



Brevet d'invention délivré pour la Suisse et le Liechtenstein
Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein

⑫ FASCICULE DU BREVET A5

⑲ Numéro de la demande: 4950/83

⑳ Date de dépôt: 12.09.1983

㉔ Brevet délivré le: 15.12.1987

㉕ Fascicule du brevet
publié le: 15.12.1987

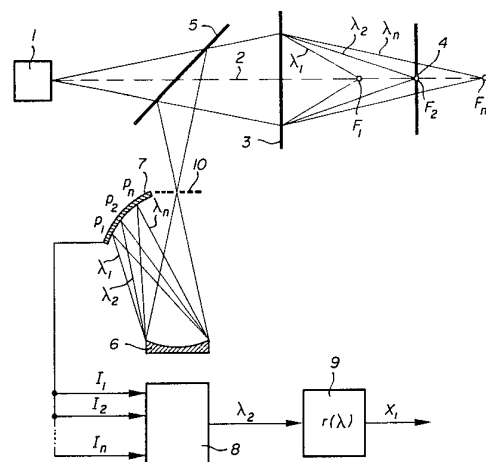
㉗ Titulaire(s):
Battelle Memorial Institute, Carouge GE

㉘ Inventeur(s):
Gross, Daniel Maurice, Genève
Daehne, Claus, Onex

㉚ Mandataire:
Blasco Dousse, Carouge GE

⑤④ Procédé et dispositif pour déterminer la position d'un objet par rapport à une référence.

⑤⑦ Ce procédé permet de déterminer la position d'un objet (4) situé dans le lieu de focalisation d'un faisceau lumineux polychromatique ($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_n$) formé par une lentille holographique (3), en analysant le spectre de la lumière réfléchié par l'objet et en déterminant ensuite la longueur d'onde du faisceau réfléchi (λ_2) dont l'intensité est maximale. Cette longueur d'onde (λ_2) est caractéristique de la position de l'objet (4) par rapport à la lentille holographique (3) ou à tout point du lieu de focalisation.



REVENDEICATIONS

1. Procédé pour mesurer la position d'un élément de surface (4) par rapport à une échelle de référence, selon lequel on forme un faisceau lumineux (2) englobant une pluralité d'ondes lumineuses ($\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$) de longueurs d'onde différentes et d'amplitudes sensiblement égales et que l'on focalise lesdites ondes lumineuses en des points distincts (F_1, F_2, \dots, F_n) situés le long d'un axe, ces points constituant ladite échelle de référence, la position de chacun desdits points le long de l'axe étant définie par la distance focale propre à chaque onde, chaque distance focale étant caractéristique d'une seule longueur d'onde, caractérisé par le fait que l'on décompose le spectre de la lumière réfléchie par l'élément de surface (4), que l'on mesure l'intensité respective des ondes constituant ledit spectre et que l'on compare ces intensités entre elles pour déterminer l'onde dont l'intensité est maximale, cette onde étant caractéristique de la position dudit élément de surface par rapport à ladite échelle de référence.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé par le fait que l'on sélectionne une partie des ondes constituant le faisceau de lumière réfléchie par l'élément de surface, avant de décomposer le spectre dudit faisceau de lumière.

3. Dispositif pour la mise en œuvre du procédé selon la revendication 1, comprenant une source de lumière polychromatique (1) dont le faisceau (2) englobe une pluralité d'ondes lumineuses ($\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$) d'amplitude sensiblement égale, caractérisé par le fait qu'il comprend, de plus, une lentille (3) focalisant chaque onde lumineuse de ce faisceau en un point distinct (F_1, F_2, \dots, F_n), caractéristique de la longueur d'onde respective, l'ensemble de ces points (F_1, F_2, \dots, F_n) constituant un lieu de focalisation dudit faisceau (2), l'élément de surface (4) dont on entend mesurer la position étant destiné à être placé en un point dudit lieu, des moyens pour analyser le spectre du faisceau lumineux réfléchi par cet élément de surface (4), des moyens pour déterminer la longueur d'onde de la composante de ce spectre dont l'intensité lumineuse est maximale, et des moyens pour déterminer la position dans ledit lieu du foyer de cette composante et, partant, celle de l'élément de surface.

4. Dispositif selon la revendication 3, caractérisé par le fait que la lentille focalisant chaque onde lumineuse est une lentille holographique à raies concentriques circulaires.

5. Dispositif selon la revendication 3, caractérisé par le fait que la lentille focalisant chaque onde lumineuse est une lentille holographique à raies concentriques de forme elliptique et est placée dans un plan incliné par rapport au plan normal à l'axe du faisceau lumineux.

6. Dispositif selon la revendication 3, caractérisé par le fait que la lentille focalisant chaque onde lumineuse est une lentille réfractive à aberration chromatique élevée.

7. Dispositif selon la revendication 3, caractérisé par le fait qu'il comprend de plus un système optique classique constitué d'au moins une lentille réfractive, entre la lentille focalisant chaque onde lumineuse et son lieu de focalisation.

8. Dispositif selon la revendication 3, caractérisé par le fait qu'il comprend de plus un diaphragme pour sélectionner une portion des ondes constituant le faisceau d'ondes réfléchies par l'élément de surface.

La présente invention a pour objet un procédé et un dispositif pour déterminer la position d'un élément de surface d'un objet par rapport à une échelle de référence, du type dans lequel on focalise un faisceau lumineux englobant une pluralité d'ondes lumineuses en une pluralité de points correspondant aux foyers de chaque onde, et l'on détermine la longueur d'onde dont le point de focalisation se trouve sur cet élément de surface.

On connaît déjà les brevets DE 19 62515, GB 2 077 421 et FR 1 506 196 décrivant un procédé et des dispositifs de ce genre.

Le brevet DE 19 62515 traite d'un capteur de distance optique sans contact, dans lequel un faisceau lumineux est focalisé en une pluralité de foyers distincts. Ce capteur permet de déterminer la position d'un objet se trouvant entre deux de ces foyers. On compare l'intensité respective des deux ondes lumineuses réfléchies par l'objet et convergeant en ces foyers. La position de l'objet par rapport au capteur est définie lorsque ces ondes ont une intensité égale. On déplace le capteur pour obtenir cette égalité. La position finale du capteur permet de situer l'objet. Ce capteur est en fait un capteur hybride, puisqu'il comporte un système de mesure mécanique (repérage de la position du capteur) et optique (localisation de l'objet par rapport au capteur).

Le brevet GB 2 077 421 décrit un capteur optique et un procédé pour mesurer les déplacements d'un objet, où l'on focalise deux faisceaux monochromatiques de couleur différente, d'intensité égale, à axes confondus, pour obtenir deux points de focalisation distincts situés à égale distance d'un plan de référence. On mesure l'intensité relative des ondes lumineuses des deux faisceaux, après réflexion par l'objet. Cette intensité relative peut être caractérisée par la différence ou par le quotient des intensités respectives des ondes lumineuses. L'évolution de la valeur de cette intensité relative est caractéristique des déplacements de l'objet.

Le brevet FR 1 506 196 a pour objet un dispositif de mesure sans contact destiné à focaliser deux ondes lumineuses de longueur d'onde distinctes, en deux points différents, mais à l'aide de deux systèmes optiques concentriques solidaires l'un de l'autre. De plus, ce dispositif comporte un système d'asservissement destiné à déplacer axialement les deux systèmes optiques de manière telle que les intensités des ondes réfléchies par la surface à localiser soient égales entre elles, la position de l'élément de surface étant alors définie par rapport au dispositif de mesure. Un tel dispositif est difficile à mettre en œuvre, d'une part, en ce qui concerne l'optique et, d'autre part, en ce qui concerne le système d'asservissement, lequel comporte des organes mécaniques mobiles. Le dispositif est en conséquence mal adapté à des mesures de haute précision.

Par ailleurs, dans les trois cas ci-dessus, on détermine la position d'un objet en comparant deux signaux optiques. La précision de cette comparaison est à l'évidence liée à l'intensité des signaux. En conséquence, la précision et le pouvoir de résolution de tels capteurs sont très étroitement liés aux propriétés optiques de la surface de l'objet à situer.

On a par ailleurs proposé, dans la revue IBM Technical Disclosure vol. 16, N° 2, pages 433-434, de focaliser un faisceau lumineux successivement de chaque côté d'une surface à localiser et d'analyser ensuite la lumière réfléchie par cette surface. Cette solution rend impossible des mesures se succédant très rapidement dans le temps et est donc difficilement applicable à la mesure de la position d'objets mobiles.

La présente invention a pour but de remédier aux défauts des capteurs existants.

A cet effet, l'invention a, tout d'abord, pour objet un procédé pour mesurer la position d'un élément de surface par rapport à une référence, selon la revendication 1.

L'invention a, de plus, pour objet un dispositif pour la mise en œuvre de ce procédé.

Le dessin annexé illustre très schématiquement, et à titre d'exemple, deux formes d'exécution du dispositif selon l'invention, ainsi qu'un diagramme explicatif.

La figure 1 est une représentation schématique d'une première forme d'exécution du dispositif selon l'invention.

La figure 2 est un diagramme explicatif représentant une courbe d'étalonnage.

La figure 3 est une représentation schématique d'une autre forme d'exécution du dispositif selon l'invention.

Le dispositif de la figure 1 comprend une source de lumière polychromatique 1, générant un faisceau lumineux. L'axe 2 de ce fais-

ceau est dirigé sur un élément de surface 4 dont la position est à déterminer. Une lentille holographique 3, à raies concentriques circulaires d'un type courant, focalise les diverses ondes constituant le faisceau en fonction de leur longueur d'onde respective $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$.

Si l'on ne prend en considération que les diffractions d'ordre 1, ces diverses ondes lumineuses sont focalisées en une pluralité de foyers (F_1, F_2, \dots, F_n) dont l'ensemble constitue un lieu de focalisation F. Pour ce type de lentille holographique, la distance focale est en première approximation proportionnelle à l'inverse de la longueur d'onde de l'onde focalisée. Un miroir semi-transparent 5 dirige les ondes lumineuses issues de la source 1 focalisées par la lentille 3 et réfléchies par l'élément de surface 4 vers une grille de diffraction concave 6. Cette grille de diffraction décompose le spectre de la lumière réfléchie par l'élément de surface et fait converger les ondes de ce spectre en des points distincts d'un réseau linéaire de photodétecteurs 7, comme un circuit CCD. La grille de diffraction 6 dévie les ondes lumineuses selon la relation:

$$a \cdot (\sin\alpha + \sin\beta) = k\lambda$$

où a est la distance séparant deux raies de la grille 6,

α est l'angle d'incidence des ondes lumineuses,

β est l'angle de diffraction de ces ondes,

k est un nombre entier (pour les diffractions du 1^{er} ordre, $k=1$),

et

λ est la longueur d'onde de la lumière incidente.

Les ondes du spectre de la lumière réfléchie, diffractées par la grille 6 et focalisées sur les photodétecteurs (P_1, P_2, \dots, P_n) du réseau 7, ont une intensité d'autant plus grande que leurs foyers respectifs (F_1, F_2, \dots, F_n) du lieu F sont proches de l'élément de surface 4. Un analyseur 8 compare entre elles les intensités respectives des signaux électriques (I_1, I_2, \dots, I_n) issus des photodétecteurs, représentatives de l'intensité respective des ondes lumineuses focalisées sur lesdits photodétecteurs, pour rechercher l'onde λ_2 du spectre de la lumière réfléchie dont l'intensité est maximale. Un calculateur 9 introduit cette longueur d'onde λ_2 dans une fonction d'étalonnage $r(\lambda)$ propre à la lentille 3. Cette fonction associe une distance de focalisation à chaque onde focalisée par la lentille.

La figure 2 montre un exemple de courbe d'étalonnage d'une lentille holographique à 270 raies concentriques circulaires, dont la raie extérieure a environ 5 mm de diamètre. Les distances de focalisation sont représentées en abscisse et les longueurs d'onde en ordonnée. Pour obtenir cette courbe, on a focalisé six faisceaux lumineux monochromatiques de longueur d'onde connue au moyen de la lentille holographique à étalonner. On a ensuite placé un miroir dans le lieu de focalisation de la lentille, et l'on a mesuré, pour chaque faisceau, la position du miroir pour laquelle l'intensité de la lumière réfléchie était maximale.

Le calculateur 9 génère un signal $X_1 = r(\lambda_2)$. Ce signal est caractéristique de la position de l'élément de surface 4 par rapport à un point de référence ou une échelle de référence. La position du point de référence, respectivement la position de l'échelle de référence, est définie par la courbe d'étalonnage $r(\lambda)$. Le point de référence peut par exemple être constitué par la lentille 3. L'échelle de référence peut notamment être constituée par tout ou partie du lieu de focalisation F.

Pour certains modèles de lentilles holographiques à raies circulaires, il est possible de mesurer les diffractions d'ordre 2 et même parfois les diffractions d'ordre supérieur à 2. Les diffractions du deuxième ordre focalisent une portion des ondes de longueur d'onde $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ sur des foyers F'_1, F'_2, \dots, F'_n constituant un lieu de focalisation secondaire F' situé entre le lieu de focalisation F et la lentille. L'intensité des ondes focalisées en F' est plus faible que celle des ondes focalisées en F. Il est malgré tout possible d'analyser le spectre de lumière réfléchie par un éventuel objet placé dans ce lieu de focalisation secondaire. Il est ainsi possible de définir au moins deux lieux de focalisation pour chaque lentille holographique et donc de définir au moins deux domaines de mesure distincts pour un même capteur.

Une portion de lumière du faisceau issu de la source 1 est réfléchie par la lentille holographique 3. Cette lumière parasite se superpose aux ondes réfléchies par l'élément de surface 4, constituant ainsi une source non négligeable de bruit de fond. Dans une deuxième forme d'exécution de l'invention, il est possible de remédier à ce défaut en remplaçant la lentille 3 à raies concentriques circulaires par une lentille à raies concentriques légèrement elliptiques, inclinée d'une fraction de degré d'angle par rapport au plan normal à l'axe 2 du faisceau lumineux. Cette disposition permet de diriger la portion de lumière parasite réfléchie par la lentille hors du faisceau d'ondes réfléchies par l'élément de surface 4.

Dans une troisième forme d'exécution de l'invention, il est avantageux de disposer un diaphragme 10, entre le miroir 5 et la grille de diffraction concave du système d'analyse spectrale, à l'endroit de section minimale du faisceau lumineux réfléchi par l'élément de surface. Ce diaphragme permet d'éliminer du faisceau réfléchi une partie des ondes focalisées hors de l'élément de surface 4, pour mieux mettre en évidence l'onde focalisée sur l'élément de surface. Ce diaphragme améliore par conséquent le pouvoir de résolution du capteur.

Dans une quatrième forme d'exécution du dispositif selon l'invention, un système optique classique amovible, constitué d'au moins une lentille réfractive, est placé entre la lentille 3 et son lieu de focalisation F. Il permet d'adapter une seule lentille à de nombreuses applications différentes, en déplaçant à volonté le lieu F par rapport à la lentille 3.

Dans une cinquième forme d'exécution du dispositif selon l'invention, il est possible d'utiliser une lentille réfractive à aberration chromatique élevée, en lieu et place de la lentille holographique 3, pour focaliser les ondes lumineuses du faisceau 2 en une pluralité de foyers F_1, F_2, \dots, F_n .

Dans une sixième forme d'exécution du dispositif selon l'invention, on utilise une lentille holographique à raies parallèles, dite lentille holographique cylindrique. Ce type de lentille se distingue des lentilles à raies circulaires par la forme de son lieu de focalisation constitué d'une pluralité des foyers F_1, F_2, \dots, F_n en forme de segments de droites parallèles aux raies de la lentille.

Cette forme d'exécution peut être utilisée pour mesurer la distance séparant deux éléments de surface adjacents a et b, non coplanaires. Dans ce cas, le système d'analyse du spectre de la lumière réfléchie met en évidence deux ondes lumineuses λ_a et λ_b focalisées sur l'élément de surface a, respectivement sur l'élément de surface b. La distance cherchée est la différence des distances respectives de chaque élément de surface à la lentille. Ces distances sont déterminées comme précédemment à l'aide de la courbe d'étalonnage propre à la lentille à raies parallèles. Cette forme d'exécution permet de plus de trouver la position latérale dans le lieu de focalisation de la ligne de séparation des éléments de surface a et b par la comparaison de l'intensité relative des ondes λ_a et λ_b réfléchies par chacun desdits éléments de surface.

La figure 3 décrit une septième forme d'exécution de l'invention utilisant une fibre optique multimode 26, dont le diamètre est compris entre 0,1 et 0,6 mm reliant une tête de mesure 20 et un système optoélectrique 21. Ce système 21 est destiné à générer un faisceau lumineux polychromatique et à analyser la lumière réfléchie par un élément de surface 31 dont on cherche la position. Une source lumineuse polychromatique 22 permet de diriger un faisceau divergent vers une première lentille réfractive 23 destinée à rendre ce faisceau parallèle. Une seconde lentille réfractive 24 focalise ledit faisceau sur la première extrémité 25 de la fibre optique 26 fixée par un connecteur 27. Un second connecteur 29 rend la seconde extrémité 28 de la fibre optique 26 solidaire de la tête de mesure 20. L'extrémité 28 agit comme source lumineuse ponctuelle et dirige les ondes constituant le faisceau issu de la source 22 sur une lentille holographique 30. Cette lentille fait converger les ondes lumineuses en fonction de leur longueur d'onde respective, pour former un lieu de focalisation F. Les ondes réfléchies par l'élément de surface 31 sont focalisées par la lentille 30 sur l'extrémité 28 de la fibre optique 26.

L'extrémité 25 agit comme source ponctuelle d'ondes lumineuses réfléchies par l'élément de surface 31, pour diriger celles-ci sur la lentille 24 dont le rôle est de former un faisceau parallèle auxdites ondes réfléchies. Un miroir semi-transparent 32, placé entre les lentilles 23 et 24, dirige le faisceau parallèle des ondes réfléchies vers une lentille réfractive convergente 33. La lentille 33 dirige ces ondes sur une grille de diffraction 34 analogue à la grille 6 de la figure 1. Les ondes diffractées par la grille 34 sont dirigées sur un réseau de photodétecteurs 35, analogue au réseau 7 de la figure 1. Les signaux électriques issus des photodétecteurs sont traités par un ensemble logique 36 associant les fonctions du comparateur 8 et du calculateur 9 de la figure 1.

Il faut relever que, dans cette forme d'exécution, un diaphragme tel que le diaphragme 10 de la figure 1 n'est pas utile, car l'entrée 28 de la fibre optique 26 a un effet analogue à ce diaphragme en ce qui concerne l'élimination d'une partie des réflexions parasites sur la lentille holographique 30.

A titre d'exemple d'application du capteur selon l'invention, il est possible de mesurer la largeur d'une pièce mécanique. Dans ce but, deux capteurs placés en opposition de part et d'autre de la pièce à mesurer permettent de trouver la largeur de ladite pièce par la relation:

$$X = d - X_1 - X_2$$

avec: X = dimension cherchée,

d = distance séparant les deux capteurs,

X_1 = distance séparant la pièce du premier capteur,

X_2 = distance séparant la pièce du deuxième capteur.

Le capteur selon l'invention permet évidemment d'effectuer des mesures dynamiques en étudiant les modifications du spectre de la lumière réfléchie en fonction du temps. L'analyse de ce spectre à intervalles réguliers permet de mesurer les déplacements d'un élément de surface. Cette dernière variante d'utilisation peut notamment trouver une application dans l'asservissement en position, en vitesse, ou en accélération, d'un bras de robot.

Les exemples d'application mentionnés ne constituent pas une liste exhaustive: le dispositif selon l'invention pourra avantageusement être utilisé dans tous les cas où une mesure de distance sans contact est souhaitable.

Il faut noter que le système d'analyse du spectre lumineux décrit ci-dessus est donné à titre d'exemple. Il sera, par exemple, possible d'utiliser un système d'analyse comportant une grille de diffraction animée de mouvements oscillatoires pour diriger successivement chaque onde diffractée sur un photodétecteur unique. Lorsque le photodétecteur mesurera une intensité lumineuse maximale, la position correspondante de la grille sera représentative de la position de l'élément de surface dans le lieu de focalisation de la lentille, donc de la distance séparant l'élément de surface du capteur. Dans une autre forme d'exécution du système d'analyse du spectre de la lumière réfléchie, la grille de diffraction pourrait être fixe et le photodétecteur mobile.

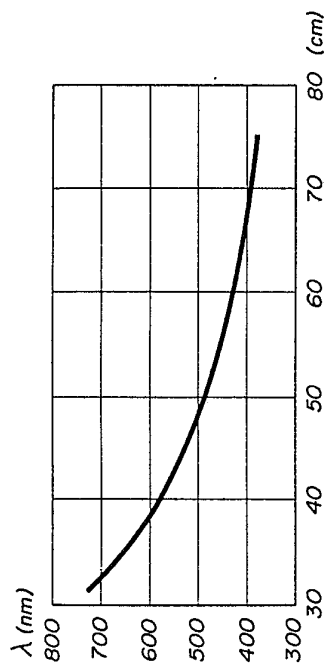


FIG. 2

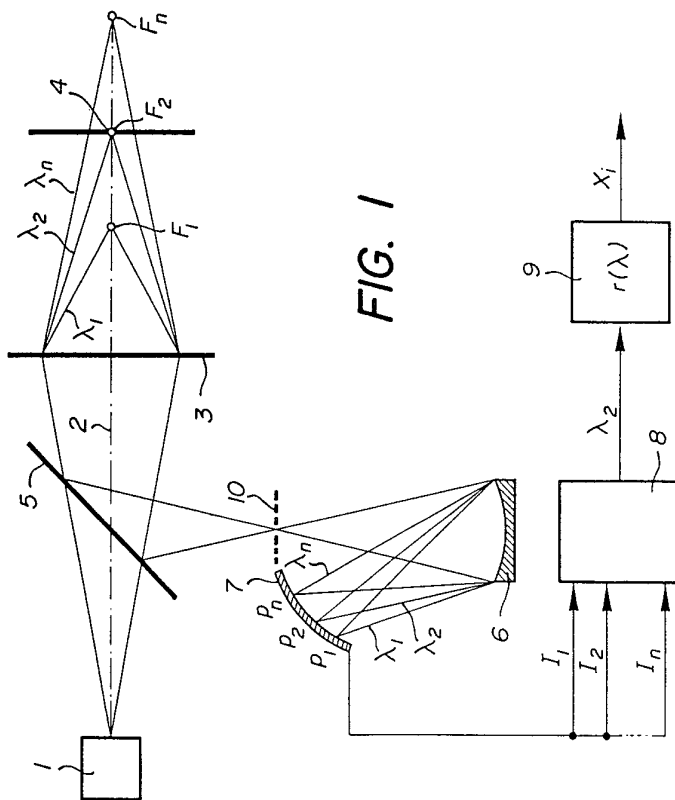


FIG. 1

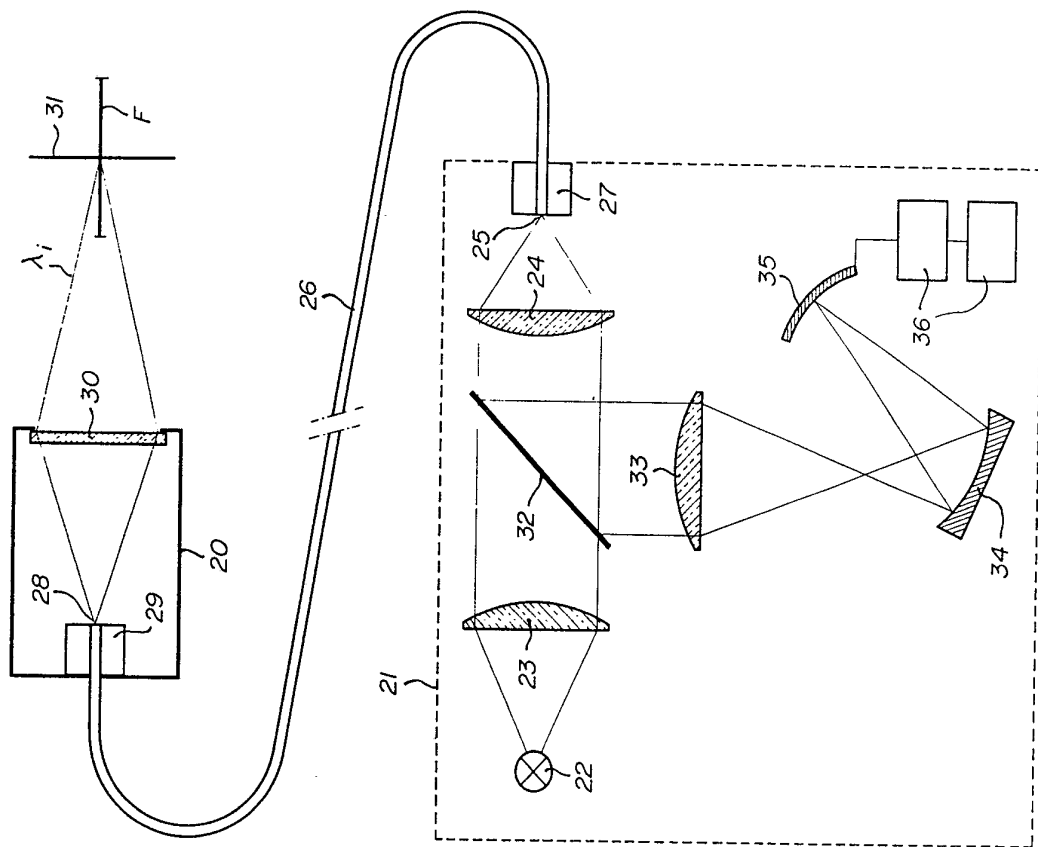


FIG. 3