL1 et GL2, respectivement, sont reçues par les différents capteurs PD1 et PD2 qui sont séparés spatialement. On peut obtenir ainsi des signaux dont les phases sont décalées l'une par rapport à l'autre d'un quart de la période, comme montré sur la Figure 32.

La Figure 33 montre un exemple dans lequel un dispositif de mesure de distance du type à interférence de grilles est prévu en tant que dispositif de mesure hétérodyne optique.

Dans cet exemple, un décaleur de fréquence FS, qui comprend un dispositif à onde acoustique de surface, par exemple, est disposé au milieu du trajet optique afin de produire une onde lumineuse dont la fréquence est décalée, par rapport à la fréquence f_0 de la lumière de sortie de la source de lumière LD, d'une quantité Δf correspondant à la fréquence d'oscillation d'un oscillateur OSC. Les ondes lumineuses de la fréquence f_0 et de la fréquence $f_0 + \Delta f$ sont projetées sur des coupleurs à réseaux GC1 et GC2 et, par l'intermédiaire de ces coupleurs, elles sont projetées sur un réseau de référence GS, formé en une seule rangée. La lumière diffractée par le réseau de référence GS est reçue par un photodétecteur PD.

Le signal qui peut être obtenu directement par le photodétecteur PD peut être exprimé de la manière suivante :

$$I = I_0 + I_1\cos[2\pi\Delta ft - 2\pi.X/\{p/(m-n)\}]$$

On voit ainsi qu'en détectant une différence de phase par rapport à un signal de sortie de l'oscillateur OSC en utilisant un circuit de détection de phase PSD, on peut détecter l'amplitude du mouvement du réseau de référence GS et le sens de ce mouvement, comme dans le cas de la forme de réalisation précédente.

L'une des caractéristiques du dispositif de la présente forme de réalisation réside dans le fait qu'il n'est pas nécessaire d'utiliser un réseau spécial (voir la Figure 31, par exemple) pour déterminer le sens du mouvement. De plus, en un temps court, on peut obtenir la moyenne par rapport au temps. L'amplitude du mouvement peut donc être détectée de façon très précise.

Dans les dispositifs de mesure de distance du type à circuit intégré des exemples des Figures 30 et 33, un élément en GaAs est utilisé comme plaque de base SB. Cependant, l'élément de base peut être réalisé en Si. Dans ce cas, la source de lumière LD peut être placée à l'extérieur.

Comme décrit précédemment, en intégrant un système optique (à l'exclusion d'un réseau de référence) et un système électrique de traitement de signaux sur un seul élément de base, dans un dispositif de mesure de distance du type à interférence de grilles, la nécessité de l'ajustement d'assemblage est supprimée et le dispositif peut être réalisé de façon à être stable vis-à-vis des perturbations. En outre, la dimension et le poids du dispositif peuvent être réduits, en même temps qu'une mesure de haute précision est assurée.

Habituellement, dans un dispositif de mesure de

distance du type à interférence de grilles, un système optique comprend des miroirs ou des cubes d'angle. En particulier, des miroirs ou autres sont utilisés dans un système optique pour projeter de la lumière sur un réseau. Cependant, ceci conduit à une difficulté dans l'ajustement de l'assemblage et à une difficulté dans la réalisation compacte du dispositif.

La Figure 34 montre un exemple dans lequel un prisme de réfraction double, tel qu'un prisme de Wollaston, est utilisé de façon à projeter de la lumière sur un réseau relativement mobile, de manière à conférer une structure simple à un système optique destiné à diriger la lumière sur le réseau.

Sur la Figure 34, la lumière émise par une source LD, telle qu'un laser à semi-conducteurs ou autres, est transformée en une onde plane au moyen d'une lentille collimatrice CL, et l'onde plane ainsi formée arrive perpendiculairement sur un prisme de Wollaston WP. Le prisme de Wollaston est formé par collage de deux éléments en matière à réfraction double (biréfringence) (par exemple des éléments en calcite) façonnés sous la forme d'un prisme. La lumière incidente du prisme de Wollaston est divisée en deux composantes lumineuses polarisées, perpendiculaires entre elles, et les deux composantes lumineuses peuvent être extraites. La Figure 35 montre ceci. La lumière à projeter sur le prisme de Wollaston WP peut être une lumière polarisée linéairement ayant une direction de polarisation inclinée de 45° par rapport à une lumière de polarisation P LOp et à une lumière de polarisation S LOs ou bien, en variante, une lumière polarisée circulairement qui peut être produite par l'interposition d'une lame quart-d'onde entre la lentille collimatrice CL et le prisme de Wollaston WP.

Sur la Figure 35, les lumières sortant du prisme de Wollaston WP sont telles que leurs composantes

lumineuses de polarisation P et leurs composantes lumineuses de polarisation S aient le même angle d'incidence par rapport au réseau GS, mais que les angles d'incidence de ces composantes lumineuses polarisées soient de signes opposés. Lorsque ces lumières passent à travers une lame quart-d'onde QW, la lumière de polarisation P et la lumière de polarisation S sont converties en lumière polarisée circulairement, ayant des sens de rotation opposés. Ces lumières polarisées circulairement peuvent interférer spatialement l'une avec l'autre. La lumière d'interférence est divisée par un diviseur optique BS en deux lumières qui sont dirigées vers deux photodétecteurs PD1 et PD2, respectivement, ayant des plaques ou lames polarisantes PP1 et PP2 disposées devant eux, respectivement. En procédant ainsi, on obtient des signaux de sortie tels qu'illustrés sur la Figure 3 et, en effectuant le traitement électrique ayant été décrit en référence au dispositif de la Figure 1, on obtient des signaux de l'instrument de mesure de distance du type à interférence de réseaux. Les lames polarisantes PP1 et PP2 ont leurs axes de polarisation décalés de 45 degrés l'un par rapport à l'autre.

Dans le dispositif de la Figure 34, un prisme de Rochon, un prisme de Glan-Thompson ou autres peut être utilisé en tant que prisme à double réfraction. Cependant, lorsque ces prismes sont utilisés, la relation entre le prisme utilisé et la lumière qui lui est incidente diffère de la relation (incidence perpendiculaire) telle qu'établie lorsqu'un prisme de Wollaston est utilisé.

La Figure 36 montre un exemple d'un dispositif de mesure de distance du type à interférence de réseaux dans lequel des cubes d'angle sont utilisés pour dévier ou défléchir des trajets optiques afin que chaque lumière de diffraction effectue deux aller-retour, ce qui élève à huit le nombre de divisions de la lumière par un réseau de référence GS de mesure de distance, avec, pour résultat,

une résolution accrue.

Dans un instrument de mesure de distance ayant une telle structure, comme décrit dans les demandes N° Sho 58-191906 et Sho58-191907 précitées, par exemple, la quantité de lumière arrivant sur un photocapteur change à intervalles correspondant à un quart du pas du réseau utilisé, comme indiqué par les signaux R et S montrés aux lignes (a) et (b) de la Figure 3. Dans l'instrument de mesure de distance du type à interférence de réseaux décrit dans les demandes précitées, la période d'un tel signal (R ou S) de détection de quantité de lumière est divisée électriquement afin d'accroître le nombre de signaux d'impulsions par pas du réseau pour améliorer ainsi la résolution. Cependant, lorsque la division est réalisée par un traitement électrique, il existe la possibilité d'une variation de l'écartement des impulsions avec l'amplitude d'un signal ou avec le niveau en courant continu. Si cela se produit, la précision se dégrade.

Dans la présente forme de réalisation, en comparaison avec ce qui précède, le système optique du dispositif de mesure est agencé de façon que le nombre de diffractions de la lumière au réseau GS de référence de mesure de distance soit augmenté avec, pour résultat, que la quantité de lumière arrivant sur un photocapteur change de nombreuses fois (par exemple huit fois), pendant une période de temps au cours de laquelle le réseau de référence GS se déplace d'une quantité correspondant à un pas de ce réseau. Grâce à cet agencement, la quantité de lumière arrivant sur le photocapteur change à intervalles très courts, par exemple à un huitième du pas du réseau de référence. Par conséquent, avec l'agencement optique proprement dit, on augmente le nombre de divisions en regard du réseau (pas du réseau).

Sur la Figure 36, la lumière émanant d'une source LD, qui comprend un laser à semi-conducteurs, par

exemple, du système optique de mesure de distance du type à interférence de réseaux, est transformée en une onde lumineuse plane L0 au moyen d'une lentille collimatrice CL, puis elle atteint un point P1 situé sur le réseau de référence GS de mesure de distance qui est mobile par rapport au système optique de mesure de distance. La lumière incidente du réseau de référence GS est diffractée par ce dernier. Les lumières de diffractions positive et négative, de Nième ordre, L11 et L12, qui en résultent entrent dans des cubes d'angle CC1 et CC2, respectivement, et sont réfléchies par ces derniers, chaque lumière réfléchie se déplaçant dans une direction parallèle à celle de son trajet d'arrivée, et inversement. Les lumières réfléchies par les cubes d'angle CC1 et CC2 arrivent sur le réseau de référence GS en des points P2 et P3, et sont de nouveau diffractées par le réseau GS. Ces lumières diffractées, désignées L21 et L22, passent à travers les lames ou plaques de phase FP1 et FP2, respectivement, de manière que l'état de polarisation de chaque lumière soit modifié. Après avoir été réfléchies par des cubes d'angle ou dièdres CC3 et CC4, les lumières L21 et L22 reviennent sur le réseau GS en des points P4 et P5 et sont de nouveau diffractées par le réseau GS. Ces lumières diffractées, désignées L31 et L32, sont de nouveau réfléchies par les cubes d'angle CC1 et CC2, respectivement, et elles reviennent sur le réseau GS sur lequel elles sont incidentes au même point P6 où elles sont de nouveau diffractées (la quatrième diffraction). Les lumières L41 et L42, diffractées quatre fois, interfèrent entre elles. La lumière d'interférence arrive à un diviseur optique HM au moyen d'un miroir MR, et est divisée en deux faisceaux qui sont dirigés, au moyen de plaques ou lames polarisantes PP1 et PP2, vers des capteurs PD1 et PD2, respectivement.

Les plaques de phase FP1 et FP2 peuvent comprendre des lames quart-d'onde, par exemple, et elles

sont disposées de façon que leurs axes rapides soient inclinés sous des angles de +45° et -45° par rapport aux composantes polarisées linéairement des faisceaux lumineux L21 et L22, respectivement. De plus, les lames polarisantes PP1 et PP2 peuvent être disposées de façon à avoir des angles de 0 degré et 45 degrés, respectivement. Dans l'agencement décrit ci-dessus, les signaux ayant des intensités variant avec une différence de phase de 90 degrés peuvent être obtenus aux deux capteurs PD1 et PD2. En outre, lorsque le pas du réseau de référence de mesure de distance est de 2,4 micromètres et lorsque l'ordre de diffraction, en chacun des divers points et des divers instants, est "plus ou moins premier", les capteurs PD1 et PD2 produisent des signaux correspondant à un écartement de 0,3 micromètre, qui est un huitième du pas du réseau. En divisant l'intervalle d'impulsion, ainsi déterminé, conformément au procédé de division électrique décrit en référence aux figures 2 et 4, par exemple, on peut obtenir des signaux d'impulsions d'un nombre double de celui venant d'être indiqué, c'est-à-dire trente-deux impulsions par pas, avec un intervalle de 0,075 micromètre.

Il va de soi que de nombreuses modifications peuvent être apportées au dispositif décrit et représenté sans sortir du cadre de l'invention.

REVENDICATIONS

1. Dispositif de mesure d'une distance en mouvement relatif de deux objets mobiles l'un par rapport à l'autre, caractérisé en ce qu'il présente plusieurs surfaces inclinées (BG1, BG2) formées sur l'un des objets et alignées suivant un pas prédéterminé (p_B) le long de la direction A du mouvement relatif, chacune des surfaces étant inclinée par rapport à cette direction A, des moyens de mesure (MH) prévus sur l'autre objet et destinés à mesurer la distance d'au moins l'une des surfaces inclinées dans une direction formant un angle avec la direction du mouvement relatif, et des moyens de détection (PS1, PS2) destinés à détecter la distance en mouvement relatif des deux objets sur la base de la mesure effectuée par lesdits moyens de mesure.

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que les surfaces inclinées forment un réseau dentelé (BG1 ou BG2).

3. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que deux rangées de surfaces inclinées (BG1, BG2) sont formées parallèlement entre elles et le long de la direction du mouvement relatif, les surfaces inclinées des deux rangées ayant des pas (p_B) qui sont décalés entre eux d'environ la moitié d'un pas, les moyens de mesure possédant des points de mesure par rapport aux deux rangées et les moyens de détection détectant la distance du mouvement relatif en utilisant en alternance les résultats des mesures par rapport aux deux points de mesure.

4. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que les moyens de mesure possèdent deux points de mesure qui sont décalés l'un par rapport à l'autre le long de la direction du mouvement relatif, d'une quantité approximativement égale à un multiple impair de la moitié d'un pas des surfaces inclinées, et en ce que les

moyens de détection détectent la distance en mouvement relatif en utilisant en alternance les résultats des mesures par rapport aux deux points de mesure.

5. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que les moyens de mesure comprennent un système optique ayant un point focal formé au voisinage d'une surface inclinée et en ce que les moyens de mesure produisent un signal correspondant à l'état de mise au point du signal optique par rapport à ladite surface inclinée.

6. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte en outre des moyens (PS3) d'émission d'un signal à impulsions destinés à délivrer un signal à impulsions à chaque fois que les deux objets se déplacent l'un par rapport à l'autre d'un pas prédéterminé, les moyens de détection détectant la distance en mouvement relatif des deux objets sur la base d'un signal de sortie à impulsions desdits moyens d'émission de ce signal, et du résultat de la mesure effectuée par lesdits moyens de mesure.

7. Dispositif selon la revendication 6, caractérisé en ce que les moyens d'émission du signal à impulsions comprennent un instrument de mesure de distance du type à interférence de réseaux.

8. Dispositif de mesure d'une distance en mouvement relatif de premier et second objets mobiles l'un par rapport à l'autre, caractérisé en ce qu'il comporte des premiers moyens de mesure comprenant (i) des moyens mobiles (GS) prévus sur le premier objet et pouvant se déplacer par rapport au premier objet, (ii) une source de lumière (LD) prévue sur un premier des éléments formés par le second objet et les moyens mobiles et destinée à projeter de la lumière vers l'autre de ces éléments, et (iii) des moyens de photodétection (PD) prévus sur ledit premier des éléments constitués par le second objet et les moyens

mobiles, pour détecter la lumière revenant de l'autre de ces éléments, les premiers moyens de mesure produisant un signal à impulsion sur la base d'une variation de l'intensité lumineuse d'interférence engendrée dans la lumière arrivant avec un déplacement relatif entre le second objet et les moyens mobiles, à chaque fois que le second objet et les moyens mobiles se déplacent l'un par rapport à l'autre sur un pas prédéterminé, le dispositif comportant en outre des seconds moyens de mesure comprenant des moyens destinés à produire un signal de niveau électrique qui est variable en fonction de l'amplitude du déplacement relatif entre les moyens mobiles et le premier objet, à l'intérieur d'une plage dudit pas prédéterminé, des moyens de commande (UCT) intervenant pour provoquer un mouvement relatif des moyens mobiles après le mouvement relatif entre les premier et second objets, et des moyens de détection destinés à détecter la distance en mouvement relatif des premier et second objets sur la base du signal à impulsion à la suite d'un mouvement relatif des premier et second objets, et du signal de niveau électrique correspondant à la distance du mouvement desdits moyens mobiles effectués jusqu'à ce que lesdits premiers moyens de mesure produisent un second signal à impulsion après le mouvement relatif des premier et second objets.

9. Dispositif selon la revendication 8, caractérisé en ce que les premiers moyens de mesure comprennent une source de lumière (LD), un système d'illumination, un système optique de détection et un photodétecteur (PD) qui sont prévus sur le second objet, et un réseau de diffraction (GS) qui est prévu sur les moyens mobiles, la lumière de la source de lumière étant dirigée au moyen du système d'illumination sur le réseau de diffraction pour produire une lumière diffractée, la lumière diffractée produite par le réseau de diffraction étant détectée par le photodétecteur par l'intermédiaire

dudit système optique de détection afin qu'un signal à impulsion soit produit, et les premiers moyens de mesure émettant le signal à impulsion ainsi obtenu.

10. Dispositif selon la revendication 8, caractérisé en ce que les premiers moyens de mesure comprennent un instrument de mesure interférométrique de distance à laser.

11. Dispositif de mesure d'une distance en mouvement relatif de premier et second objets mobiles l'un par rapport à l'autre, caractérisé en ce qu'il comporte des premiers moyens de mesure comprenant (i) des moyens mobiles (GS) prévus sur le premier objet et mobiles par rapport au premier objet, (ii) une source de lumière (LD) prévue sur un premier des éléments constitués par le premier objet et par les moyens mobiles, et projetant de la lumière sur l'autre de ces éléments, et (iii) des moyens de photodétection (PD) prévus sur ledit premier élément constitué par le premier objet et les moyens mobiles, pour détecter la lumière revenant de l'autre élément, lesdits premiers moyens de mesure produisant un signal à impulsion sur la base d'une variation affectant l'intensité lumineuse d'interférence engendrée dans la lumière arrivant, par un déplacement relatif entre le premier objet et les moyens mobiles, à chaque fois que le premier objet et les moyens mobiles se déplacent l'un par rapport à l'autre sur un pas prédéterminé, le dispositif comportant en outre des seconds moyens de mesure comprenant des moyens destinés à produire un signal de niveau électrique qui est variable en fonction de l'amplitude du déplacement relatif entre les moyens mobiles et le second objet et dans une plage dudit pas prédéterminé, des moyens de commande (UCT) intervenant pour déplacer relativement lesdits moyens mobiles après le mouvement relatif entre les premier et second objets et des moyens de détection destinés à détecter la distance en mouvement relatif des premier et second objets sur la base

du signal à impulsion à la suite d'un mouvement relatif desdits moyens mobiles et du signal de niveau électrique délivré par les seconds moyens de mesure à un instant où les premiers moyens de mesure produisent un signal prédéterminé à impulsion.

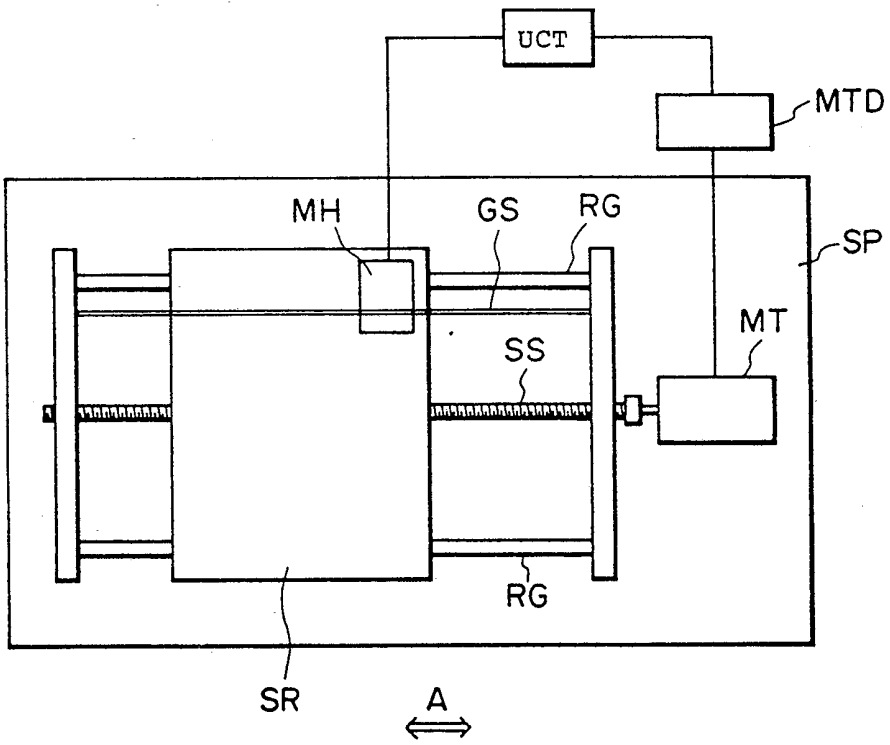


FIG. 1

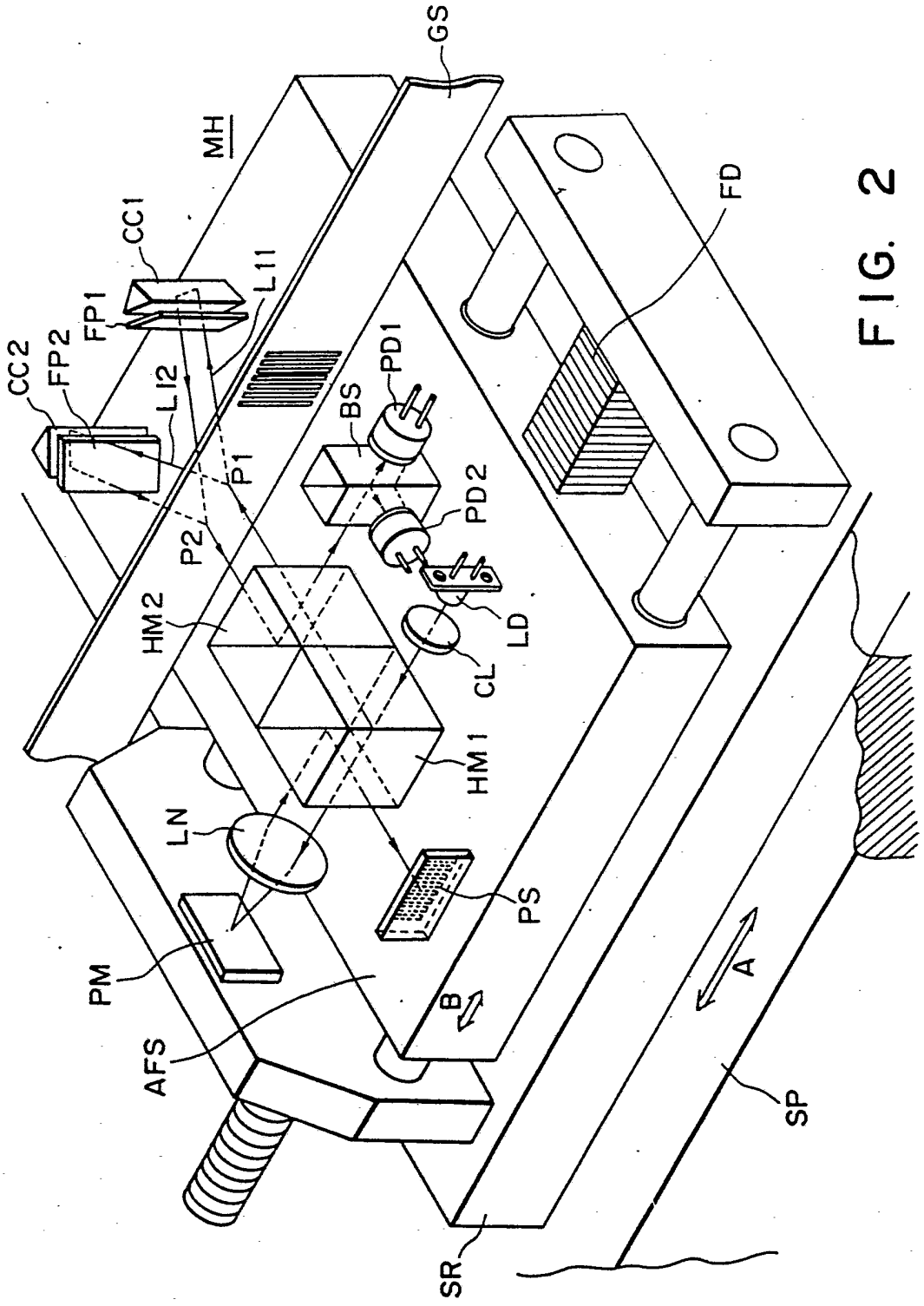

GS
MH
CC1
FP1
L11
CC2
FP2
L12
P1
P2
BS
PD1
PD2
HM2
LD
CL
HM1
LN
PS
PM
AFS
B
A
SP
SR
FD

FIG. 2

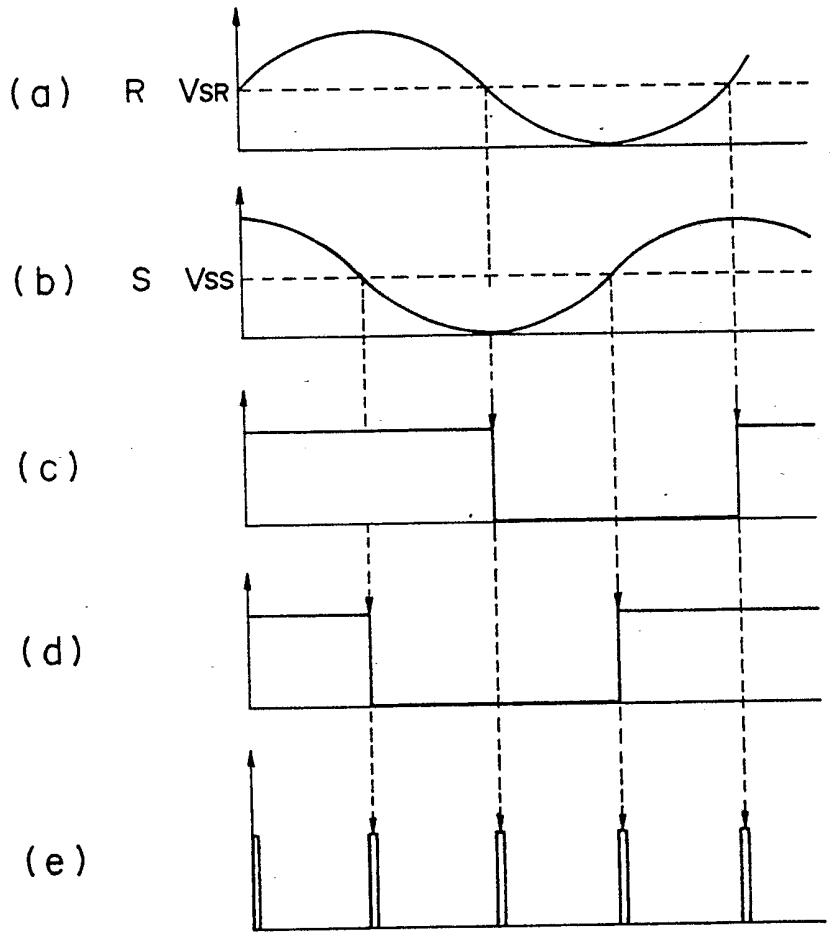


FIG. 3

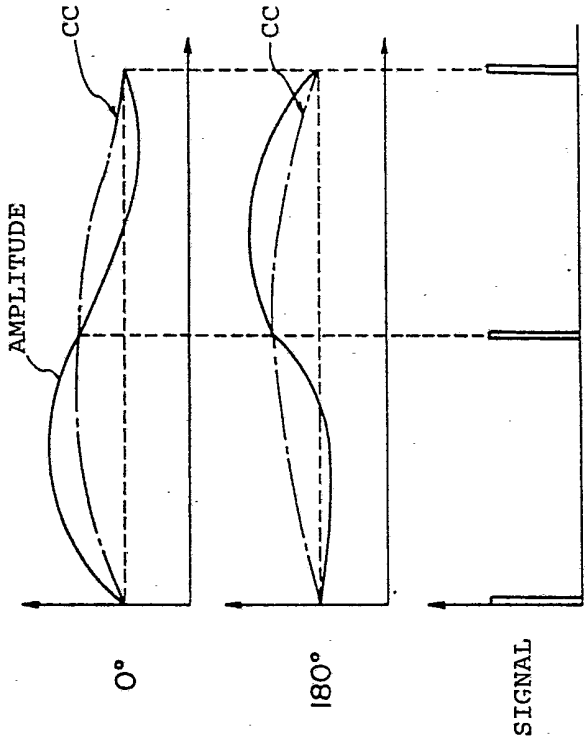


FIG. 6

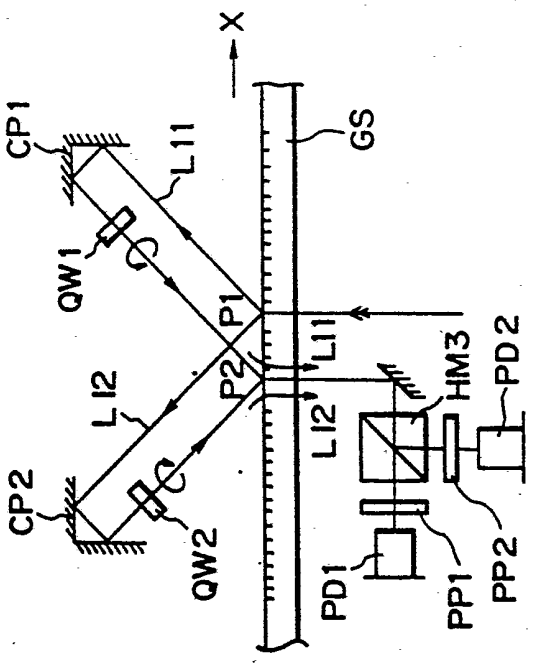


FIG. 4

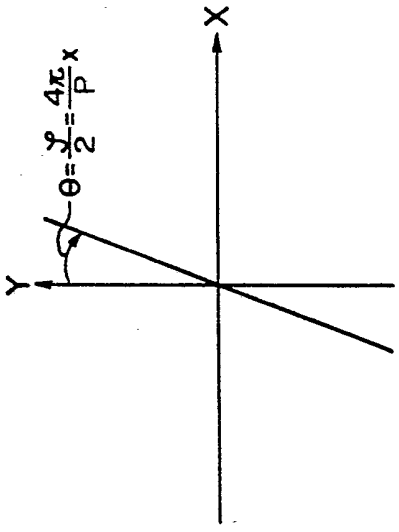


FIG. 5

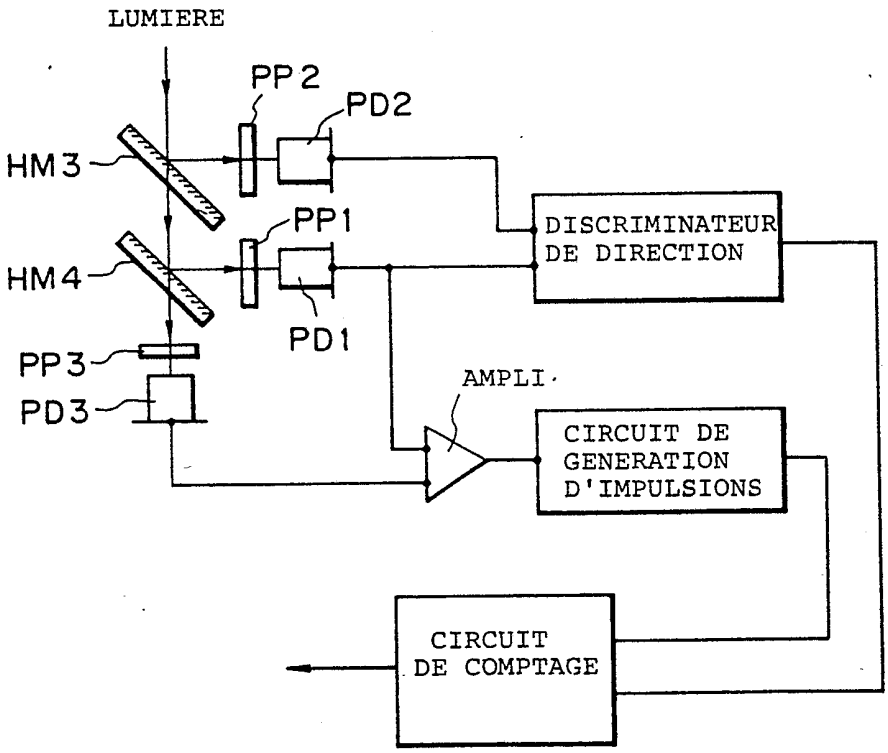

LUMIERE
PP2
PD2
HM3
PP1
HM4
PD1
PP3
PD3
DISCRIMINATEUR DE DIRECTION
AMPLI.
CIRCUIT DE GENERATION D'IMPULSIONS
CIRCUIT DE COMPTAGE

FIG. 7

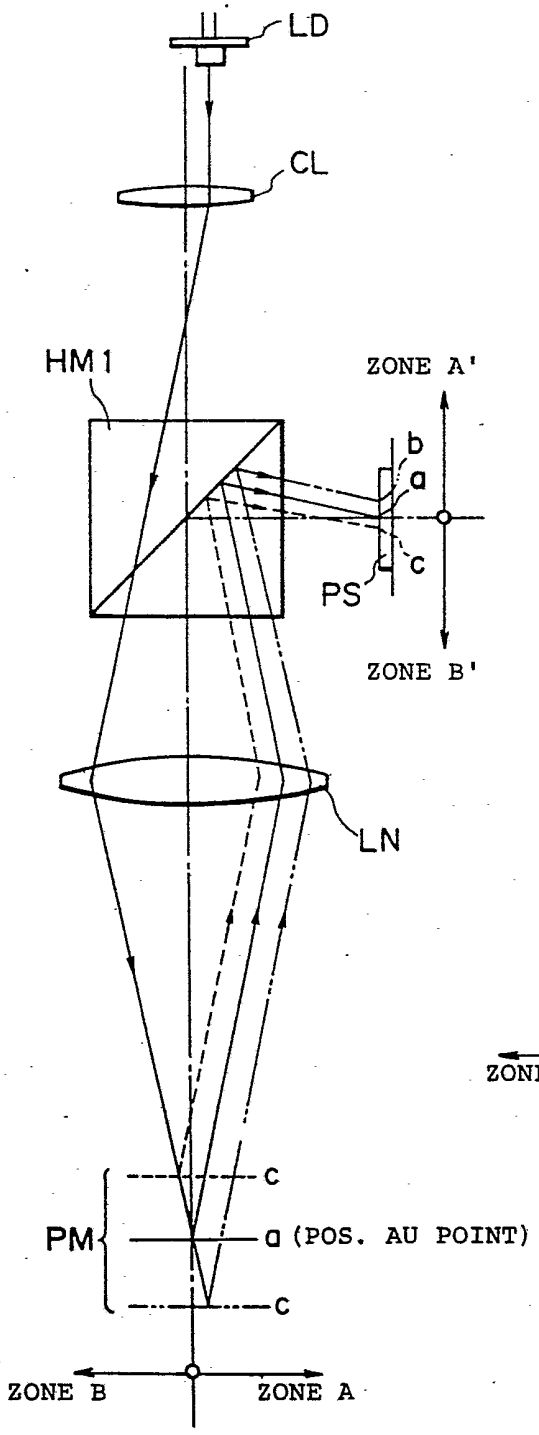


FIG. 8

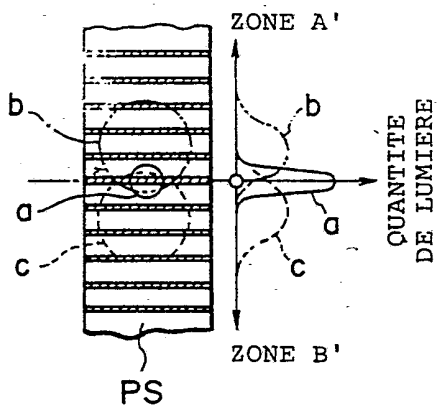


FIG. 9

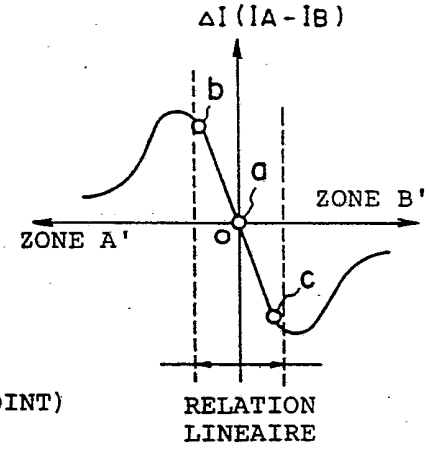


FIG. 10

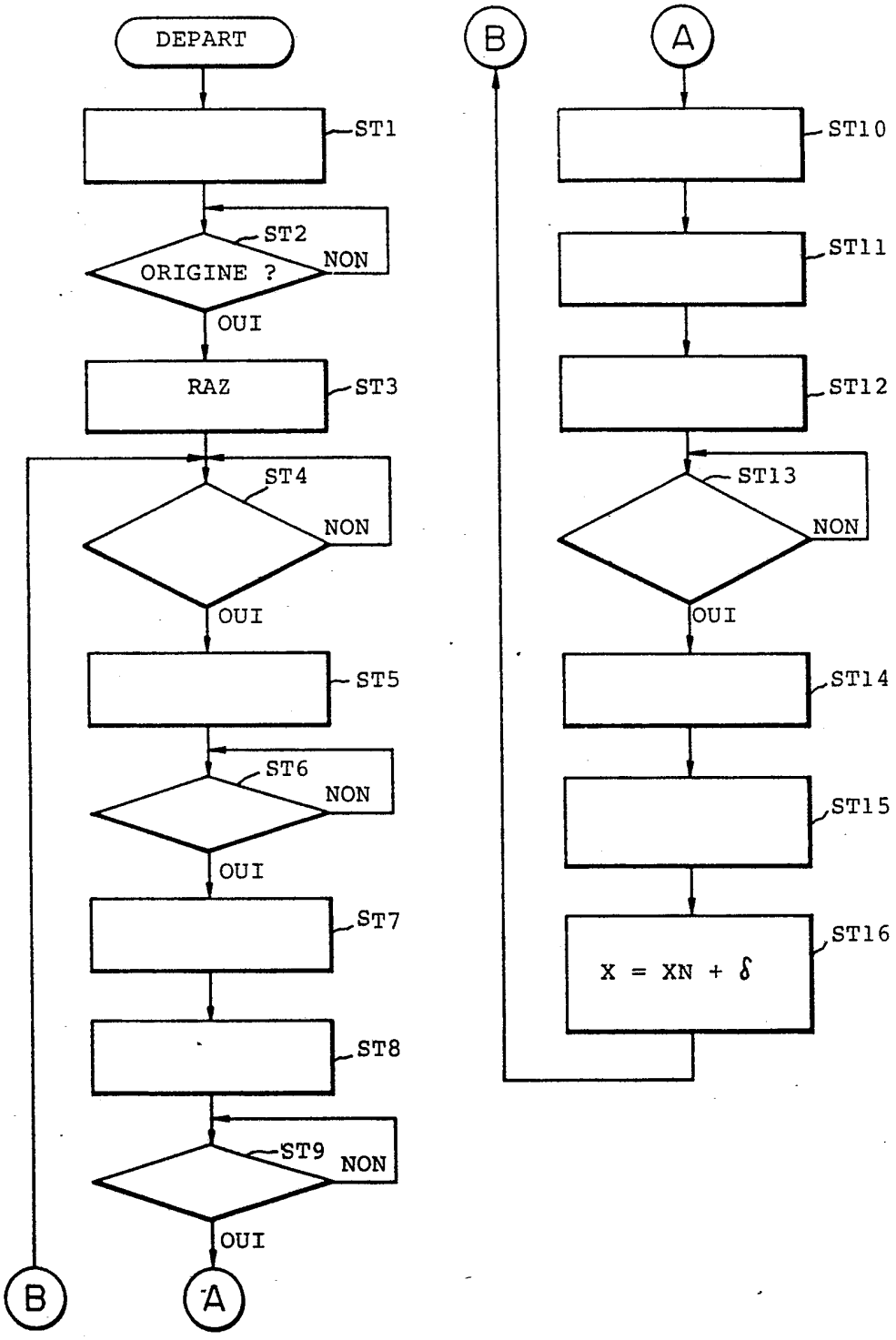

DEPART
ST1
ST2
ORIGINE ?
NON
OUI
RAZ
ST3
ST4
NON
OUI
ST5
ST6
NON
OUI
ST7
ST8
ST9
NON
OUI
B
A
B
A
ST10
ST11
ST12
ST13
NON
OUI
ST14
ST15
ST16
X = XN + δ

FIG. 11

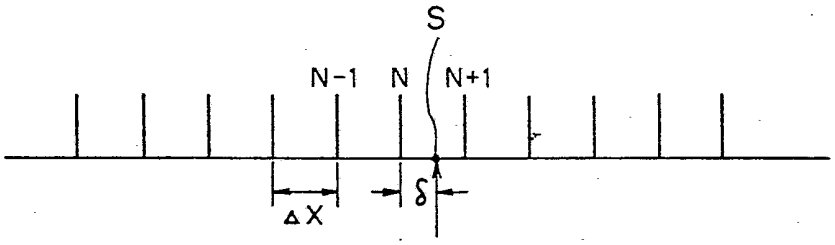

S
N-1
N
N+1
ΔX
δ

FIG. 12

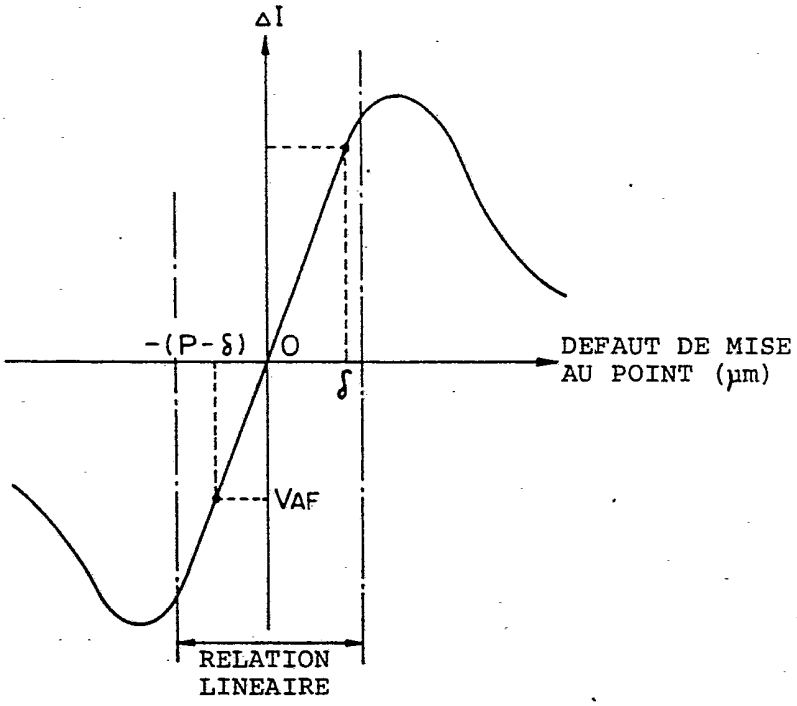

ΔI
-(P-δ)
O
δ
DEFAUT DE MISE
AU POINT (μm)
VAF
RELATION
LINEAIRE

FIG. 13

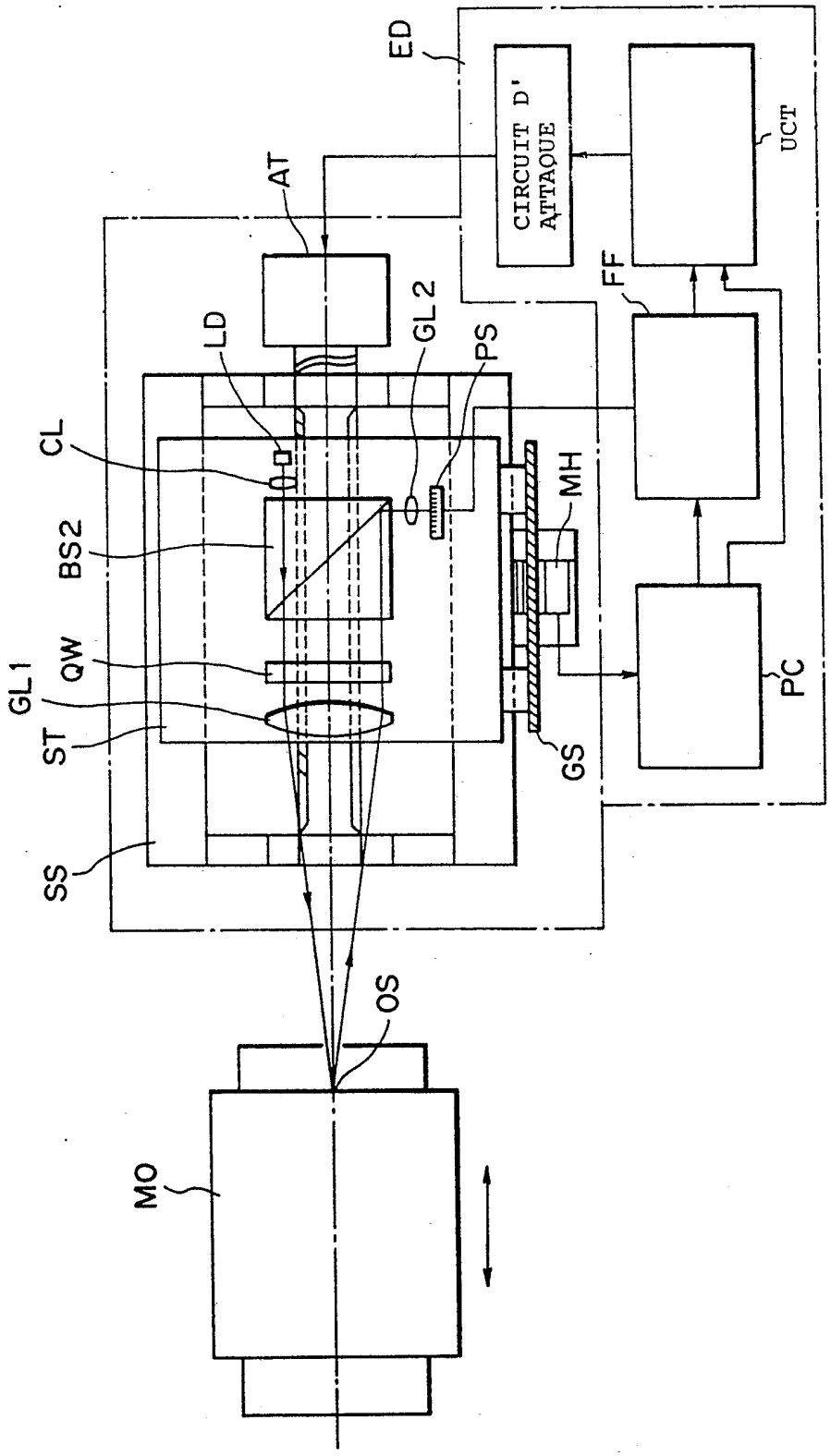

ED
CIRCUIT D'
ATTAQUE
UCT
AT
FF
LD
GL 2
PS
CL
MH
BS2
QW
GL1
ST
GS
PC
SS
OS
MO

FIG. 14

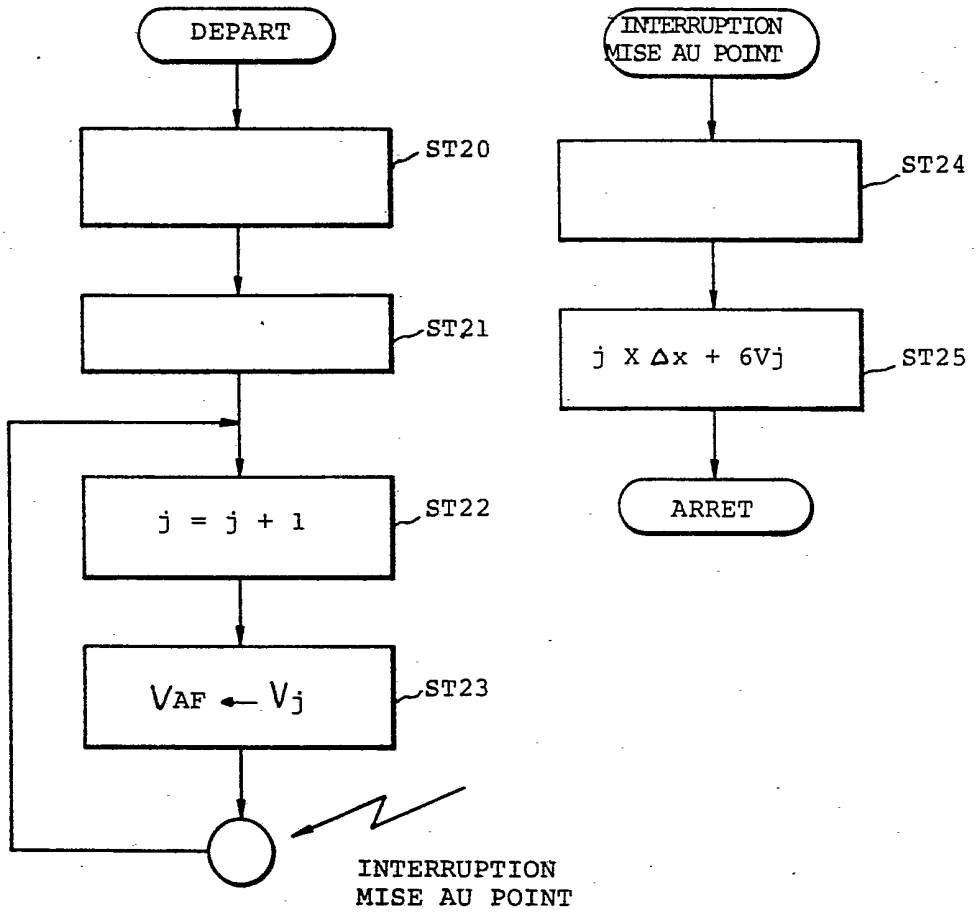

DEPART
ST20
ST21
j = j + 1
ST22
VAF ← Vj
ST23
INTERRUPTION
MISE AU POINT
INTERRUPTION
MISE AU POINT
ST24
j X Δx + 6Vj
ST25
ARRET

FIG. 15

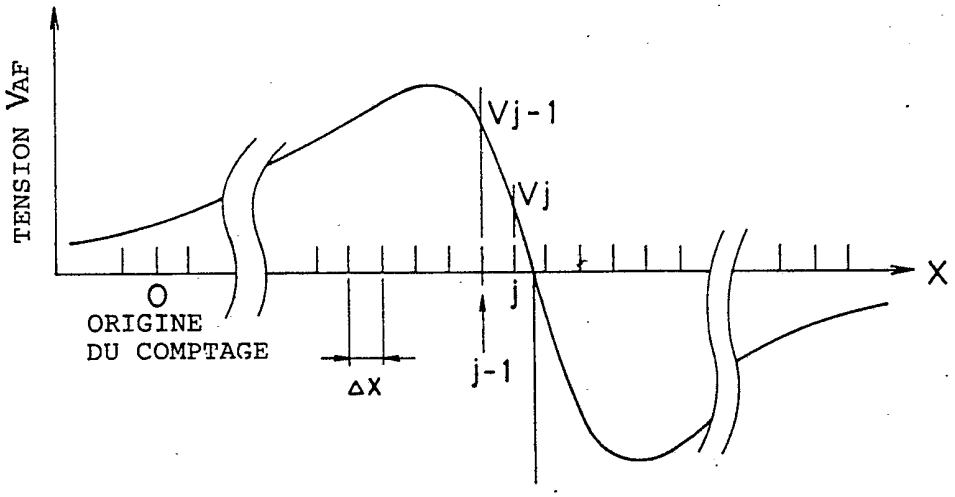

TENSION VAF
Vj-1
Vj
X
O
ORIGINE
DU COMPTAGE
j
j-1
ΔX

FIG. 16

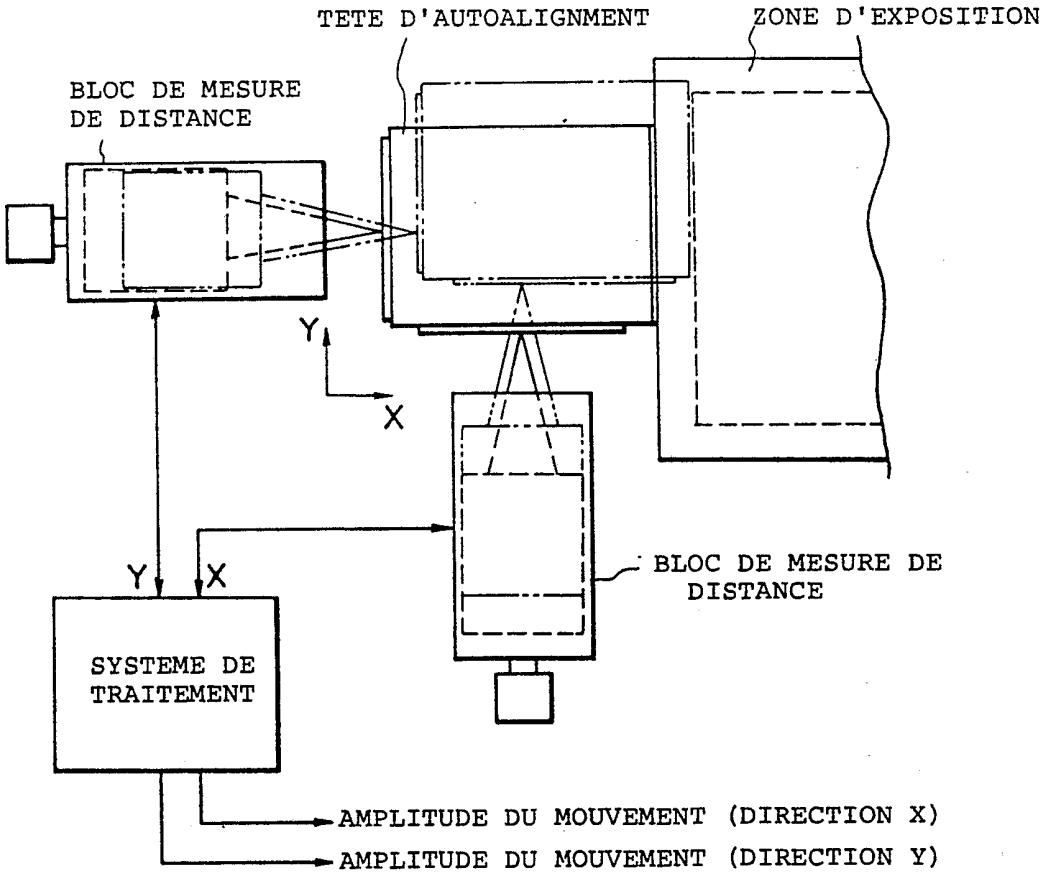

TETE D'AUTOALIGNMENT
ZONE D'EXPOSITION
BLOC DE MESURE
DE DISTANCE
Y
X
Y
X
BLOC DE MESURE DE
DISTANCE
SYSTEME DE
TRAITEMENT
AMPLITUDE DU MOUVEMENT (DIRECTION X)
AMPLITUDE DU MOUVEMENT (DIRECTION Y)

FIG. 17

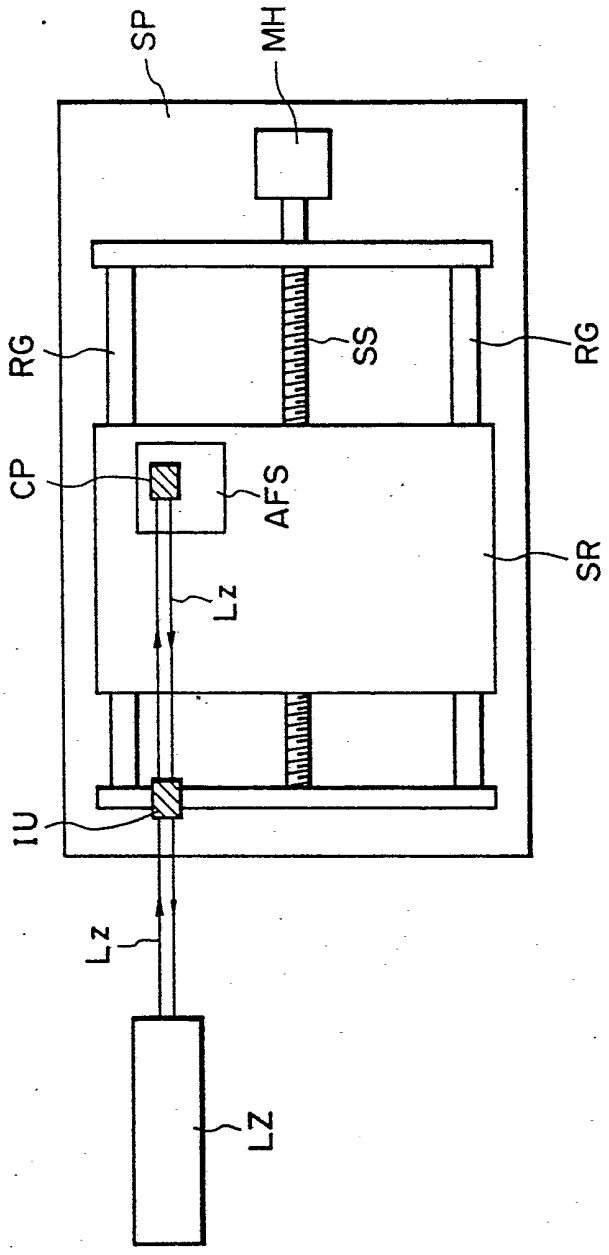


FIG. 18

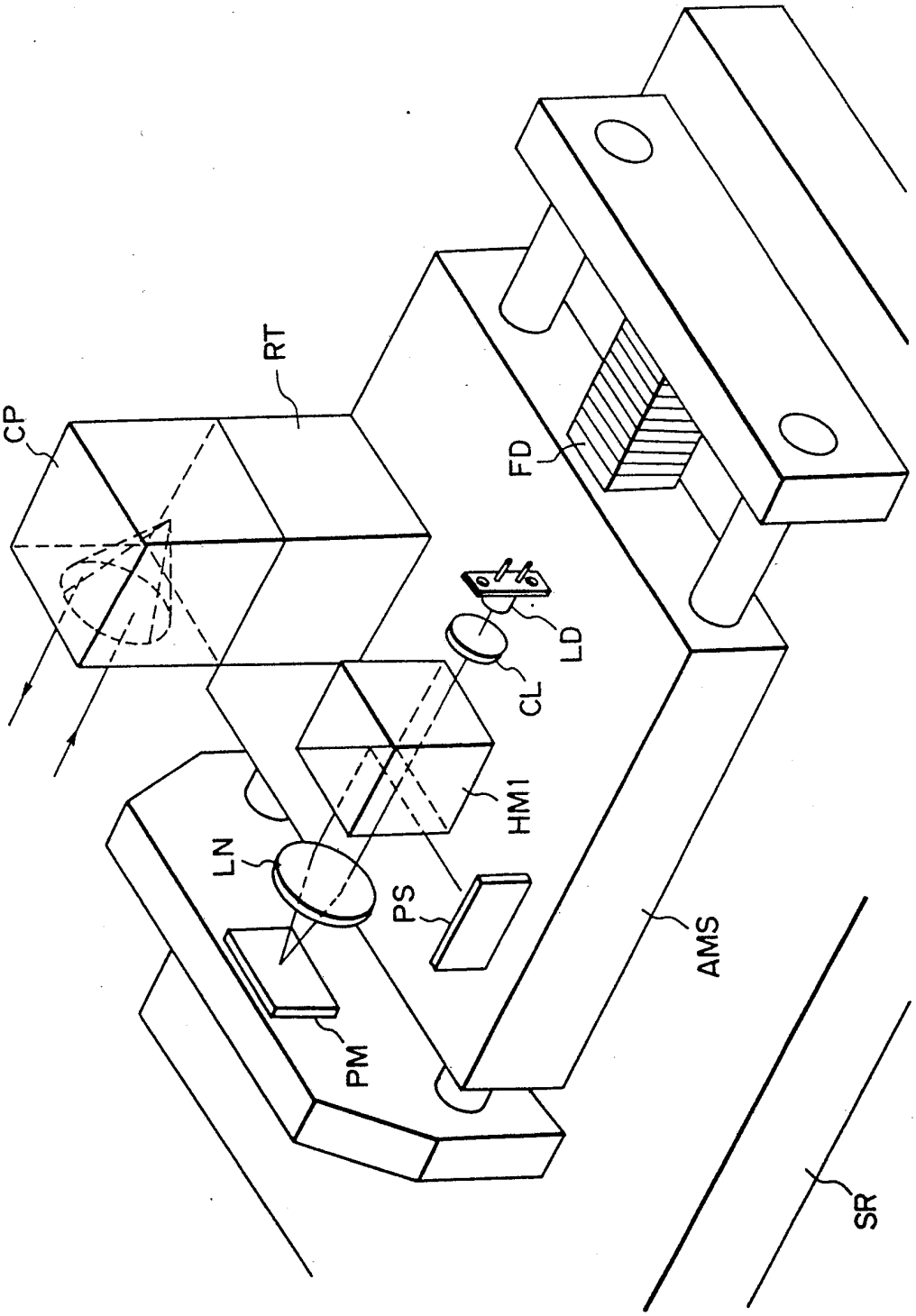


FIG. 19

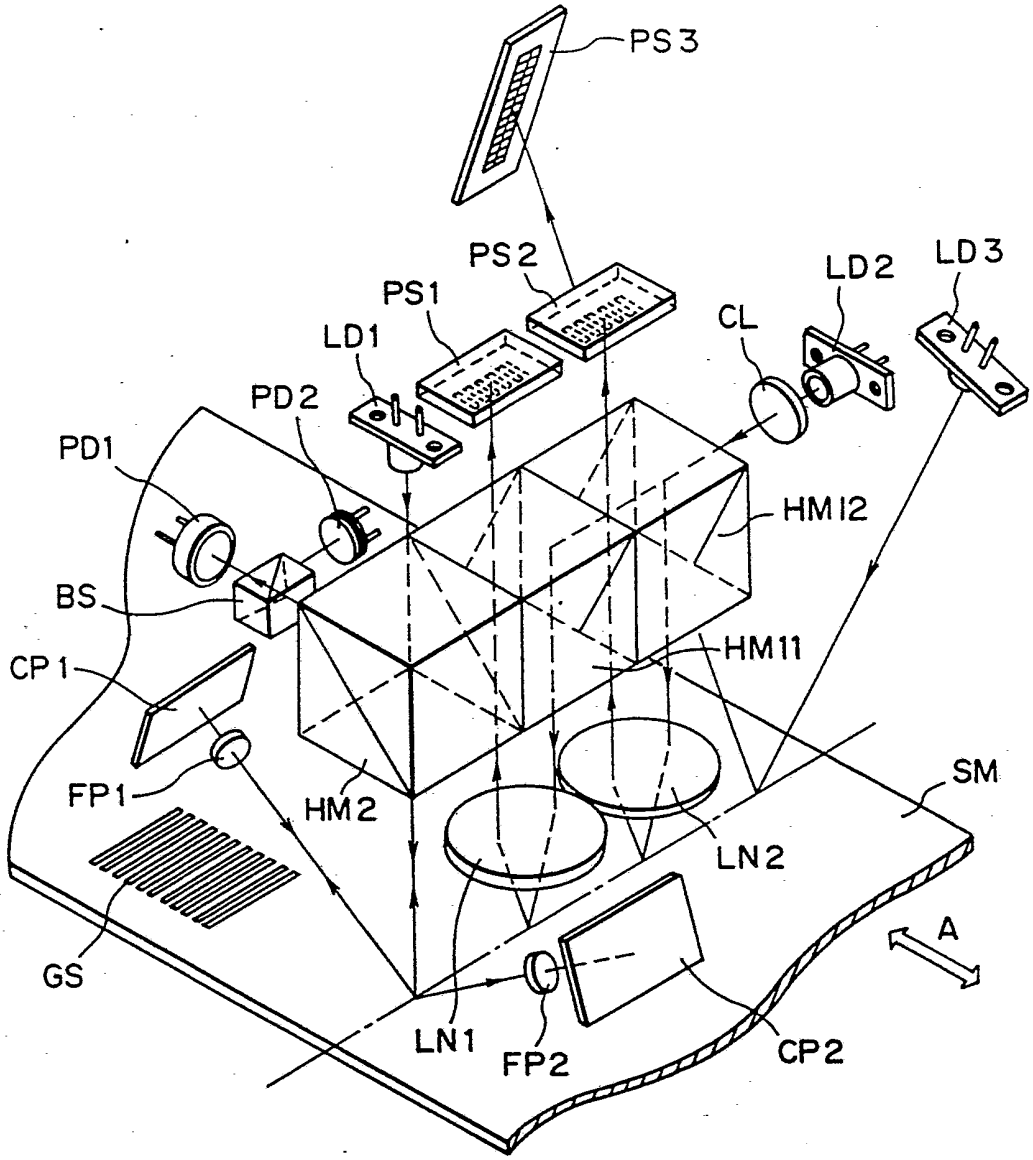

PS3
PS2
PS1
LD1
LD2
LD3
CL
PD2
PD1
HM12
BS
HM11
CP1
FP1
HM2
SM
LN2
A
GS
LN1
FP2
CP2

FIG. 20

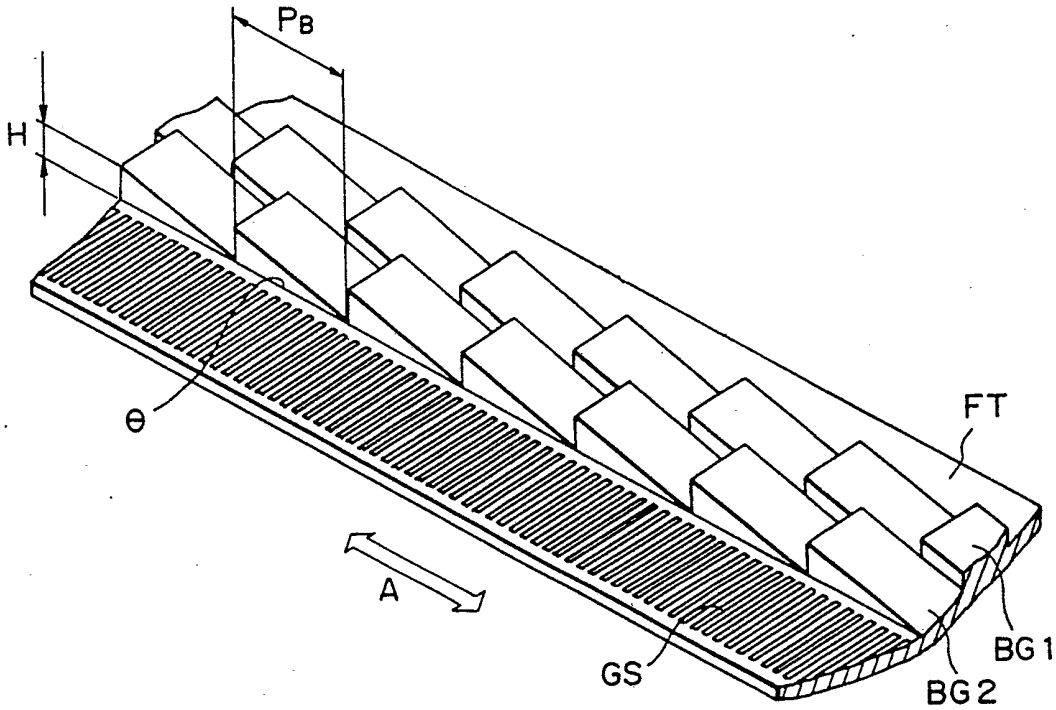


FIG. 21

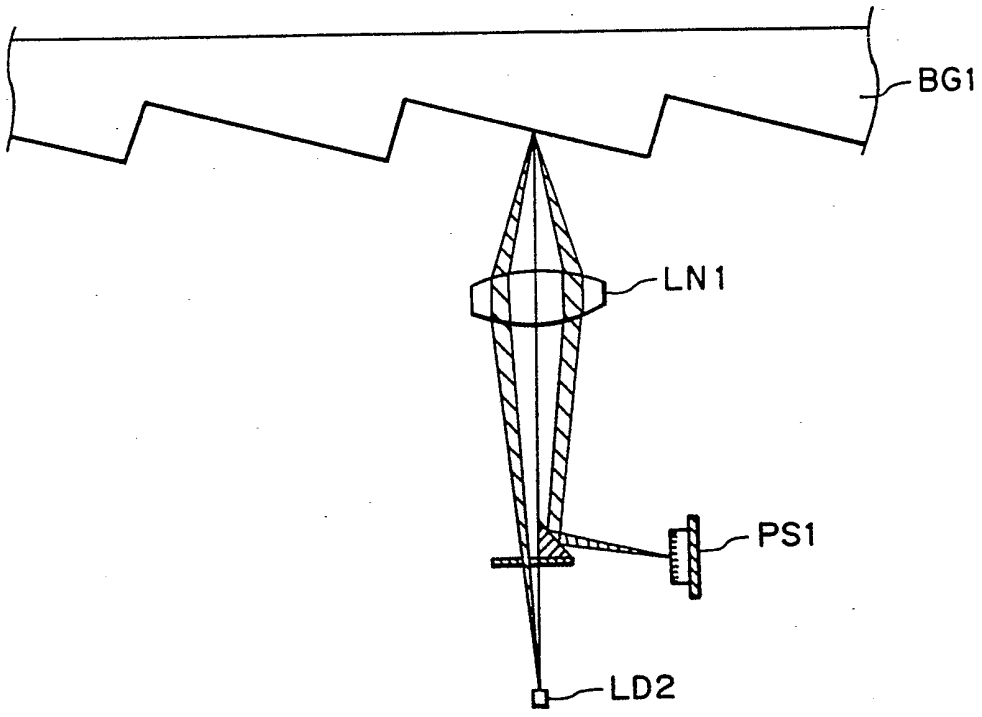


FIG. 22

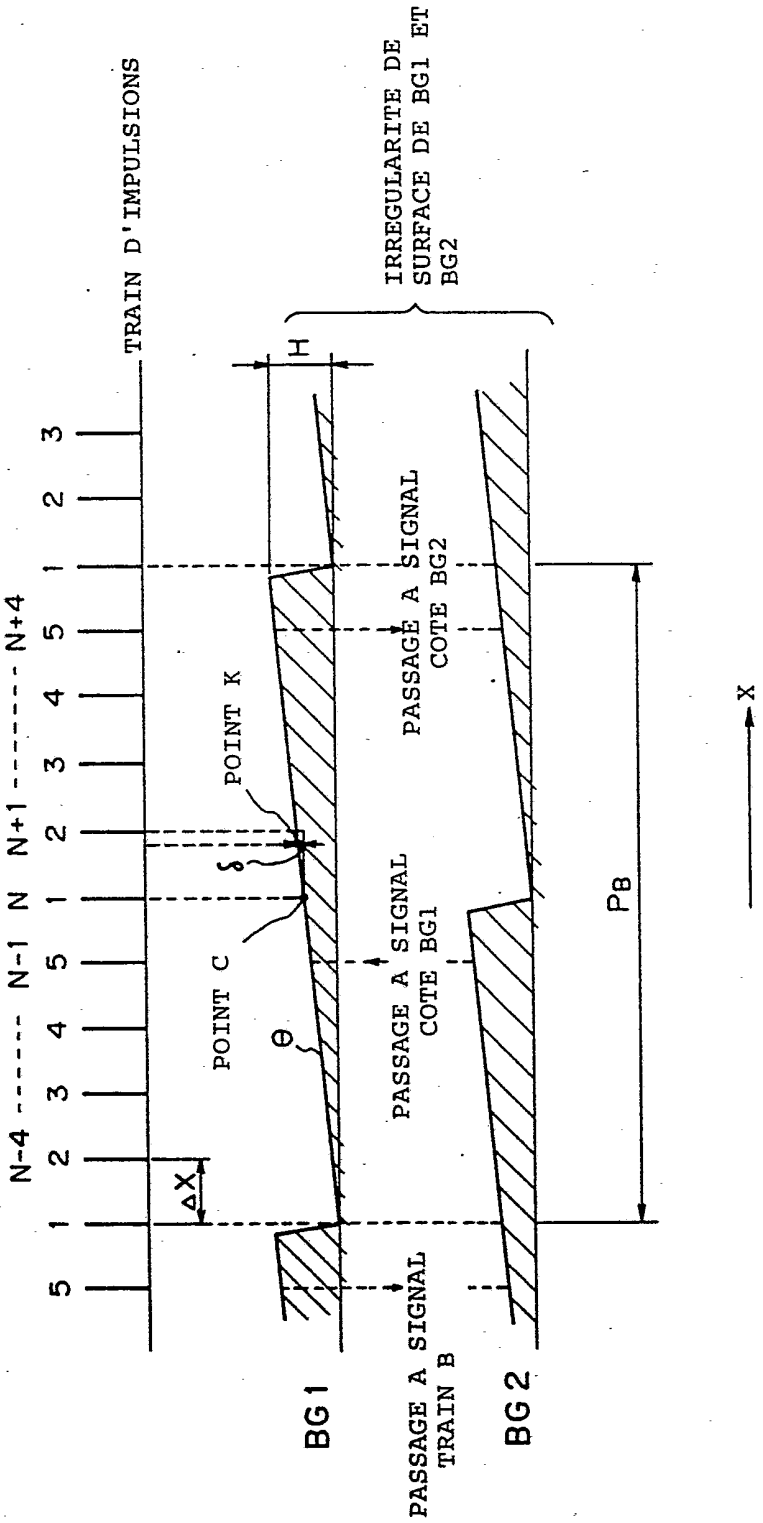

TRAIN D'IMPULSIONS
N-4 ----- N-1 N N+1 ------- N+4
1 2 3 4 5 1 2 3 4 5 1 2 3 4 5
IRREGULARITE DE SURFACE DE BG1 ET BG2
H
POINT K
POINT C
δ
θ
ΔX
PASSAGE A SIGNAL COTE BG2
PASSAGE A SIGNAL COTE BG1
PASSAGE A SIGNAL TRAIN B
BG1
BG2
PB
X

FIG. 23

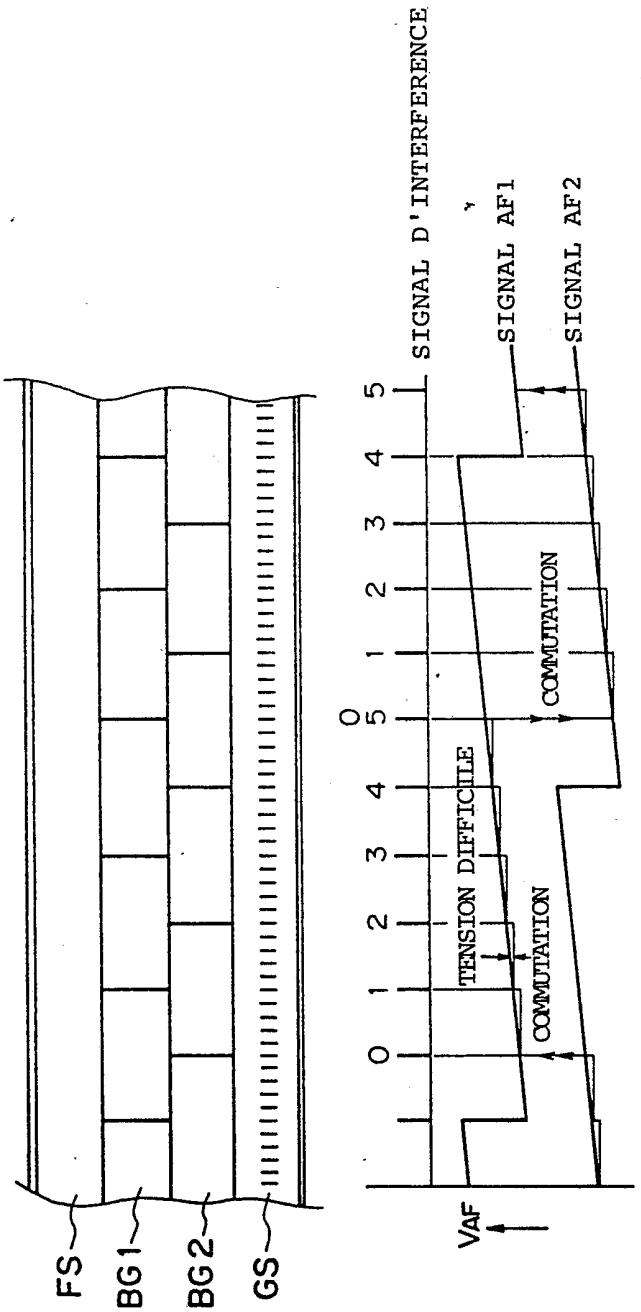

FS
BG1
BG2
GS
SIGNAL D'INTERFERENCE
SIGNAL AF1
SIGNAL AF2
0 1 2 3 4 5
0 1 2 3 4 5
COMMUTATION
TENSION DIFFICILE
COMMUTATION
VAF

FIG. 24

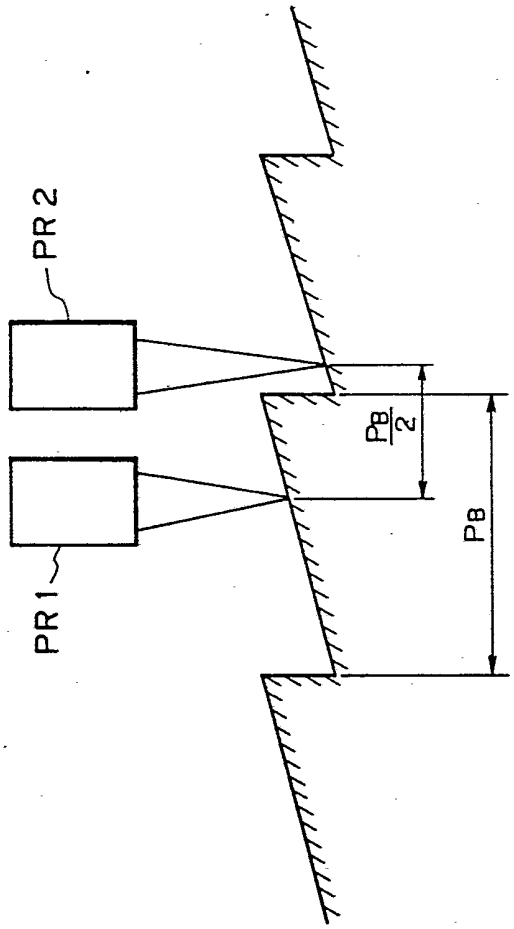


FIG. 25

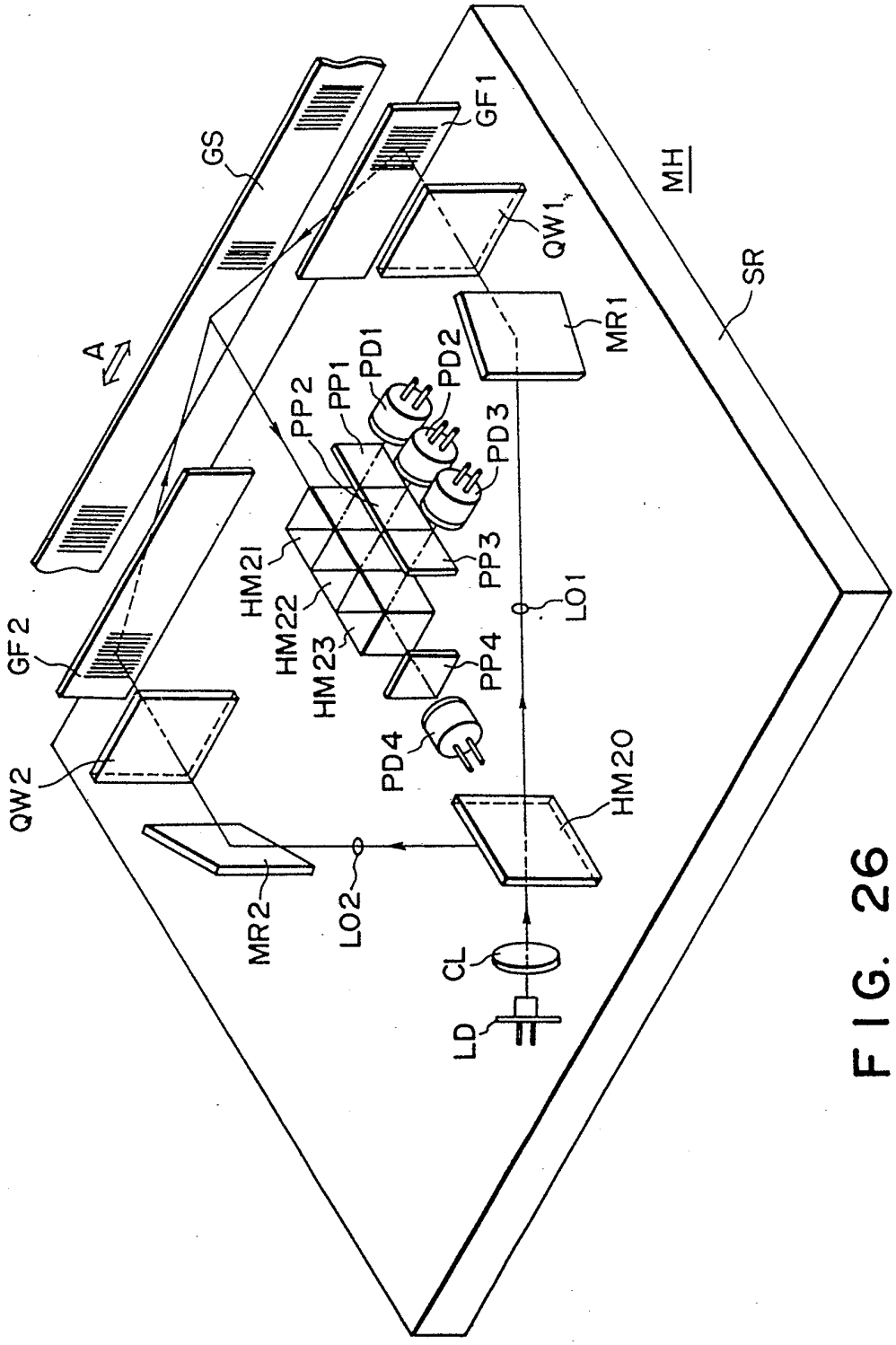

GS
GF1
QW1
MH
SR
A
MR1
PD1
PD2
PP2
PP1
PD3
HM21
HM22
HM23
PP3
PP4
LO1
GF2
QW2
PD4
HM20
MR2
LO2
CL
LD

FIG. 26

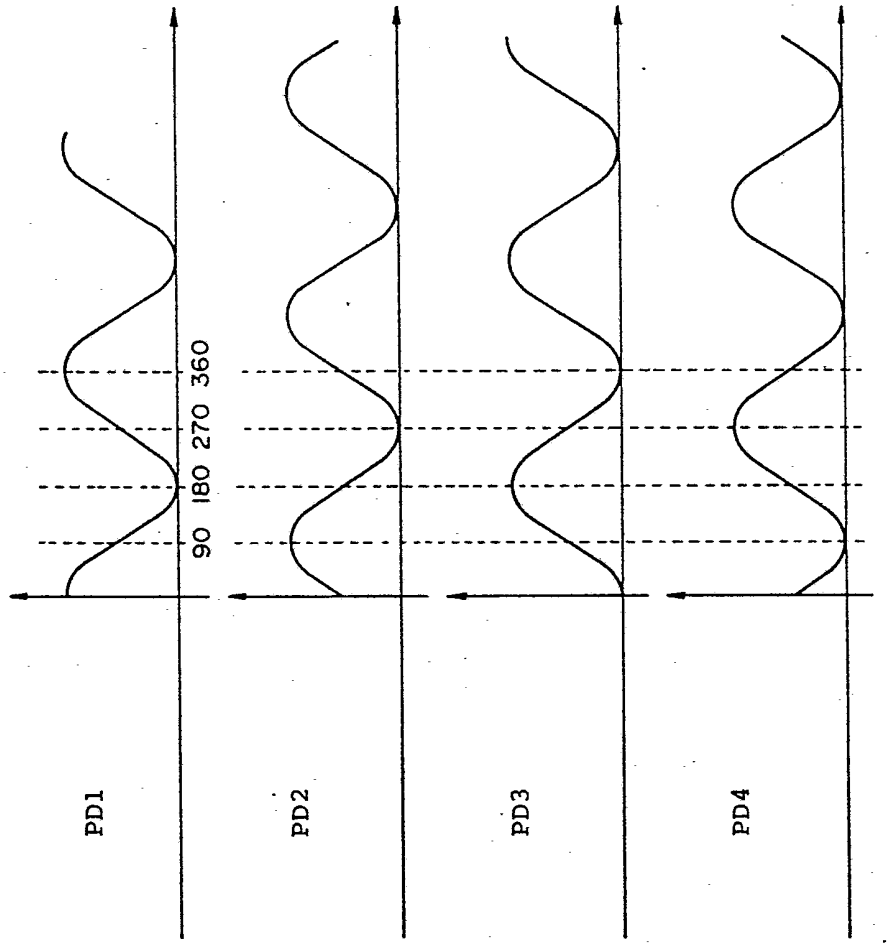


FIG. 27

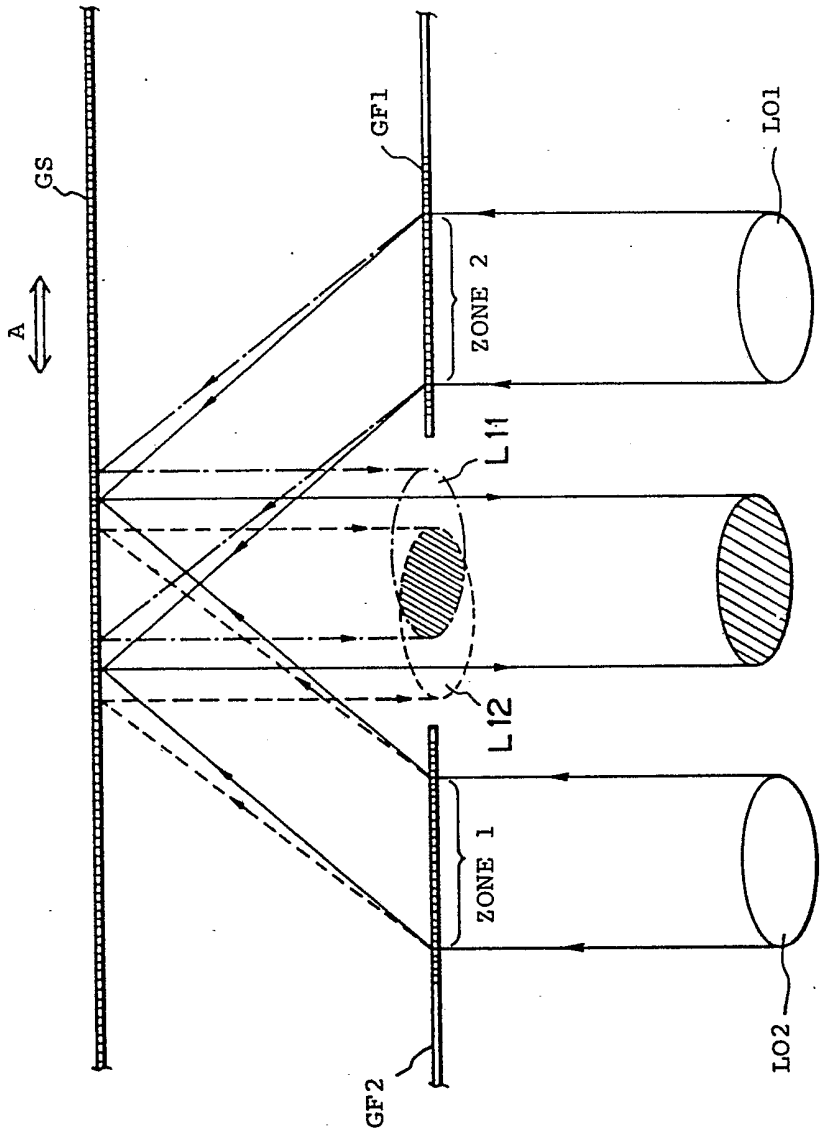


FIG. 28

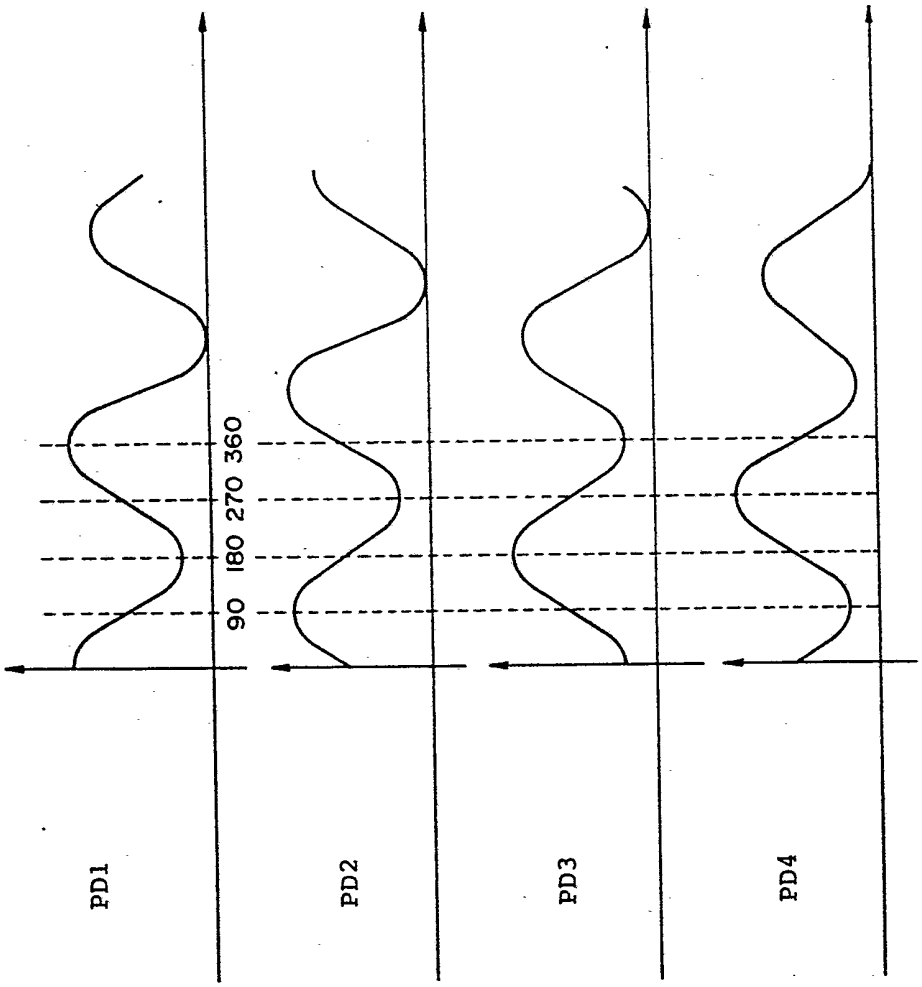


FIG. 29

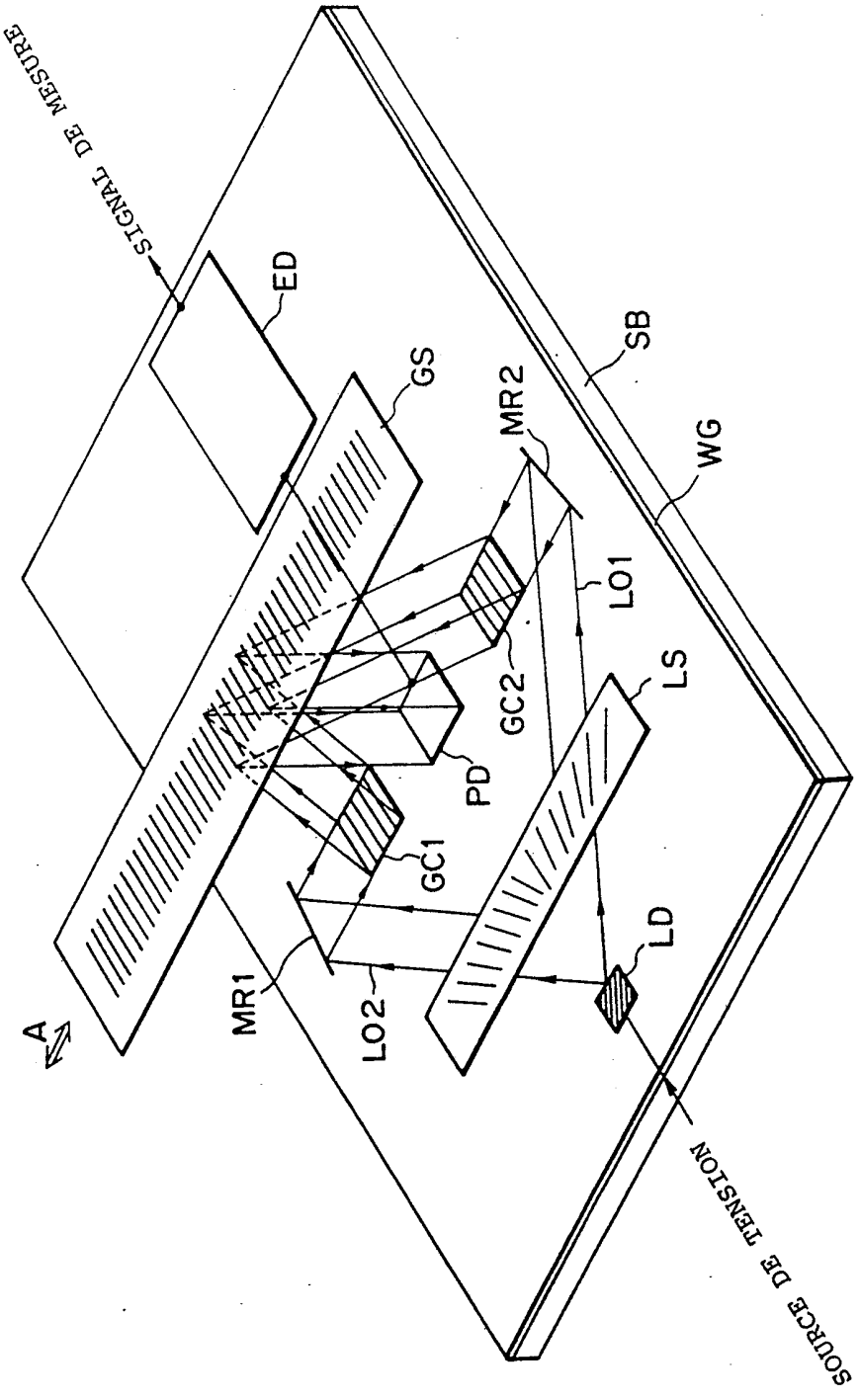

SIGNAL DE MESURE
ED
GS
MR2
SB
WG
LO1
LS
GC2
PD
GC1
LD
MR1
LO2
A
SOURCE DE TENSION

FIG. 30

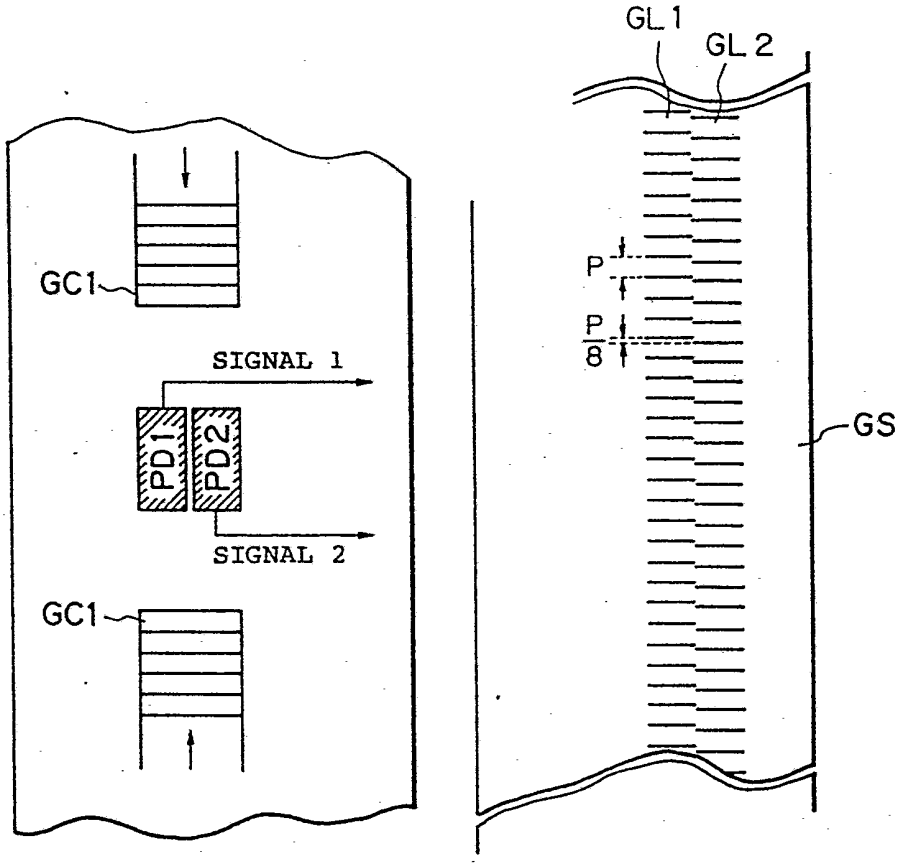

GL 1
GL 2
GC1
SIGNAL 1
PD1
PD2
SIGNAL 2
GC1
P
P/8
GS

FIG. 31

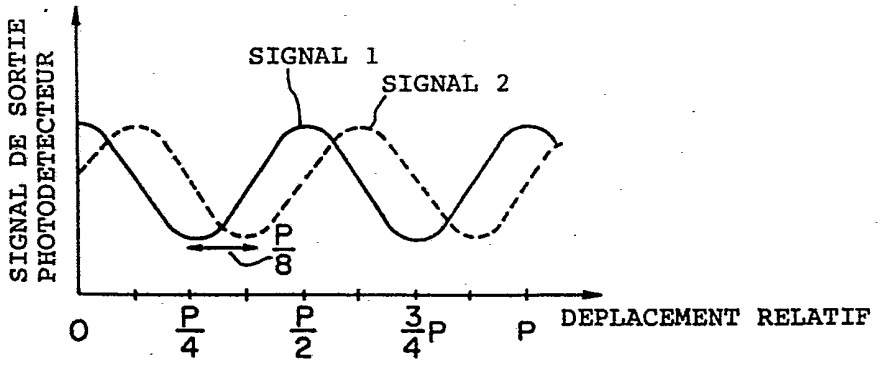

SIGNAL DE SORTIE PHOTODETECTEUR
SIGNAL 1
SIGNAL 2
P/8
0
P/4
P/2
3/4P
P
DEPLACEMENT RELATIF

FIG. 32

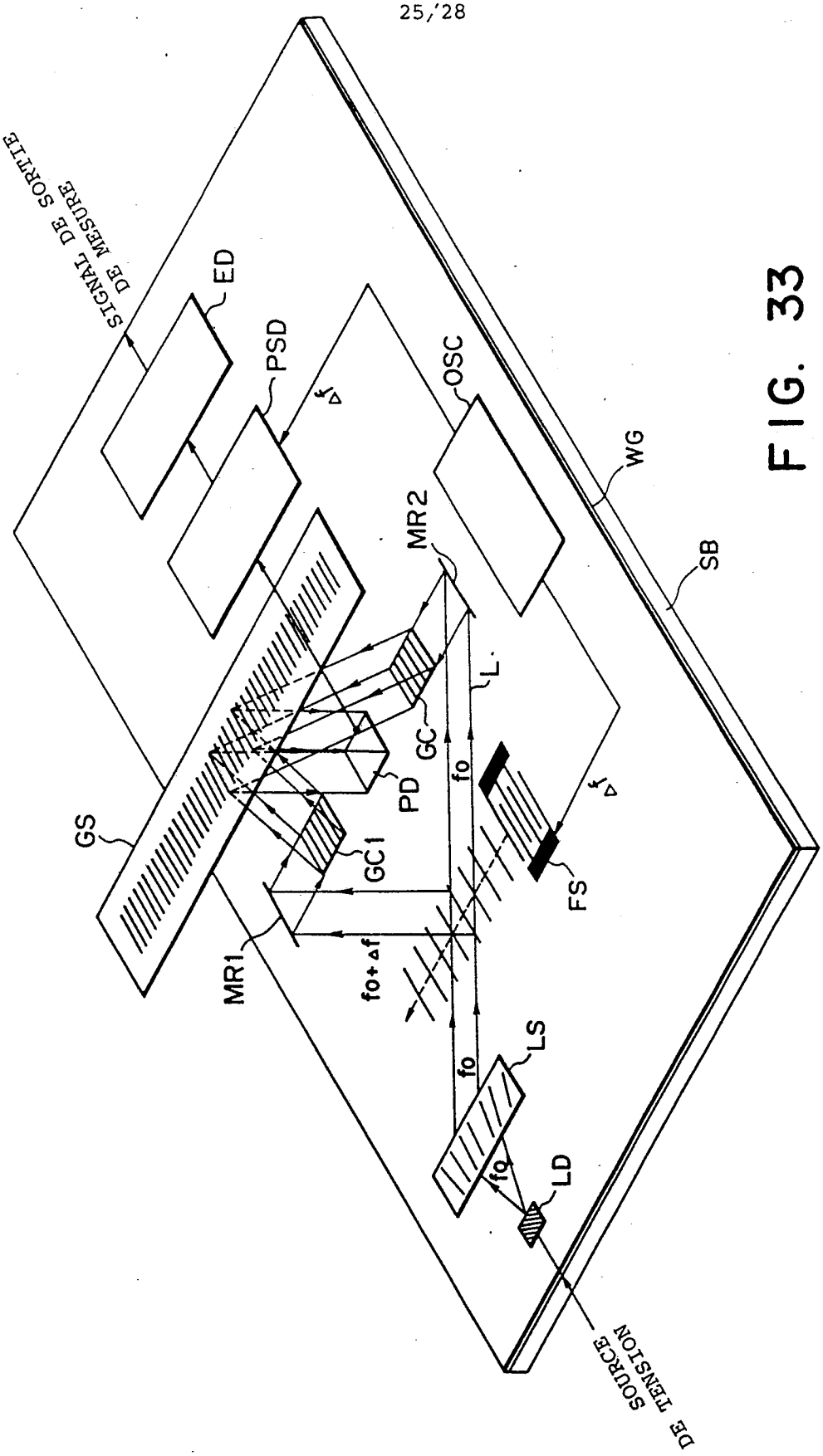

SIGNAL DE SORTIE
DE MESURE
ED
PSD
OSC
WG
SB
MR2
L
GC
PD
fo
GS
GC1
FS
MR1
fo+Δf
LS
fo
LD
SOURCE
DE TENSION

FIG. 33

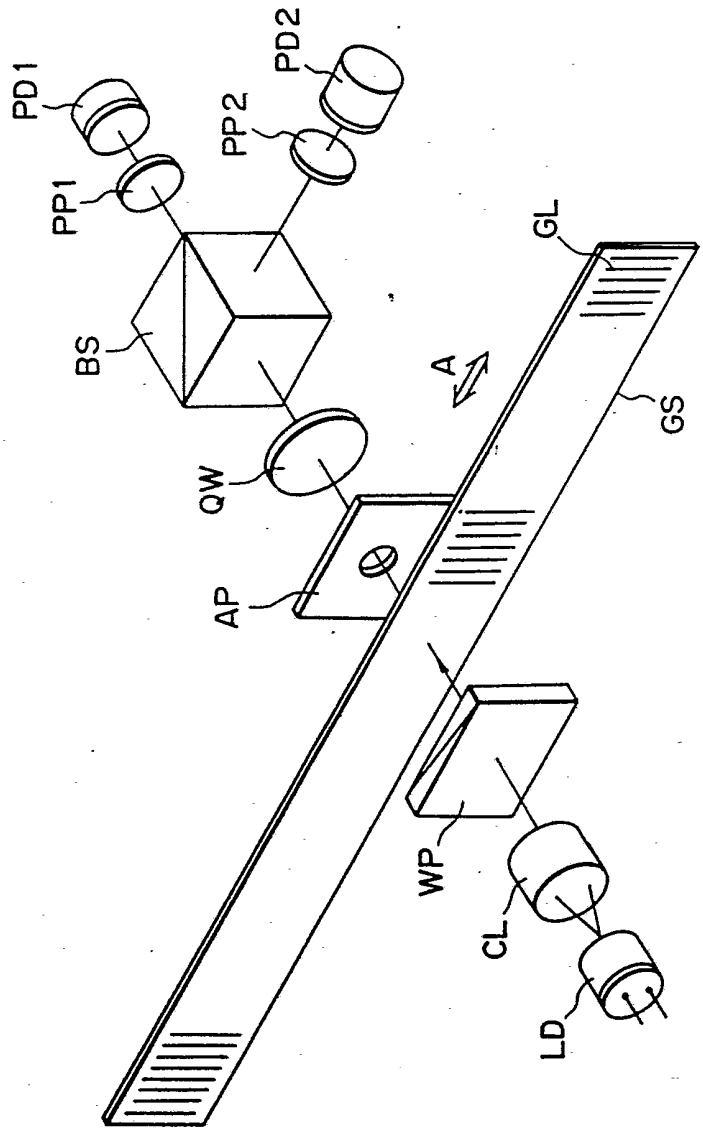


FIG. 34

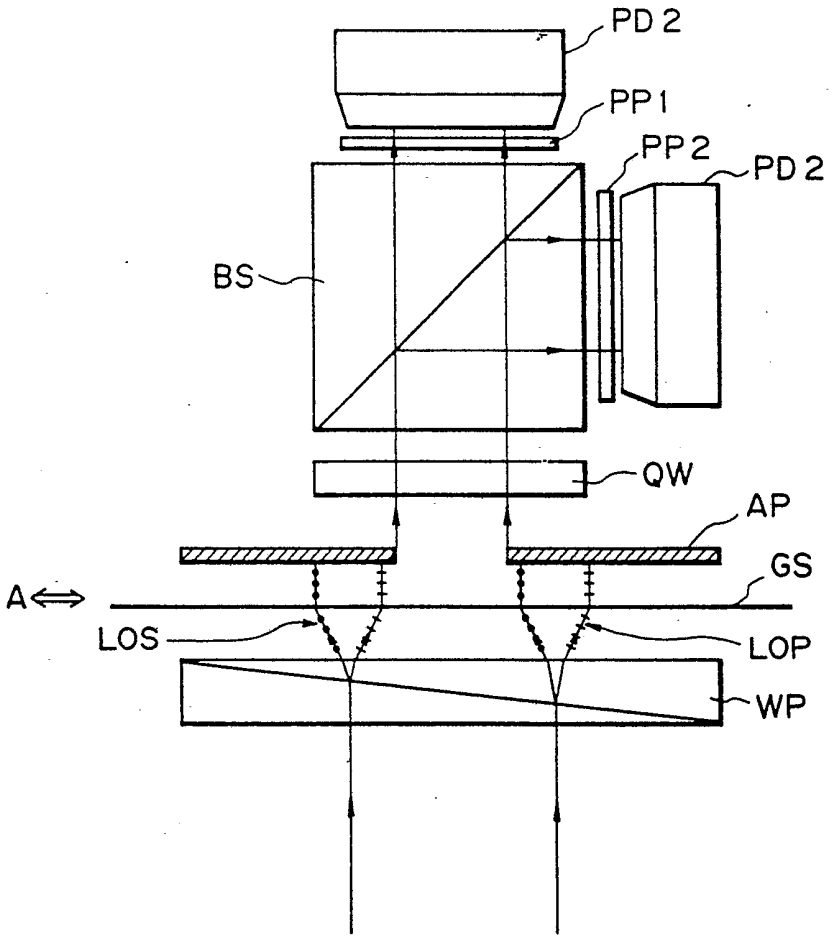


FIG. 35

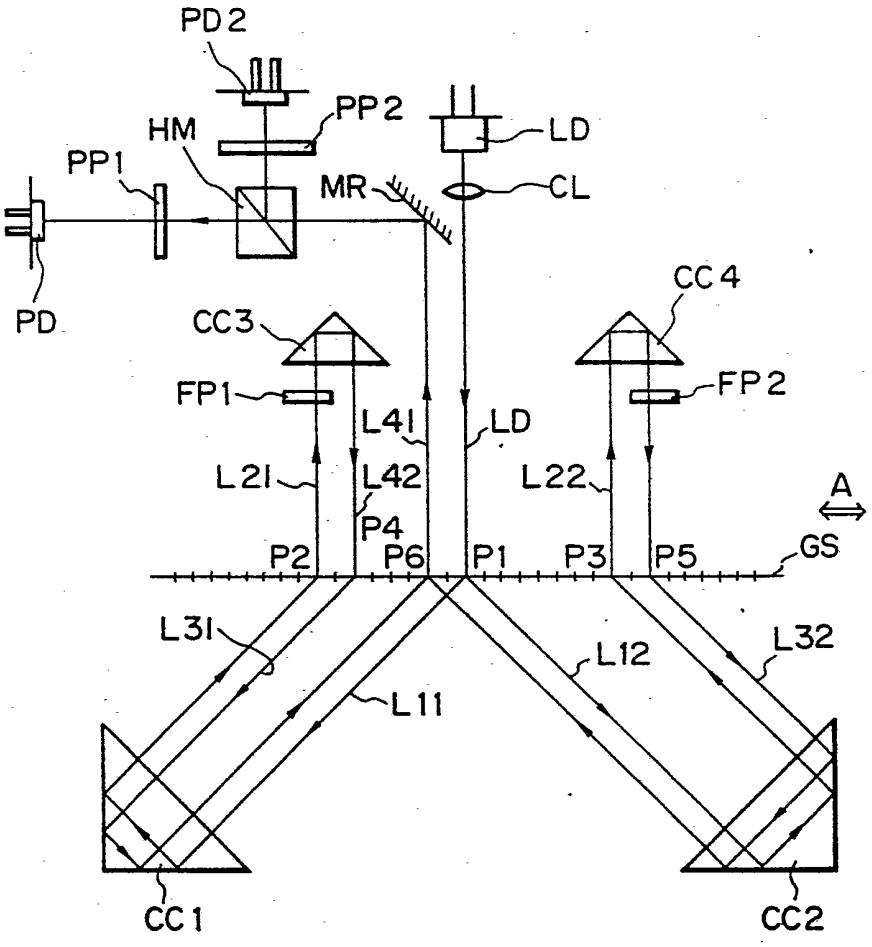

PD2
PP2
HM
LD
PP1
MR
CL
PD
CC3
CC4
FP1
FP2
L41
LD
L21
L42
L22
A
P4
P2
P6
P1
P3
P5
GS
L31
L12
L32
L11
CC1
CC2

FIG. 36