

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 82 10286

(54) Procédé de fabrication de miroir cylindrique, miroir cylindrique et appareil d'irradiation par un faisceau laser.

(51) Classification internationale (Int. Cl.³). G 02 B 5/10, 7/18; H 01 S 3/086.

(22) Date de dépôt..... 11 juin 1982.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 50 du 16-12-1983.

(71) Déposant : GLEIZES Raymond Marc Xavier. — FR.

(72) Invention de : Jean Pierre Alfred Arnaud.

(73) Titulaire :

(74) Mandataire : Jean Arnaud,
94, rue Saint-Lazare, 75009 Paris.

La présente invention concerne un procédé de fabrication de miroir cylindrique, un miroir cylindrique ainsi qu'un appareil d'irradiation par un faisceau laser. Dans le présent mémoire, l'expression "miroir cylindrique" ne désigne pas obligatoirement un élément optique destiné à assurer une focalisation suivant une ligne, mais se rapporte aussi à des éléments optiques destinés à modifier la répartition d'énergie dans un faisceau étendu ou le long d'une ligne de focalisation. L'invention s'applique essentiellement aux appareils mettant en oeuvre des faisceaux lasers dans lesquels la densité d'énergie disponible varie beaucoup et peut avoir diverses configurations suivant le mode de fonctionnement du laser. Cependant, l'invention n'est nullement limitée à cette application. En particulier, elle peut être utilisée pour la formation de faisceaux ayant diverses répartitions de densité d'énergie, à partir de sources ponctuelles ou rectilignes.

Le problème plus précis dans le cadre duquel l'invention a été mise en oeuvre est la formation d'une ligne de focalisation le long de laquelle la densité d'énergie est uniforme, à partir d'un faisceau d'un laser fonctionnant en monomode ou en mélange de modes. On a déjà obtenu une ligne de focalisation ayant, sur sa longueur, une densité d'énergie presque constante, à 20 ou 30 % près, par focalisation par un simple miroir cylindrique d'un faisceau d'un laser fonctionnant en "multimode", parfois appelé "mode annulaire", c'est-à-dire dans lequel la densité d'énergie, dans une section du faisceau laser, est maximale suivant un cercle. On peut montrer que, pour certains mélanges de modes, l'intégration par rapport à un diamètre, c'est-à-dire par utilisation d'un miroir cylindrique, donne une répartition d'énergie relativement constante. Par exemple, la demande de brevet français n° 81.21 350 déposée le 13 novembre 1981 par le Demandeur montre comment on peut obtenir, dans une application particulière, une telle densité d'énergie relativement uniforme.

Cependant, on constate en pratique que, lorsqu'on

utilise régulièrement un générateur laser, il existe une certaine dérive des modes si bien que la répartition d'énergie varie dans une certaine mesure le long de la ligne de focalisation. On sait qu'il est plus difficile de reproduire

5 de manière fiable une répartition d'un mélange de modes qu'une répartition correspondant au mode fondamental ou en "monomode". On a donc cherché à obtenir une ligne de focalisation le long de laquelle la densité d'énergie est constante à partir d'un faisceau d'un générateur laser fonctionnant en monomode. On sait qu'un tel faisceau a une répartition gaussienne d'énergie. L'intégration du faisceau par rapport à un diamètre, c'est-à-dire à l'aide d'un miroir cylindrique, donne une ligne de focalisation le long de laquelle la densité d'énergie varie aussi suivant une gaussienne.

10
15

En conséquence, il serait souhaitable de disposer d'une optique qui, avant le miroir formant la ligne de focalisation, assure une répartition d'énergie dans le faisceau laser telle que, sur la ligne de focalisation, cette densité

20 d'énergie est constante. Les opticiens savent calculer de telles optiques, sous forme de miroir cylindrique dont la génératrice est perpendiculaire à la génératrice du miroir cylindrique utilisé pour la focalisation, mais on constate que les profils que doivent avoir ces miroirs ne peuvent

25 pas être fabriqués par les procédés classiques utilisés en optique. En effet, en optique, on utilise des surfaces réfléchissantes polies soit à plat soit avec une forme sphérique et éventuellement une forme parabolique. Cependant, ces opérations nécessitent, pour chaque forme, tout un jeu

30 d'outils spéciaux. En outre, il n'est pas possible de polir des surfaces autres que planes ou sphériques ou à la rigueur paraboliques, car il faut que les outils de polissage puissent être déplacés dans toutes les directions au-dessus de chaque point. Il n'est donc pas possible de réaliser normalement une surface réfléchissante de forme quelconque.

35

L'invention concerne la réalisation de miroir cylindrique ayant une surface réfléchissante dont la section

a une forme quelconque.

On connaît déjà quelques systèmes optiques dont la surface n'est ni plane ni sphérique. Par exemple, le brevet français n° 2 472 198 décrit un procédé selon lequel
5 une ébauche de verre est moulée et une de ses faces est polie soit sous forme plane soit sous forme sphérique. Ensuite, l'ébauche est soumise à une force, par exemple à l'application d'une dépression, provoquant une déformation globale de la plaque qui est convenablement retenue par ses bords.
10 Il s'agit d'optiques sphériques, et la déformation effectuée est extrêmement faible et correspond au maximum à quelques longueurs d'onde de la lumière.

La NASA a aussi mis au point un "miroir déformable" destiné à corriger les aberrations des images des planètes
15 et satellites observés par les sondes spatiales. Il s'agit d'un miroir dans lequel de nombreux organes piézoélectriques provoquent des déformations locales de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde de la lumière.

Ces procédés sont donc au mieux des procédés qui
20 provoquent une légère modification de la forme de la surface réfléchissante et qui ne donnent pas à celle-ci l'essentiel de sa courbure.

On connaît aussi des miroirs déformants utilisés par exemple dans les foires et attractions. Il s'agit en
25 général de plaques métalliques planes déformées de diverses manières afin qu'elles provoquent un grossissement ou une réduction. Ces miroirs ont une épaisseur constante et prennent des formes obtenues de façon assez aléatoire, bien que les déformations soient très importantes.

30 L'invention concerne la réalisation de miroir cylindrique par mise en oeuvre d'une déformation très importante des surfaces, correspondant à des centaines et des milliers de longueurs d'onde, avec cependant la précision nécessaire dans les systèmes optiques.

35 Plus précisément, lorsque l'opticien a déterminé la configuration de la surface de miroir cylindrique qu'il veut obtenir, l'invention lui permet de calculer la varia-

tion d'épaisseur que doit avoir une plaque afin que celle-ci, lorsqu'elle est soumise à des forces déterminées, prenne la configuration voulue. L'invention peut être mise en oeuvre soit par formation de la surface réfléchissante à
5 plat ou sous forme cylindrique de section droite circulaire alors que la surface est sous contrainte, puis utilisation du miroir alors que la surface n'est plus sous contrainte, soit par réalisation de la surface réfléchissante sous forme plane ou cylindrique de section droite circulaire
10 alors que la plaque n'est pas sous tension, et application de forces de déformation à la plaque lorsque celle-ci est en cours d'utilisation.

L'exemple particulier décrit en détail dans la suite du présent mémoire concerne ce second cas. Cependant,
15 l'invention s'applique aussi à la réalisation de la surface réfléchissante alors que la plaque utilisée est déformée, et son utilisation sans application de forces. En général, des forces sont appliquées lors de la réalisation de la surface réfléchissante et d'autres forces sont appliquées
20 lors de l'utilisation du miroir cylindrique.

Plus précisément, l'invention concerne un procédé de fabrication de miroir, du type qui comprend :

- la formation d'une plaque d'épaisseur variable déterminée, ayant des grandes faces,
- 25 - la formation d'une surface réfléchissante, comprenant un polissage d'une première grande face de la plaque, et

l'application de forces de déformation à la plaque soit pendant la formation de la surface réfléchissante, soit
30 pendant l'utilisation du miroir, soit à la fois pendant la formation de la surface réfléchissante et pendant l'utilisation du miroir, mais avec des intensités différentes provoquant des déformations différentes,
ce procédé étant tel que :

- 35 - la formation de la plaque d'épaisseur variable comprend la formation d'une plaque rectangulaire cylindrique dont la section par un plan perpendiculaire aux génératrices

des deux grandes faces est identique à elle-même,

- la formation d'une surface réfléchissante comprend le polissage de la première face qui est alors plane ou cylindrique de section droite circulaire, et

5 - l'application de forces de déformation comprend la coopération d'un organe de support et deux parties marginales de la plaque en direction sensiblement parallèle aux génératrices.

La formation d'une plaque d'épaisseur variable
10 est effectuée très avantageusement par usinage mécanique de la seconde face de la plaque. Cet usinage mécanique peut être réalisé avant ou après la formation de la surface réfléchissante sur la première face. L'usinage mécanique peut être réalisé par tout procédé convenable, par exemple par
15 fraisage, par rabotage, par usinage par électro-érosion, etc. En particulier, lors d'un fraisage, la plaque peut avoir une surface dont la variation d'épaisseur correspond à un profil à échelons, obtenu par exemple par commande numérique.

La formation d'une surface réfléchissante comporte
20 le polissage de la première face, par mise en oeuvre des procédés bien connus, de manière que la surface réfléchissante soit plane ou cylindrique de section droite circulaire.

L'application des forces de déformation peut être de différents types. Il peut s'agir d'application de forces
25 de flexion, exercées soit par encastrement des bords de la plaque, soit par application de forces avec un couteau. Cette application de forces peut cependant être de tout type, par exemple provoquant un flambage de la plaque ou au contraire un redressement de celle-ci lorsqu'elle a déjà
30 une forme courbe. Dans un mode de réalisation avantageux, la plaque a deux côtés parallèles aux génératrices qui sont encastres dans des organes de maintien, et des forces de rapprochement ou d'éloignement sont exercées sur les deux supports à distance de la plaque et en direction sensiblement
35 parallèle à la plaque et perpendiculaire aux génératrices.

L'invention concerne aussi des miroirs cylindriques réalisés par mise en oeuvre de ce procédé. Un tel miroir

comporte une plaque cylindrique rectangulaire d'épaisseur variable, dont la section par un plan perpendiculaire aux génératrices des deux grandes faces est identique à elle-même, deux organes de maintien fixés aux deux bords de la plaque qui sont parallèles aux génératrices, et un organe d'application de forces destiné à écarter ou rapprocher les deux organes de maintien à distance de la plaque. Il peut aussi s'agir simplement d'une plaque serrée entre deux organes analogues à des mors d'un étau.

10 Dans un mode de réalisation particulier, la plaque est réalisée par fraisage et a un profil à échelons.

L'invention concerne aussi un appareil d'irradiation destiné à former une ligne de focalisation. Un tel appareil comprend une source lumineuse formant un faisceau
15 ayant une faible divergence, par exemple un générateur laser, un miroir cylindrique correcteur, du type réalisé selon l'invention, et un miroir cylindrique de section droite circulaire, ayant une génératrice sensiblement perpendiculaire à la génératrice de la surface réfléchissante du miroir
20 correcteur, ce miroir cylindrique étant destiné à former une ligne de focalisation, le miroir correcteur étant réalisé de manière que, dans le plan de focalisation du miroir cylindrique, il assure une variation déterminée de la densité d'énergie le long de la ligne de focalisation. Dans un mode
25 de réalisation avantageux, le générateur laser fonctionne en mode fondamental, et le miroir correcteur est réalisé de manière que la densité d'énergie soit uniforme le long de la ligne de focalisation.

L'invention concerne aussi un appareil d'irradiation comprenant deux miroirs cylindriques correcteurs selon
30 l'invention, disposés avec des génératrices perpendiculaires l'une à l'autre et ayant un profil tel qu'ils donnent à un faisceau laser ayant une densité d'énergie variant de manière déterminée, par exemple au faisceau d'un laser fonctionnant en monomode, une répartition uniforme d'énergie dans
35 un plan déterminé. Les deux miroirs correcteurs peuvent être réalisés de la même manière, mais soumis à des forces dif-

férentes de déformation car lorsque la force appliquée varie, la position du plan dans lequel la correction de répartition d'énergie est réalisée se déplace, cette correction n'étant cependant pas affectée. En conséquence, 5 les deux miroirs peuvent être identiques et simplement soumis à des forces différentes de déformation.

Ainsi, l'invention permet, par mise en oeuvre essentiellement de techniques d'usinage mécaniques bien connues et très simples, la réalisation de miroirs ayant 10 des surfaces pratiquement quelconques, à un coût relativement faible. En effet, les problèmes posés d'une part par la formation d'une surface réfléchissante et d'autre part par la réalisation d'une forme particulière sont totalement découplés, la partie optique délicate étant réalisée 15 sur une première face dans des conditions simples alors que la partie de mise en forme qui peut être de type purement mécanique, est réalisée sur l'autre face.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront mieux de la description qui va suivre 20 d'exemples particuliers de mise en oeuvre, faite en référence au dessin annexé sur lequel :

la figure 1 est une perspective d'un miroir cylindrique correcteur réalisé selon l'invention ;

la figure 2 est une coupe suivant la ligne 2-2 de 25 la figure 1 ; et

la figure 3 est une coupe partielle très schématique d'un exemple de miroir à échelons réalisé selon l'invention.

La figure 1 est une perspective d'un exemple de 30 miroir correcteur de la répartition d'énergie suivant une ligne de focalisation formée par un miroir cylindrique de section droite circulaire, non représenté.

Le miroir correcteur représenté sur la figure 1 comporte une partie fixe 10 et une partie déformable 12. 35 La partie fixe 10 comporte essentiellement un tronçon de barre en U 14, portant à ses deux extrémités deux plaques rectangulaires 16 fixées par des vis 18. L'organe 14 et les

plaques 16 forment un tout rigide qui peut être monté sur un socle de support, etc. Deux trous taraudés 19 traversent les côtés d'organe 14 et sont tous deux formés suivant un même axe. Des vis 20 se logent dans ces trous taraudés 19.

5 La partie mobile 12 comporte d'abord la plaque déformable 22, d'épaisseur variable comme indiqué au milieu de la figure 2, et deux supports 24. Dans le mode de réalisation considéré, la plaque 22 a, sur ses bords, des trous dans lesquels passent des vis qui serrent des bar-
10 rettes 26 contre les barres 24, si bien que les bords de la plaque 22 sont pratiquement "encastrés" dans les organes de maintien 24, 26.

 L'ensemble mobile est porté par l'ensemble fixe par l'intermédiaire des deux vis 20. Des logements coniques
15 à 90° 28 sont formés dans les deux plaques 24 des organes de maintien et logent les extrémités arrondies 30 des deux vis 20. Ainsi, on note sur la figure 2 que le vissage des vis 20 dans les trous 19 provoque un écartement des parties extérieures ou hautes (sur la figure 2) des organes 24 qui
20 s'écartent à distance de la plaque 22. Celle-ci doit donc fléchir comme une charnière et prend alors une forme qui dépend de son épaisseur. Comme cette épaisseur varie, la forme prise par la plaque 22 varie. Le calcul permet facilement la détermination de la forme obtenue. L'exemple qui
25 suit le montre aisément.

 On note que la partie mobile n'est retenue que par les deux vis 20 qui permettent son pivotement autour de leur axe de rotation. La partie mobile aurait donc tendance à s'appuyer sur l'une des plaques 16 si elle n'était
30 retenue par quatre vis 32 (deux seulement sont représentées sur la figure 1) placées au-dessus et au-dessous des barrettes 26 et permettant le réglage de la position de la partie mobile autour de son axe de rotation passant par les vis 20.

35 On note en outre sur la figure 2 que des fentes 34 formées à proximité des bords de la plaque 22 sont destinées à souffler de l'air le long de cette plaque lors de

l'irradiation du miroir par un faisceau laser. Bien entendu, la fente 34 communique avec une chambre formée à l'intérieur de chaque plaque 16 et reliée par un canal 36 à une source convenable d'air comprimé. Le soufflage d'air assure
5 le refroidissement du miroir et empêche l'accumulation de saletés sur celui-ci. Un tel montage permet l'irradiation du miroir avec des densités d'énergie pouvant atteindre 2 500 à 3 500 W/cm².

La figure 3 représente un exemple très schématique de plaque 22 réalisée selon l'invention. On note qu'une
10 saillie 38 est délimitée par des échelons en face de la région 40 réellement irradiée lors de l'utilisation du miroir. Comme les échelons ont une très faible hauteur et comme les points médians des marches d'escalier formées par ces échelons
15 sont disposés sur la courbe théorique voulue de variation d'épaisseur, la partie réfléchissante utile 40 prend une forme pratiquement confondue avec la courbe théorique voulue.

Lors de la fabrication de la plaque 22, une plaque ayant une épaisseur légèrement supérieure à l'épaisseur
20 maximale de la plaque voulue est polie à plat sur une face. Ensuite, la face polie est collée sur un support rigide et l'autre face est usinée, par exemple par fraisage avec des échelons. Ensuite, la plaque est décollée et le polissage est terminé. La plaque est par exemple formée de cuivre recuit.

On n'a pas décrit le calcul de la variation d'épaisseur voulue pour la plaque. En effet, ce calcul dépend essentiellement de la manière dont les forces de déformation sont appliquées à la plaque. Bien qu'on ait décrit un "encastrement", la plaque peut être simplement serrée entre
25 deux mors ou elle peut ~~au contraire être~~ polie sous forme d'un cylindre de section droite circulaire puis étirée par ses bords, des parties d'épaisseur variable ayant évidemment été formées préalablement. La réalisation de la plaque par usinage dépend donc du mode prévu d'application de forces.
30 Elle dépend aussi évidemment de la matière utilisée. Bien entendu, il est préférable que celle-ci ait une homogénéité et une isotropie aussi grandes que possible. Cependant, on .

peut utiliser des matières ayant des propriétés présentant une anisotropie, une direction préférentielle étant alors parallèle ou perpendiculaire aux génératrices de préférence.

Dans un exemple d'application, on réalise un miroir cylindrique correcteur de la répartition d'énergie d'un faisceau d'un générateur laser monomode dont la répartition d'énergie est gaussienne et a un diamètre de 15 mm (à $1/e^2$). On veut obtenir une densité constante d'énergie sur une ligne de focalisation, formée par un miroir cylindrique auxiliaire de section droite circulaire, sur une longueur de 7 mm. Ce dernier miroir ayant une distance focale de 150 mm, on calcule les rayons de courbure en divers points de la surface, à partir du centre, afin que la ligne de focalisation ait une densité constante d'énergie lorsque le miroir correcteur se trouve à 300 mm en amont du miroir de focalisation. Le calcul montre que le rayon de courbure du miroir correcteur varie entre 1744 mm au centre et 451 mm à 13 mm du centre. A 5 mm du centre, le rayon de courbure est de 650 mm et à 10 mm du centre, il est de 460 mm. On calcule alors l'épaisseur d'une plaque 22 de laiton ayant une longueur de 60 mm entre les deux organes 24 d'encastrement. On calcule au centre une épaisseur de 2,90 mm. A 5 mm du centre, elle est de 1,97 mm. A 10 mm du centre, elle est de 1,63 mm. A 13 mm du centre, elle est de 1,53 mm. Ces valeurs ont été arrondies au centième près. On réalise alors la plaque par fraisage avec des échelons ayant des hauteurs (mesurées dans le sens de l'épaisseur de la plaque) de 4 centièmes de millimètre. La largeur de chaque échelon est calculée de manière que le centre de chaque échelon se trouve sur la courbe théorique voulue d'épaisseur.

Bien qu'on ait décrit l'application de l'invention à la formation d'une ligne de focalisation ayant une densité constante d'énergie sur sa longueur, l'invention est aussi très utile pour la réalisation d'une répartition uniforme d'énergie dans un plan. Plus précisément, on peut utiliser deux miroirs correcteurs ayant des plaques de même profil pour la correction, dans deux plans perpendiculaires,

de la répartition d'énergie d'un faisceau provenant d'un générateur laser fonctionnant en monomode par exemple de manière que la densité d'énergie soit constante.

Il faut aussi noter que les miroirs réalisés
5 selon l'invention sont des miroirs cylindriques. En conséquence, ils peuvent renvoyer le faisceau qu'ils reçoivent dans diverses directions comprises dans le plan qui contient leurs génératrices centrales et qui est perpendiculaire à la surface réfléchissante. Dans un tel plan, le
10 renvoi dans diverses directions, par exemple à 90° , n'introduit pas d'aberrations.

Un autre avantage des miroirs cylindriques selon l'invention est que la modification de l'intensité des forces de déformation provoque une modification de profil
15 qui déplace simplement le plan dans lequel la correction voulue est assurée. Bien entendu, cette caractéristique n'est obtenue que lorsque la matière de la plaque 22 est utilisée en-deçà de sa limite élastique. En effet, au-delà de cette limite élastique, il apparaît des déformations permanentes
20 dont il est alors difficile de tenir compte par le calcul.

Bien qu'on ait décrit certains modes d'application de forces de déformation, d'autres modes peuvent être utiles, par exemple l'application d'une surpression ou d'une dépression d'au moins un côté de la plaque.

En outre, on n'a pas décrit en détail la réalisation de la surface réfléchissante car les procédés connus conviennent de façon générale. Par exemple, la surface réfléchissante peut être formée par un revêtement convenable
25 d'un type bien connu des opticiens et qui dépend notamment
30 de la longueur d'onde de la lumière à réfléchir.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de fabrication d'un miroir, du type qui comprend :
- la formation d'une plaque d'épaisseur variable
 - 5 déterminée, ayant deux grandes faces,
 - la formation d'une surface réfléchissante, comprenant un polissage d'une première grande face de la plaque, et
 - l'application de forces de déformation à la plaque,
 - 10 soit pendant la formation de la surface réfléchissante, soit pendant l'utilisation du miroir, soit à la fois pendant la formation de la surface réfléchissante et pendant l'utilisation du miroir, mais avec des intensités différentes provoquant des déformations différentes,
 - 15 caractérisé en ce que :
 - la formation de la plaque d'épaisseur variable comprend la formation d'une plaque rectangulaire cylindrique (22) dont la section par un plan perpendiculaire aux génératrices des deux grandes faces est identique à elle-même,
 - 20 - la formation d'une surface réfléchissante comprend le polissage de la première face qui est alors plane ou cylindrique de section droite circulaire, et
 - l'application de forces de déformation comprend la coopération d'un organe de support et de deux parties
 - 25 marginales de la plaque (22) en direction sensiblement parallèle aux génératrices.
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la formation d'une plaque d'épaisseur variable (22) comprend l'usinage mécanique de la seconde face de la plaque.
- 30 3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que l'usinage mécanique est réalisé par fraisage, rabotage ou usinage par électro-érosion.
4. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que la formation de la plaque par usinage mécanique
- 35 comprend la formation d'une plaque ayant, sur la seconde face, un profil à échelons.
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications

précédentes, caractérisé en ce que la formation d'une surface réfléchissante comprend le polissage de la première surface alors qu'elle est plane.

5 6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'application de forces de déformation comprend l'encastrement des deux côtés de la plaque parallèlement aux génératrices dans deux organes de maintien (24, 26), et l'application de forces de rapprochement ou d'éloignement aux deux organes de maintien, à 10 distance de la plaque, en direction sensiblement parallèle à celle-ci et perpendiculaire aux génératrices.

7. Miroir cylindrique, caractérisé en ce qu'il est réalisé par mise en oeuvre d'un procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes et en ce qu'il com- 15 prend :

- une plaque cylindrique rectangulaire (22) d'épaisseur variable, de section par un plan perpendiculaire aux génératrices des deux faces qui est identique à elle-même,

- deux organes de maintien (24, 26) fixés aux deux 20 bords de la plaque et qui sont parallèles aux génératrices, et

- un organe (14, 20) d'application de forces destiné à écarter ou rapprocher les deux organes de maintien (24, 26) à distance de la plaque.

25 8. Miroir selon la revendication 7, caractérisé en ce que la plaque (22) a, à sa seconde face, un profil à échelons.

9. Appareil d'irradiation, caractérisé en ce qu'il comprend une source lumineuse formant un faisceau d'énergie 30 de faible divergence, et un miroir cylindrique réalisé par mise en oeuvre d'un procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6.

10. Appareil selon la revendication 9, caractérisé en ce que la source d'énergie est un générateur laser, ayant 35 un faisceau dont la répartition d'énergie dépend du mode de fonctionnement, l'appareil comporte en outre un miroir cylindrique de section droite circulaire destiné à former

une ligne de focalisation, et le miroir correcteur est réalisé de manière que, dans le plan de focalisation du miroir cylindrique, la variation de densité d'énergie le long de la ligne de focalisation ait une valeur déterminée.

- 5 11. Appareil selon la revendication 9, caractérisé en ce qu'il comprend un second miroir cylindrique correcteur, et l'épaisseur variable des miroirs correcteurs est calculée de manière que la densité d'énergie par unité de surface soit constante dans un plan déterminé.

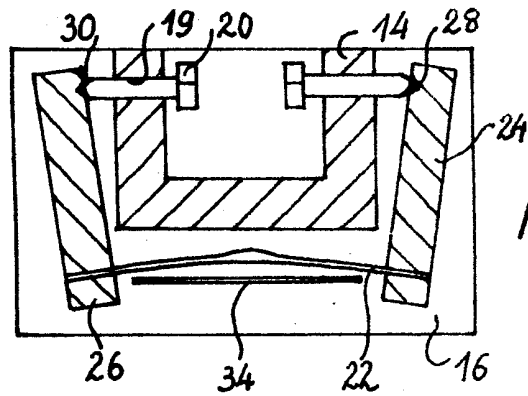


Fig. 2

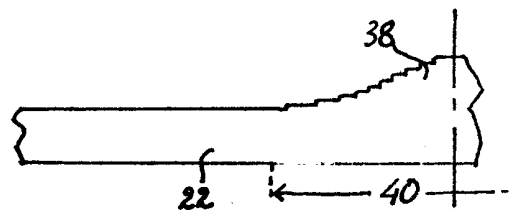


Fig. 3

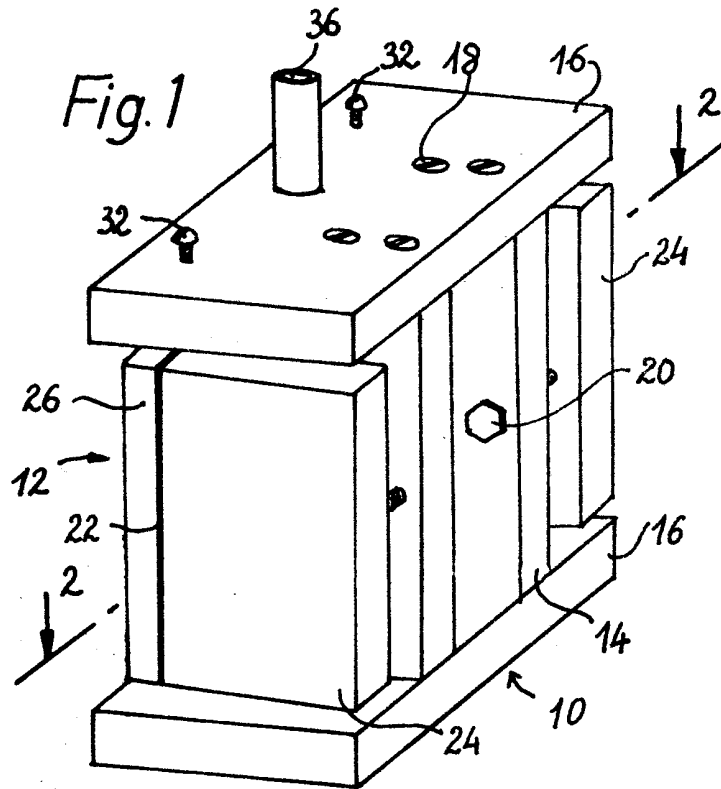


Fig. 1