

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

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

2 633 782

②1 N° d'enregistrement national :

88 08917

⑤1 Int Cl⁵ : H 01 S 3/10.

①2

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 1^{er} juillet 1988.

③0 Priorité :

⑦1 Demandeur(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE, Etablissement de caractère scientifique, technique et industriel. — FR.

⑦2 Inventeur(s) : Claude Etievant.

④3 Date de la mise à disposition du public de la demande : BOPI « Brevets » n° 1 du 5 janvier 1990.

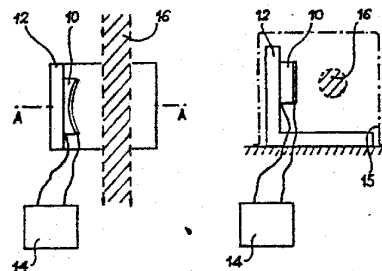
⑥0 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : Brevatome.

⑤4 Dispositif de prélèvement d'un faisceau secondaire à partir d'un faisceau laser principal.

⑤7 Dispositif de prélèvement d'un faisceau secondaire, à partir d'un faisceau laser principal intense comprenant, fixé sur un support 12, un transducteur 10 apte à engendrer, à partir d'un signal électrique périodique de fréquence f , une onde acoustique progressive de même fréquence, une alimentation 14 reliée au transducteur 10 et lui fournissant le signal électrique. Le milieu de propagation de l'onde acoustique est préférentiellement l'air ambiant. Le faisceau laser principal 16 se diffracte sur le réseau créé par la modulation d'indice de l'air sous l'effet de l'onde acoustique donnant naissance à des faisceaux diffractés d'intensité négligeable. Les caractéristiques du faisceau principal 16 sont obtenues par des mesures effectuées sur un faisceau secondaire diffracté.



FR 2 633 782 - A1

D

DISPOSITIF DE PRELEVEMENT D'UN FAISCEAU SECONDAIRE
A PARTIR D'UN FAISCEAU LASER PRINCIPAL

Description

La présente invention a pour objet un dispositif de prélèvement d'un faisceau secondaire à partir d'un faisceau laser principal. Elle s'applique notamment aux mesures de puissance et de profil d'intensité
5 du faisceau principal en temps réel et sans perturbation de ce faisceau. Ce dispositif concerne essentiellement les lasers infrarouges.

Depuis leur création, un intérêt particulier est porté aux lasers infrarouges de grande puissance
10 (de l'ordre du kW et plus) en régime impulsionnel ou continu. Ces lasers trouvent des utilisations dans le traitement de surface des matériaux, la soudure, le perçage, la découpe...

De telles applications nécessitent la maîtrise des paramètres du faisceau laser (sa géométrie, sa puissance). Un contrôle efficace implique la mesure, en temps réel, du profil d'intensité et de la puissance du faisceau. Pour ne pas perturber la tâche à effectuer
15 mais aussi pour ne pas détruire les détecteurs en les soumettant à de trop fortes intensités lumineuses, on prélève à partir du faisceau principal un faisceau secondaire de faible intensité (de l'ordre du mW
20 et moins).

Les principaux dispositifs connus font appel à des éléments de séparation tels qu'une lame séparatrice placée sur le parcours du faisceau. Cette lame réfléchit un faible pourcentage de l'intensité du faisceau principal ; des mesures de profil d'intensité ou de puissance sont alors aisément praticables
25 sur ce faisceau réfléchi, image du faisceau principal (connaissant le coefficient de réflexion de la lame, la puissance du faisceau principal se déduit facilement de la mesure de la puissance réfléchie).
30

Ces dispositifs connus présentent un inconvénient majeur : soumis au rayonnement intense des lasers de puissance, ils absorbent une certaine quantité d'énergie lumineuse. L'échauffement provoqué par ce phénomène entraîne à la longue une détérioration des dispositifs. Les coefficients de réflexion n'ont plus leur valeur nominale, et le profil du faisceau réfléchi ne correspond plus au profil du faisceau principal.

La présente invention pallie cet inconvénient des dispositifs de séparation connus. Elle ne perturbe pratiquement pas le faisceau principal et n'est pas détruite par son rayonnement intense. Elle préconise pour cela l'utilisation d'une interaction de type Rayleigh-Brillouin entre le faisceau laser et une onde acoustique. Cette onde acoustique est engendrée dans l'air par un transducteur, suivant une direction de propagation sensiblement perpendiculaire à la direction de propagation du faisceau lumineux.

De façon plus précise, l'invention concerne un dispositif de prélèvement d'un faisceau secondaire à partir d'un faisceau laser principal. Ce dispositif comprend, pour soumettre ledit faisceau principal à une onde acoustique, fixé sur un support, un transducteur apte à engendrer à partir d'un signal électrique périodique de fréquence f , une onde acoustique progressive de même fréquence et un générateur d'ondes électriques relié au transducteur. Ce générateur fournit au transducteur ledit signal électrique.

Le transducteur sous l'excitation électrique entre en vibration résonnante à la fréquence f du signal électrique et engendre une onde acoustique progressive dans l'air ambiant. L'indice de l'air est modulé par l'onde acoustique et forme l'équivalent d'un réseau de diffraction (réseau d'indice). Cette

onde se propageant sensiblement perpendiculairement au faisceau lumineux entraîne une diffraction de ce dernier. On obtient ainsi de part et d'autre du faisceau principal un faisceau secondaire, image du faisceau principal.

L'intensité de ces faisceaux secondaires est directement reliée à la profondeur de modulation de l'onde acoustique. Cette dernière dépend essentiellement de l'intensité du signal électrique auquel est soumis le transducteur. On peut donc faire varier l'intensité des faisceaux secondaires en faisant varier l'intensité du signal électrique.

L'intensité des faisceaux secondaires est choisie très faible devant l'intensité du faisceau principal : le prélèvement ne perturbe pratiquement pas ce dernier.

Le matériau, siège de l'interaction entre l'onde acoustique et le faisceau lumineux, est donc l'air ambiant. Ce matériau gazeux ne risque pas de brûler et ne présente pas d'état de surface à protéger. Il est disponible facilement et ne nécessite pas d'entretien particulier.

Dans une variante de réalisation, le transducteur est monté face à une surface réfléchissant les ondes acoustiques de manière à former une cavité acoustique résonnante stable.

L'onde acoustique réfléchie se combine avec l'onde acoustique incidente émise par le transducteur pour donner lieu à une onde acoustique stationnaire de fréquence f . Le faisceau lumineux diffracté est, dans ce cas, la superposition des deux faisceaux lumineux diffractés, l'un par l'onde acoustique incidente, l'autre par l'onde acoustique réfléchie. Le faisceau lumineux diffracté est donc composé de deux ondes lumineuses sensiblement de mêmes amplitudes

mais dont la différence de fréquence est $2f$.

Dans une autre variante de réalisation, un second transducteur est disposé en regard du premier transducteur. Ce second transducteur est lui aussi
5 relié au même générateur d'ondes électriques ; il fournit donc une onde progressive identique se propageant dans la même direction mais en sens opposé à celle issue du premier transducteur. Les interférences entre ces deux ondes acoustiques donnent lieu
10 à une onde stationnaire. Cette onde stationnaire de fréquence f produit, comme précédemment, une diffraction du faisceau lumineux comportant deux modes se propageant dans la même direction mais avec des fréquences dont l'écart est $2f$.

15 Pour pouvoir déterminer les paramètres du faisceau, le dispositif de prélèvement est couplé à des moyens de détection d'un faisceau lumineux.

Les caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront mieux après la description qui
20 suit donnée à titre explicatif et nullement limitatif. Cette description se réfère à des dessins annexés, sur lesquels :

- les figures 1A et 1B représentent schématiquement une vue de dessus et une coupe suivant l'axe
25 AA respectivement, d'un dispositif selon l'invention,

- les figures 2A et 2B représentent schématiquement une vue de dessus et une coupe suivant l'axe BB respectivement, d'une variante de réalisation selon l'invention,

30 - les figures 3A et 3B représentent schématiquement une vue de dessus et une coupe suivant l'axe CC respectivement, d'une autre variante de réalisation selon l'invention,

- la figure 4 représente schématiquement
35 un dispositif selon l'invention muni d'un dispositif

de mesure de puissance et d'une détection synchrone avec un hacheur,

- la figure 5 représente schématiquement un dispositif selon l'invention muni d'un dispositif de mesure de puissance et d'une détection synchrone à la fréquence $2f$,

- la figure 6 représente schématiquement un dispositif selon l'invention muni d'un dispositif d'analyse de profil.

La figure 1A représente schématiquement une vue de dessus d'un dispositif selon l'invention. On voit le transducteur 10 fixé sur son support 12 et relié à un générateur d'ondes électriques 14. Le transducteur peut être par exemple en niobate de lithium (LiNbO_3) ou en titanate de baryum (BaTiO_3) du type de ceux fabriqués et commercialisés par la Société Quartz et Silice.

Le transducteur 10 entre en vibration sous l'effet du signal électrique à la fréquence f délivré par le générateur 14 et engendre dans l'air ambiant une onde acoustique progressive à la fréquence f . Cette onde acoustique module l'indice de l'air et forme l'équivalent d'un réseau de diffraction.

L'interaction entre l'onde acoustique et le faisceau lumineux 16 engendre deux faisceaux lumineux diffractés de part et d'autre du faisceau 16, d'intensité très faible devant l'intensité du faisceau lumineux 16.

Pour un faisceau lumineux infrarouge de longueur d'onde égale à 10,6 micromètres (provenant d'un laser à CO_2 par exemple) et dont le diamètre est égal à 1 cm avec une divergence de $3 \cdot 10^{-3}$ radian, on peut utiliser par exemple une onde acoustique à une fréquence f de 2 MHz et une largeur du faisceau acoustique de 2 cm.

On obtient alors des faisceaux diffractés faisant un angle i de $7 \cdot 10^{-2}$ radian avec le faisceau principal et dont la puissance est de $0,73a^2$ où a est la profondeur de modulation de l'onde acoustique. Si a est égal à 10^{-3} , chaque faisceau diffracté transporte une puissance de 0,7 mW. La perturbation subie par le faisceau principal 16 est donc bien négligeable (environ 6 ordres de grandeur entre les puissances incidente et diffractées).

Le choix de la fréquence acoustique (de l'ordre du MHz par exemple) est conduit par deux considérations. L'angle de déviation i doit être suffisant pour permettre une séparation appréciable entre le faisceau principal 16 et les faisceaux diffractés. Cet angle dépend de la longueur d'onde du laser (donc fixée) et de la fréquence f de l'onde acoustique. Plus cette fréquence f est élevée et plus l'angle i de déviation est grand. Mais si l'on augmente trop la valeur de la fréquence f , l'onde acoustique est amortie dans l'air au point qu'elle est inutilisable pour la diffraction d'un faisceau lumineux.

Ces deux considérations font que dans l'air, le dispositif est particulièrement bien adapté à un faisceau lumineux infrarouge ayant une longueur d'onde d'environ 10 micromètres. On peut sans sortir du cadre de l'invention se placer dans l'atmosphère d'un autre gaz pour obtenir des coefficients élastiques et des valeurs d'indices différents ou pour réduire l'absorption des ondes ultrasonores par ce gaz.

Dans les conditions d'utilisation citées plus haut, le réseau formé par l'onde acoustique est un réseau "fin". Pour une bonne efficacité de la diffraction, il suffit que les ondes acoustique et lumineuse se propagent sensiblement perpendiculairement.

Il est bien entendu que le changement de valeur de certains paramètres entraînerait, sans sortir du cadre de l'invention, le passage d'une diffraction sur un réseau "fin" à une diffraction sur un réseau "épais". Dans ce cas, le faisceau lumineux doit attaquer l'onde acoustique sous l'angle de Bragg facilement déterminé par l'homme du métier.

Une onde acoustique délivrée par un transducteur plan présente une divergence. La diffraction d'un faisceau lumineux par une onde acoustique est la plus efficace lorsque le faisceau acoustique est parallèle. Afin d'obtenir un faisceau acoustique parallèle ayant la forme d'une nappe plane, on peut utiliser un transducteur dont la surface est cylindrique concave de manière à compenser la divergence. On peut aussi ajouter un réflecteur (non représenté) sur l'arrière du transducteur, simple pièce réfléchissante prolongeant le transducteur et permettant la compensation de la divergence.

La figure 1B est une coupe du dispositif selon l'invention selon l'axe AA repéré sur la figure 1A. Le transducteur 10 est placé le plus près possible du faisceau 16 pour éviter une perte d'efficacité de la diffraction due à l'amortissement de l'onde acoustique dans l'air.

L'air ambiant est le siège de l'interaction entre l'onde acoustique et le faisceau lumineux principal 16. Des perturbations provoquées par des déplacements au voisinage du dispositif entraînent des variations locales de l'indice de l'air et faussent les mesures. De manière avantageuse, on place donc tout le parcours du faisceau acoustique sous un capot protecteur 15 évitant les déplacements d'air intempestifs. On peut aussi créer l'onde acoustique dans un gaz autre que l'air ambiant, par exemple émis par une buse de géométrie convenable.

Les figures 2A et 2B représentent une variante de réalisation d'un dispositif selon l'invention. Le réseau de diffraction engendré par le dispositif est ici créé à partir d'une onde acoustique stationnaire obtenue par les interférences, produites par la réflexion de l'onde acoustique progressive sur une surface 18 réfléchissante. L'ensemble composé par le transducteur 10 et la surface 18 réfléchissante en regard forme une cavité résonnante stable : le faisceau acoustique qu'elle contient n'est pas divergent. En assurant au transducteur 10 et à la surface 18 réfléchissante une concavité convenable (dont le rayon de courbure peut être supérieur ou égal au double de la longueur d'onde de la cavité acoustique) on obtient un faisceau pratiquement parallèle à l'intérieur de la cavité.

La figure 2A représente schématiquement une vue de dessus d'un tel dispositif et la figure 2B une vue en coupe selon l'axe BB représenté sur la figure 2A. L'écart entre le transducteur 10 et la surface 18 lui faisant face est tel que l'onde acoustique puisse faire un aller-retour dans la cavité sans que la perte en amplitude par amortissement nuise à la formation d'une onde stationnaire. Cet écart est de 2 à 5 cm par exemple pour un faisceau lumineux de 1 cm de diamètre ; il est évidemment suffisant pour laisser le passage au faisceau entre le transducteur 10 et la surface 18.

Les figures 3A et 3B représentent une autre variante de réalisation d'un dispositif selon l'invention. Le réseau de diffraction est aussi réalisé à partir d'une onde stationnaire ; mais cette dernière est engendrée par les interférences entre deux ondes acoustiques progressives contre-propageantes issues de deux transducteurs 10, 20 disposés en regard.

Les deux transducteurs 10, 20 sont reliés au générateur d'ondes électriques 14.

La figure 3A représente une vue de dessus de ce dernier dispositif ; la figure 3B représente une coupe selon l'axe CC présenté figure 3A. De manière analogue au dispositif représenté figure 2, l'écart entre les deux transducteurs 10, 20 est tel que les amplitudes des deux ondes acoustiques contre propageantes puissent interférer sans que l'amortissement vienne perturber la création du réseau. Cet écart est de 2 à 5 cm par exemple, pour un faisceau lumineux de 1 cm de diamètre.

Pour effectuer des mesures de caractérisation d'un faisceau lumineux, le dispositif de prélèvement est couplé à des moyens de mesure.

La figure 4 représente schématiquement un dispositif selon l'invention muni d'un dispositif de mesure de puissance. Dans le cas où le réseau de diffraction est réalisé par une onde acoustique progressive, le mesureur de puissance 22 est avantageusement couplé à une détection synchrone comprenant un hacheur 24 (chopper en terminologie anglo-saxonne) et un amplificateur synchrone 26. L'amplificateur synchrone 26 est synchronisé sur la vitesse de rotation du hacheur 24 ; le faisceau lumineux détecté est ainsi modulé à une certaine fréquence f_M . L'amplificateur synchrone 26 n'amplifie que les composantes du signal délivré par le mesureur de puissance 22 à cette fréquence f_M . On améliore de cette façon le rapport signal sur bruit.

L'amplificateur synchrone 26 est relié à des moyens 28 de traitement du signal délivré par l'amplificateur 26 et de visualisation des résultats des mesures.

Le faisceau peut être focalisé sur le mesureur de puissance par une optique de focalisation 30. Ce peut être un miroir convergent ou un système de lentilles par exemple.

5 Le dispositif de mesure de puissance 22 doit être sensible à la longueur d'onde du faisceau lumineux et présenter un rapport signal sur bruit permettant la mesure de puissances faibles (de l'ordre du mW). Dans le domaine de l'infrarouge, on peut
10 utiliser par exemple des détecteurs pyroélectriques en céramique fabriqués et commercialisés par la société R.T.C., en tantalate de lithium (LiTaO_3) fabriqués par la Société Molelectron et commercialisés par la Société Optilas, ou du type de ceux fabriqués par
15 la Société Plessey et commercialisés par la Société Oriet.

On peut aussi utiliser des détecteurs quantiques au tellure de cadmium dopé au mercure (HgCdTe) qui doivent être refroidis dans un cryostat à la
20 température de 77 K. De tels détecteurs sont produits et commercialisés par la Société Anonyme des Télécommunications (S.A.T.). De grande sensibilité, leur emploi est complexe en raison de la nécessaire tenue en froid.

25 On peut mettre à profit le battement des deux ondes lumineuses diffractées dont l'écart de fréquence est $2f$ dans le cas d'une diffraction par une onde acoustique stationnaire produite par les transducteurs 10, 20 par exemple. Le signal délivré
30 par un détecteur quadratique comporte une composante à la fréquence $2f$ qui peut être amplifiée sélectivement de façon à augmenter le rapport signal sur bruit.

Comme on le voit sur la figure 5, le dispositif de mesure de puissance 22 est alors relié à un
35 amplificateur 32, synchrone à la fréquence $2f$. Les

lumières parasites modulées à d'autres fréquences sont ainsi éliminées.

L'amplificateur 32 est relié à un analyseur de signal 28.

5 La figure 6 représente schématiquement un dispositif selon l'invention muni d'un dispositif d'analyse de profil. Une optique de focalisation 30 permet d'adapter le diamètre d'un des faisceaux diffractés au diamètre de la surface sensible du
10 dispositif d'analyse de profil 34. Ce dernier peut être réalisé par une matrice de détecteurs permettant l'analyse de la distribution d'intensité par exemple. De tels dispositifs sont fabriqués et commercialisés par la Société Anonyme des Télécommunications par
15 exemple. Ce sont des matrices de détecteurs HgCdTe qu'il faut utiliser à basse température dans un cryostat (non représenté).

Cette matrice de détecteurs est lue par multiplexage. Un lecteur-amplificateur 36 relié au
20 dispositif d'analyse 34 permet cette opération. Ce lecteur est relié à des moyens 28 qui permettent entre autres la visualisation de la distribution de l'intensité dans le faisceau secondaire, image du faisceau principal.

25 On peut avantageusement placer une détection synchrone avec hacheur dans ce dispositif pour améliorer le rapport signal sur bruit.

Le dispositif selon l'invention permet donc les mesures en temps réel des différents paramètres caractéristiques d'un faisceau lumineux. Ces
30 mesures peuvent être effectuées sans destruction des moyens de mesure grâce à l'emploi d'un gaz (préférentiellement de l'air) comme milieu dispersif permettant d'effectuer le prélèvement d'un faisceau secondaire de faible intensité à partir du faisceau prin-
35

cipal à caractériser. Le faisceau principal n'est pas perturbé par le prélèvement, son intensité étant très supérieure à l'intensité du faisceau secondaire.

Revendications

1. Dispositif de prélèvement d'un faisceau secondaire, à partir d'un faisceau laser principal, caractérisé en ce qu'il comprend, pour soumettre ledit faisceau principal à une onde acoustique :

- 5 - fixé sur un support (12), un transducteur (10) apte à engendrer à partir d'un signal électrique périodique de fréquence f , une onde acoustique progressive de même fréquence,
- un générateur d'ondes électriques (14)
10 relié au transducteur (10) et lui fournissant ledit signal électrique.

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que le transducteur (10) présente une surface concave.

- 15 3. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que le transducteur (10) est monté face à une surface (18) réfléchissant les ondes acoustiques de manière à former une cavité acoustique résonnante stable.

- 20 4. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, caractérisé en ce qu'il comporte un second transducteur (20) relié à l'alimentation (14) et apte à engendrer à partir du signal électrique de fréquence f , une onde acoustique progressive de
25 même fréquence, ce second transducteur (20) étant placé en regard du premier transducteur (10).

5. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'il comporte un capot protecteur (15) de l'atmosphère siège de
30 l'onde acoustique.

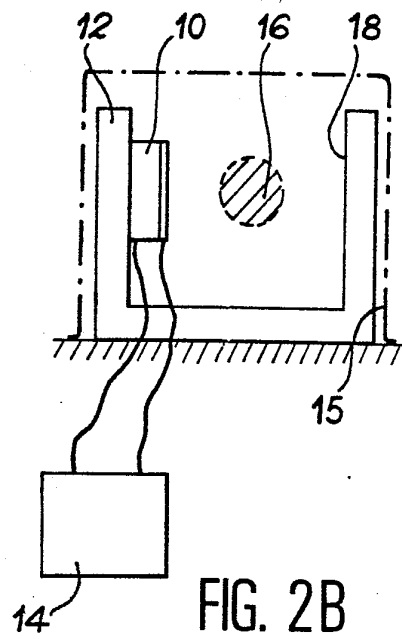
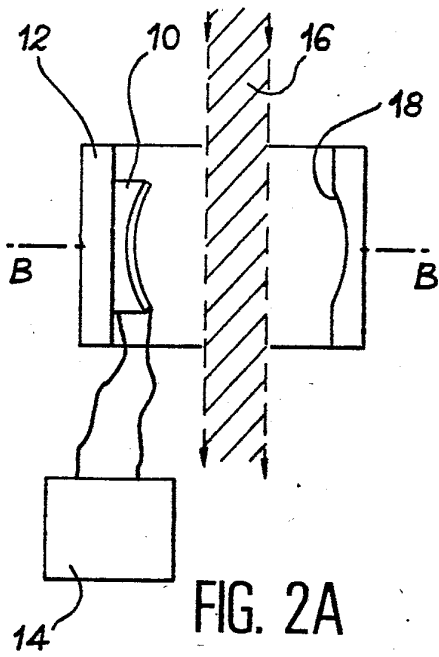
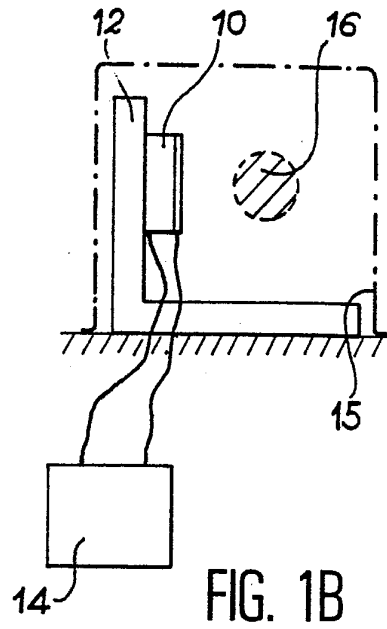
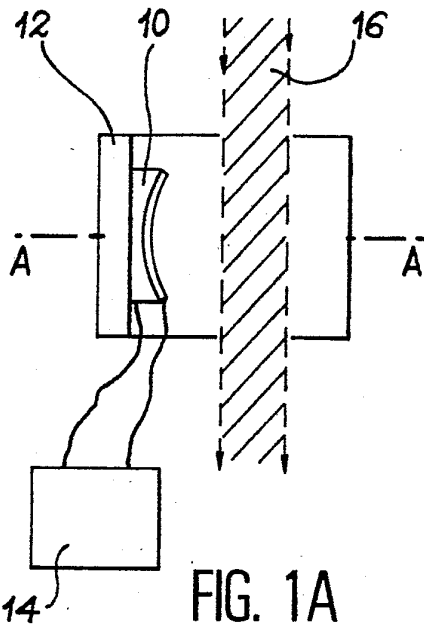
 6. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'il est couplé à des moyens de détection d'un faisceau lumineux.

7. Dispositif selon la revendication 6, caractérisé en ce que les moyens de détection d'un faisceau lumineux sont constitués par une optique de focalisation (30) et un dispositif de mesure de puissance lumineuse (22).

8. Dispositif selon la revendication 6, caractérisé en ce que les moyens de détection d'un faisceau lumineux sont constitués par une optique de focalisation (30) et un analyseur de profil de faisceau lumineux (34).

9. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 6 à 8, caractérisé en ce que les moyens de détection comprennent en outre un amplificateur synchrone (26) et un hacheur (24) de faisceau lumineux commandé par ledit amplificateur synchrone (26).

10. Dispositif selon les revendications 4 et 6, caractérisé en ce que les moyens de détection comprennent en outre un amplificateur synchrone (32) à la fréquence $2f$.



2 / 3

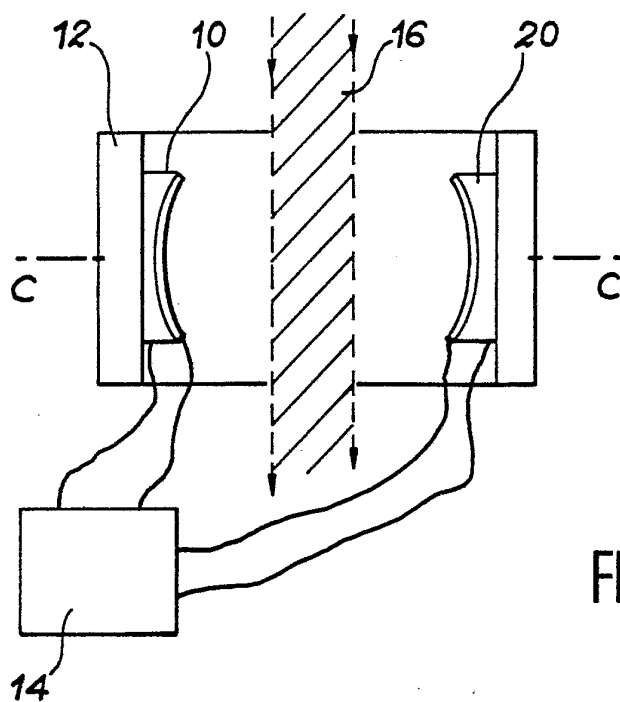


FIG. 3A

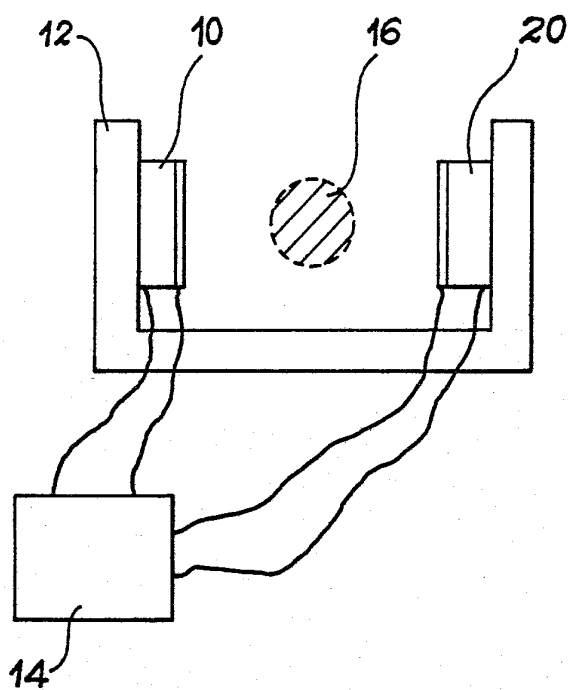


FIG. 3B

3 / 3

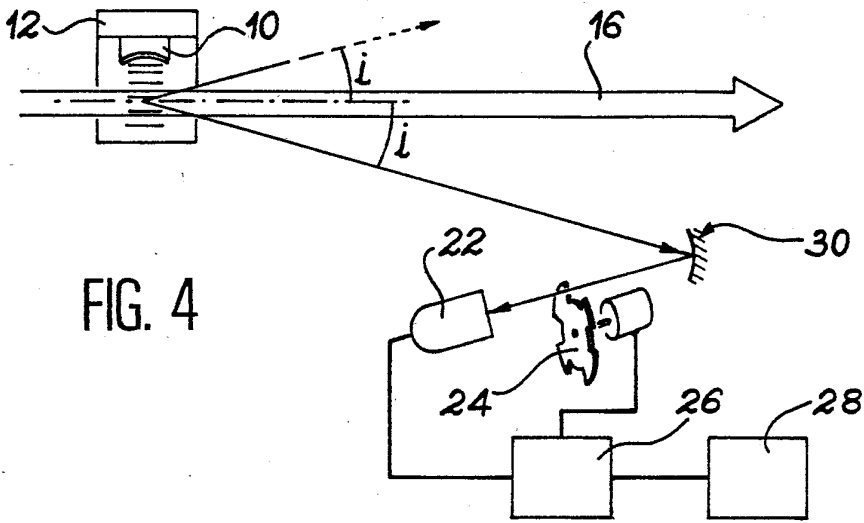


FIG. 4

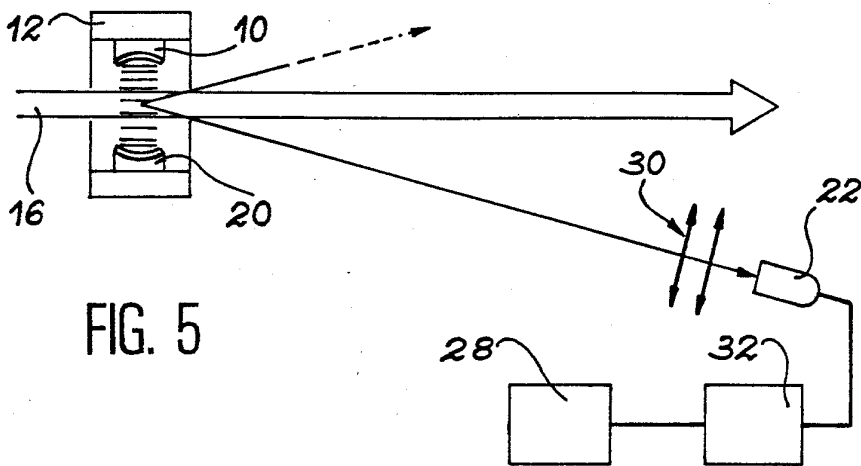


FIG. 5

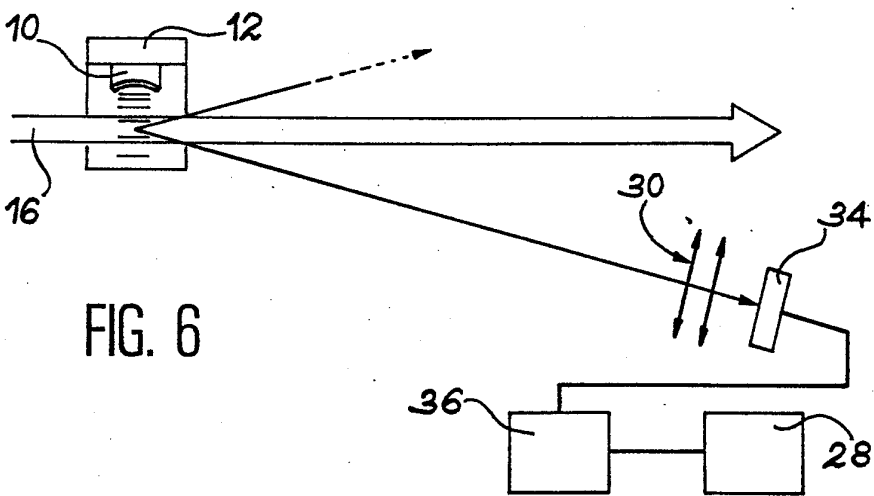


FIG. 6