

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

⑭ Date de dépôt : 21.05.91.

⑮ Priorité :

⑯ Date de la mise à disposition du public de la demande : 27.11.92 Bulletin 92/48.

⑰ Liste des documents cités dans le rapport de recherche : *Se reporter à la fin du présent fascicule.*

⑱ Références à d'autres documents nationaux apparentés :

⑲ Demandeur(s) : LASAG AG — CH.

⑳ Inventeur(s) : Limberger Hans, Tasev Emile, Rink Klaus et Delacrétaç Guy.

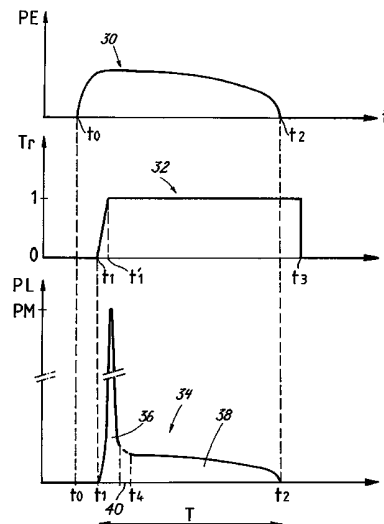
㉑ Titulaire(s) :

㉒ Mandataire : ICB c/o Cabinet Lalanne - Propriété Industrielle.

⑳ Dispositif laser pour l'ablation de matière sur des matériaux absorbant difficilement l'énergie lumineuse.

㉓ Système laser capable de fournir une série d'impulsions (34) ayant chacune une courbe de puissance présentant un pic initial (36) de puissance maximale (PM) relativement élevée, suivi d'un bloc d'énergie (38) pour faire une ablation de matière avec un bon rendement sur des matériaux solides absorbant difficilement l'énergie lumineuse.

Ce système laser a une alimentation pulsée et comprend des moyens d'obturation pour ouvrir et fermer optiquement le résonateur de ce système laser. Des moyens de commande sont prévus, afin de coordonner dans le temps l'alimentation (30) du milieu actif et l'ouverture (32) des moyens d'obturation, cette coordination temporelle étant programmée de telle manière que le début ( $t_1$ ) de l'ouverture du résonateur ait lieu pendant la période ( $t_0$  à  $t_2$ ) d'alimentation du milieu actif au cours de chaque cycle de fonctionnement.



FR 2 676 868 - A1



DISPOSITIF LASER POUR L'ABLATION DE MATIERE SUR DES MATERIAUX  
ABSORBANT DIFFICILEMENT L'ENERGIE LUMINEUSE

La présente invention est relative à un système laser capable de fournir une impulsion avec une courbe de puissance appropriée à une ablation de matière sur un matériau solide absorbant difficilement l'énergie lumineuse, notamment sur les matériaux diélectriques et  
5 les matériaux optiquement transparents.

La présente invention est destinée en particulier aux traitements dentaires nécessitant une ablation d'émail ou de dentine.

Une méthode connue pour obtenir une ablation de matière consiste à transformer localement la matière du matériau à traiter de son  
10 état solide en un état gazeux et/ou liquide dans lequel cette matière peut alors être éjectée hors de la région traitée.

Le rôle du faisceau laser est de fournir localement l'énergie nécessaire à ce changement d'état de la matière du matériau traité.

La quantité de matière enlevée à un matériau donné étant essentiellement fonction de l'énergie qu'il peut absorber sous forme  
15 d'énergie thermique, le problème essentiel qui se pose est donc un problème d'absorption de l'énergie lumineuse par le matériau, lorsque celui-ci absorbe faiblement l'énergie lumineuse. Dans un tel cas, on cherche généralement à augmenter la valeur du coefficient  
20 d'absorption de l'énergie lumineuse de la surface de travail sur laquelle arrive le faisceau laser incident.

Il est connu d'un article de J. Steffen, paru dans la revue *Feinwerktechnik und Messtechnik*, cahier 7, pages 309-356, Octobre 1979, qu'un pic de puissance suffisamment élevé est capable de  
25 transformer l'état de surface d'un matériau hautement réfléchissant ou transparent de manière à augmenter considérablement le coefficient d'absorption de celui-ci. Un pic de puissance suffisamment élevé engendre localement au niveau de la surface traitée une zone transitoire avec un coefficient d'absorption très élevé. Tant que  
30 cette zone transitoire est présente, elle sert de transformateur de l'énergie lumineuse incidente en énergie thermique, laquelle est alors transmise au matériau pour vaporiser et/ou liquéfier de la matière de la surface traitée de manière à enlever cette matière hors de cette région.

Pour traiter des milieux solides divers, en particulier des milieux transparents, cet article propose de travailler avec des impulsions lumineuses provenant d'un laser conformément au profil de l'impulsion laser IL représenté à la figure 1 des dessins annexés.

5 Ces impulsions ont un pic initial PI de puissance maximale PM suffisamment élevée (la densité de puissance du faisceau résultant étant de l'ordre de  $10^8$  W/cm<sup>2</sup>) pour changer le coefficient d'absorption dans la région de traitement à la surface du matériau traité, ce pic initial PI étant suivi par un bloc B d'une puissance moyenne

10 relativement plus faible que la puissance maximale PM du pic initial. Ce bloc B, finissant l'impulsion, fournit au matériau l'énergie nécessaire à l'ablation de matière grâce aux conditions d'absorption favorables engendrées par le pic initial. Toutefois, cet article n'est qu'un exposé théorique et ne propose aucune solution

15 technique concrète permettant d'engendrer des impulsions présentant le profil de la figure 1.

Pour obtenir une impulsion lumineuse avec un profil semblable à celui décrit dans l'article cité ci-dessus, il est connu d'un autre article de A. Michaelis et al., paru dans la revue Proc- SPIE, Vol. 1276, pages 231-242, 1990, un dispositif laser alimenté en continu

20 et dans lequel est incorporé une roue dentée hâchant le faisceau laser. Cette roue dentée sert à ouvrir et à fermer alternativement le résonateur du laser. Le dispositif laser proposé dans cet article engendre des impulsions lumineuses avec une fréquence relativement

25 élevée de 20 kHz, chaque impulsion ayant une durée d'environ 3  $\mu$ s.

La courbe de puissance de l'impulsion engendrée par ce dispositif laser correspond au profil de l'impulsion IL de la figure 1 et est donc caractérisée par un pic de puissance initial PI suivi d'un bloc B ayant une puissance moyenne nettement inférieure à la puissance maximale PM du pic initial PI.

30

La durée des ouvertures successives de la roue dentée se trouvant à l'intérieur du résonateur de ce laser est suffisante pour permettre d'obtenir un pic initial PI correspondant à un mode déclenché suivi d'un bloc B correspondant au mode continu du laser.

35 Le laser choisi pour obtenir une ablation de matière sans bavures lors d'une découpe sur de l'aluminium est du type CO<sub>2</sub> alimenté en continu. Ce dispositif permet d'obtenir avec une haute

fréquence des impulsions ayant un profil de puissance avec un pic initial, suivi d'un bloc de puissance moyenne nettement inférieure à la puissance maximale du pic initial. Cependant, il ne fournit que des impulsions avec une puissance maximale du pic de l'ordre de 8 kW et des énergies d'une valeur faible, la quantité d'énergie par impulsion étant seulement de l'ordre de 2 mJ.

Un tel niveau de puissance maximale du pic initial PI n'est pas suffisant pour permettre de travailler avec un rendement satisfaisant sur une surface circulaire de travail ayant un rayon de l'ordre de 100  $\mu\text{m}$  avec des matériaux absorbant difficilement l'énergie lumineuse. Pour cela, il faut par exemple une courbe de puissance avec un pic initial d'une puissance maximale de l'ordre de 250 kW, une durée caractéristique à mi-hauteur d'environ 200 ns et une énergie totale par impulsion d'environ 70 mJ correspondant à une puissance moyenne du bloc d'énergie d'environ 10 kW. L'auteur de cet article propose d'utiliser pour engendrer une telle impulsion un deuxième dispositif laser servant à amplifier le faisceau sortant du premier laser  $\text{CO}_2$  mentionné ci-avant.

Un tel dispositif, utilisant un laser du type  $\text{CO}_2$  alimenté en continu avec une roue dentée, présente plusieurs inconvénients. Premièrement, une fois la roue dentée installée dans une certaine position, les différents paramètres de la courbe de puissance de l'impulsion engendrée sont liés entre eux. En effet, une fois l'écartement entre deux dents de la roue dentée, la fréquence de rotation de cette dernière, ainsi que son rayon étant fixés, la durée pour ouvrir la cavité du résonateur optique est elle-même fixée et ainsi la puissance maximale PM du pic initial PI et la durée caractéristique à mi-hauteur de ce pic initial. Ensuite, la durée de l'impulsion et par conséquent la quantité d'énergie par impulsion sont elles-mêmes fixées. De plus, pour obtenir un pic initial avec une puissance maximale de l'ordre d'une centaine de kilowatts et une énergie totale de l'ordre de quelques dizaines de millijoules, l'article propose de faire appel à un deuxième laser servant d'amplificateur, ce qui rend le système onéreux et encombrant. Enfin, un tel dispositif n'est pas du tout approprié pour travailler à basse fréquence.

Il est également connu, d'un article de E. Kocher et al., paru dans la revue IEEE J. Quantum Elec., QE-8 No 2, pages 120-125,

février 1972, d'utiliser un laser solide du type Nd:YAG dans un mode pulsé relaxé pour obtenir des impulsions présentant un profil de puissance avec un pic initial PI suivi d'un bloc B de puissance moyenne sensiblement inférieur. Dans cet article, on propose de travailler avec un laser en mode pulsé relaxé, ajusté de telle manière que les pics de résonance survenant au début de l'impulsion lumineuse sortant du laser soient d'une amplitude significative. En particulier, le laser est ajusté de manière que le pic initial permette d'atteindre des densités de puissance de l'ordre de  $10^8$  W/cm<sup>2</sup>. Pour obtenir de telles densités de puissance du pic initial PI, ce document propose de restreindre le faisceau au seul mode fondamental afin d'obtenir une qualité du faisceau suffisante pour permettre une focalisation importante, cette focalisation réduisant le diamètre du faisceau laser à environ 40 µm. Une telle focalisation est nécessaire, étant donné que la puissance maximale du pic initial n'atteint qu'une valeur environ cinq fois supérieure à la puissance moyenne de l'impulsion. Ainsi, pour des énergies pouvant aller jusqu'à 200 mJ avec des durées d'impulsion comprises entre 100 µs et 1 ms, la puissance du pic initial PI n'est que d'environ 1 kW, alors que la puissance moyenne du bloc d'énergie B s'élève à 0,2 kW environ.

Cet article propose donc d'utiliser des propriétés dynamiques propres au milieu actif du système laser alimenté dans un mode pulsé pour produire les pics initiaux nécessaires au changement de l'absorption de la surface traitée, en particulier du saphir.

Un tel dispositif présente plusieurs inconvénients. Premièrement, la valeur de la puissance maximale PM du pic initial PI est directement liée à la puissance moyenne de l'impulsion IL, et elle dépend en plus de divers paramètres internes au système. Deuxièmement, la puissance maximale PM du pic initial PI étant relativement faible, il est nécessaire d'assurer une focalisation importante nécessitant un faisceau laser de haute qualité devant se restreindre au seul mode fondamental TEM<sub>00</sub>. Il en résulte une perte de la puissance disponible du laser et une surface de traitement sur le matériau réduite à un diamètre relativement petit. Enfin, le dispositif proposé travaillant avec une fréquence inférieure à 20 Hz et des durées d'impulsion inférieures à 1 ms, l'ablation de matière

résultante ne provient selon cet article que de la matière vaporisée.

5 Le but de la présente invention est de pallier les inconvénients des dispositifs cités ci-dessus en fournissant un dispositif laser permettant d'engendrer des impulsions laser dont le profil général est celui de la courbe représentée à la figure 1, mais dont le profil de puissance peut facilement être ajusté pour le traitement spécifique des matériaux absorbant difficilement l'énergie lumineuse, en particulier les matériaux diélectriques, et ceci moyennant un laser dont la puissance d'alimentation est relativement faible tout  
10 en assurant pourtant un rendement élevé pour l'ablation de matière par impulsion.

La présente invention a donc pour objet un dispositif laser, destiné à engendrer des impulsions lumineuses successives, notamment  
15 pour l'ablation de matière sur des matériaux solides absorbant difficilement l'énergie lumineuse, comprenant un résonateur optique définissant une cavité dans laquelle est incorporé un milieu actif, des moyens d'excitation disposés pour exciter ledit milieu actif, une source d'énergie reliée auxdits moyens d'excitation et servant d'alimentation pour ces moyens d'excitation, des premiers moyens de  
20 commande servant à déterminer, au cours d'un cycle de fonctionnement du dispositif laser la période d'alimentation desdits moyens d'excitation de manière à exciter ledit milieu actif durant un premier intervalle de temps, le dispositif laser étant caractérisé en ce qu'il comprend des moyens d'obturation pour au moins partiellement  
25 ouvrir et fermer optiquement ledit résonateur, des deuxièmes moyens de commande servant à déterminer, au cours dudit cycle de fonctionnement du dispositif laser, l'instant d'ouverture et l'instant de fermeture de ladite cavité, ce qui définit un deuxième intervalle de temps, les deuxièmes moyens de commande étant coordonnés dans le  
30 temps avec lesdits premiers moyens de commande de manière que le début dudit deuxième intervalle de temps soit situé à l'intérieur dudit premier intervalle de temps.

Grâce à ces caractéristiques, on détermine pendant chaque cycle  
35 de fonctionnement du dispositif laser une période durant laquelle on augmente considérablement l'inversion de population dans le milieu actif pour déclencher à la fin de cette période un pic initial PI

(figure 1) dont la puissance maximale PM peut être plusieurs ordres de grandeur supérieure à la puissance moyenne du bloc B de l'impulsion laser IL. On obtient ainsi un profil de puissance du pic initial PI permettant de transformer l'état de la surface du matériau à traiter de manière à augmenter considérablement le coefficient d'absorption de cette surface.

De plus, le bloc d'énergie B de l'impulsion laser IL, survenant après le pic initial PI, présente une puissance moyenne suffisamment élevée, ce qui permet d'obtenir un bon rendement pour l'ablation de matière par impulsion.

Un avantage majeur du dispositif laser selon l'invention réside dans sa grande flexibilité. En particulier, la puissance maximale PM du pic initial de puissance PI peut être ajustée de manière sensiblement indépendante de l'énergie de l'impulsion engendrée et de la puissance moyenne du bloc d'énergie B. Les paramètres caractéristiques de chaque impulsion IL, comme par exemple la puissance maximale PM du pic initial PI, la puissance moyenne du bloc d'énergie B qui suit le pic initial, ainsi que la durée T de l'impulsion IL peuvent être ajustées de manière sensiblement indépendante dans les limites imposées par le laser utilisé et en particulier par les moyens d'alimentation de ce laser.

Le dispositif de la présente invention permet de fournir des impulsions recouvrant une gamme étendue de paramètres caractéristiques de l'impulsion décrite ci-dessus, puisque ce dispositif est susceptible d'être appliqué à n'importe quel type de laser ayant une alimentation du type pulsé.

L'alimentation pulsée permet de concentrer l'énergie disponible de manière à obtenir un bloc d'énergie B dont la puissance moyenne sur la durée du bloc est bien plus élevée que celle que l'on obtiendrait avec un laser alimenté à la même puissance, mais fonctionnant dans un mode continu. Une alimentation pulsée permet de travailler avec des fréquences relativement basses sans perdre d'énergie, puisque celle-ci est transmise au milieu actif seulement de manière concentrée durant un intervalle de temps approprié à l'impulsion résultante recherchée.

La coordination dans le temps entre l'ouverture de l'obturateur optique et le début de l'excitation du milieu actif a pour conséquence la mise en oeuvre de deux modes de fonctionnement différents.

Comme l'ouverture de l'obturateur est prévue pendant la période d'excitation du milieu actif, le pic initial PI correspond à un mode pulsé déclenché, lequel est suivi rapidement par un bloc d'énergie B correspondant à un mode pulsé relaxé. On choisira donc une alimentation pulsée appropriée à l'énergie et au profil de puissance de l'impulsion recherchée, en particulier pour ce qui concerne la durée d'excitation du milieu actif avant le déclenchement du pic initial PI.

On remarquera que, dans le cas de l'invention, le mode pulsé déclenché ne correspond pas à un mode pulsé déclenché habituel, dont le but est de fournir un pic de puissance élevé avec une efficacité maximale. Un mode pulsé déclenché habituel est ajusté de telle manière que seul un pic de puissance atteignant la puissance maximale  $P_0$  constitue l'impulsion résultante sortant du laser utilisé, l'énergie de cette impulsion résultante ayant une valeur fixe déterminée par le laser utilisé. Dans le dispositif laser selon l'invention, on ne cherche pas à atteindre la puissance maximale  $P_0$  pour le dispositif laser utilisé, mais un pic de puissance maximale  $P_M$  atteignant une valeur comprise par exemple dans la plage  $P_0/3$  à  $P_0/2$ . Pour ajuster la valeur de la puissance maximale du pic initial, il est possible et même avantageux de travailler sur l'intervalle de temps séparant les débuts des premier et deuxième intervalles de temps définis ci-dessus, ainsi que sur la durée pour ouvrir l'obturateur.

Dans le cas du traitement de certains diélectriques, comme l'émail ou la dentine, il peut être recommandé de travailler avec des impulsions à relativement haute énergie (0,2 à 10 J), mais survenant avec une basse fréquence (1 à 100 Hz). Dans certains cas, une durée d'interaction relativement élevée (pouvant atteindre quelques millisecondes) entre l'impulsion lumineuse produite et la matière peut être importante, voire décisive pour le taux d'ablation de matière par impulsion. En plus, avec des matériaux comme l'émail, il faut des densités de puissance relativement élevées ( $10^8$  à  $10^9$  W/cm<sup>2</sup>) pour la puissance maximale  $P_M$  du pic initial PI nécessaire au changement d'état de surface permettant une augmentation considérable de l'absorption de l'énergie lumineuse incidente. La souplesse du dispositif laser fourni par l'invention permet

d'obtenir toutes ces caractéristiques avantageuses à l'aide d'un système efficace, fiable et relativement peu onéreux.

L'invention sera mieux comprise à l'aide de la description qui va suivre et des dessins qui l'illustrent à titre d'exemple. Sur ces  
5 dessins :

- la figure 1 représente schématiquement le profil général d'une courbe de puissance d'une impulsion lumineuse permettant d'obtenir l'ablation de matière;

10 - la figure 2 montre schématiquement diverses unités essentielles du dispositif laser selon l'invention;

- la figure 3 montre schématiquement la coordination dans le temps entre l'impulsion d'excitation du milieu actif et l'instant d'ouverture de l'obturateur optique, ainsi que l'impulsion lumineuse résultante à la sortie du dispositif selon l'invention;

15 - la figure 4 représente schématiquement un mode de réalisation préféré du dispositif laser selon l'invention.

On va tout d'abord se référer à la figure 1 pour décrire le profil général d'une impulsion ayant un profil de puissance avantageux pour l'ablation d'une matière absorbant difficilement l'énergie lumineuse. Le dispositif laser selon l'invention produit donc des  
20 impulsions lumineuses ayant ce profil général avec une fréquence  $f$ , mais avec des valeurs pour les paramètres déterminants particulièrement appropriées pour traiter des matériaux absorbant difficilement l'énergie lumineuse, comme les matériaux diélectriques.

25 En effet, grâce à l'invention, chaque impulsion commence par un pic initial PI de puissance maximale PM suffisamment élevée pour obtenir des densités de puissance du faisceau laser de l'ordre de  $10^8$  à  $10^9$  W/cm<sup>2</sup> sur une surface circulaire ayant par exemple un rayon de l'ordre de 100  $\mu$ m.

30 Après une très courte période transitoire PT suit un bloc B de puissance moyenne sensiblement inférieure à la puissance maximale PM du pic initial PI et d'une durée variable. La puissance maximale PM du pic initial PI peut par exemple avoir une valeur 50 à 500 fois plus élevée que la puissance moyenne du bloc d'énergie qui suit ce  
35 pic initial PI. De manière nullement restrictive, quelques plages pour certaines valeurs caractéristiques de ces impulsions pouvant être engendrées par le dispositif selon l'invention sont :

	Puissance moyenne du bloc B	= 0,5 kW à 20 kW;
	Energie du bloc B	= 10 mJ à 50 J;
	Durée du bloc B	= 10 $\mu$ s à 20 ms;
	Puissance maximale PM du pic PI	= 10 kW à 1 MW;
5	Energie du pic PI	= 20 $\mu$ J à 100 mJ;
	Durée du pic PI	= 15 ns à 2 $\mu$ s;
	Fréquence f des impulsions	= 1 à 100 Hz.

Il est clair que toutes ces plages de valeurs données à titre d'exemple dépendent du type de laser utilisé et spécialement de la puissance instantanée de la source d'énergie alimentant les moyens d'excitation du milieu actif du dispositif laser selon l'invention. On remarque ainsi tout de suite d'après les valeurs indiquées ci-dessus la grande souplesse du dispositif proposé et des nombreux domaines d'applications possibles, même autres que ceux concernant spécifiquement l'ablation de matière sur des matériaux absorbant difficilement l'énergie lumineuse.

En se référant à la figure 2, on décrira ci-après un schéma général du dispositif laser selon l'invention. Ce dispositif comprend un milieu actif 10 excité par des moyens d'excitation 12. Ces moyens d'excitation 12 sont placés à proximité du milieu actif 10 de manière à pouvoir lui transmettre l'énergie d'excitation. Ces moyens d'excitation 12 sont eux-mêmes reliés à une source d'énergie 14 fournissant l'énergie nécessaire aux moyens d'excitation qui eux-mêmes transmettent cette énergie sous une forme appropriée au milieu actif 10.

Le milieu actif 10 est inséré à l'intérieur d'une cavité 16 d'un résonateur optique comprenant un premier miroir 18 de fond de cavité, ce miroir ayant une haute réflectivité, et un deuxième miroir 20 servant de miroir de sortie de la cavité 16, ce miroir étant semi-transparent. A l'intérieur de la cavité 16 du résonateur optique sont également disposés des moyens d'obturation 22 de la cavité 16 du résonateur optique, lesquels servent à ouvrir et à fermer au moins partiellement celui-ci.

Ces moyens d'obturation 22 sont reliés à des moyens de commande 24 qui servent à déterminer les instants d'ouverture et de fermeture optique du résonateur. Ces derniers moyens de commande 24 sont eux-mêmes associés à des moyens de commande 26 qui assurent, pendant

chaque cycle de fonctionnement du dispositif, l'alimentation en mode pulsé des moyens d'excitation 12 du milieu actif 10 par la source d'énergie 14. Les moyens de commande 24 sont coordonnés dans le temps avec les moyens de commande 26.

5 De la coordination dans le temps entre ces deux moyens de commande 24, 26 résultent des impulsions lumineuses 28 à la sortie du dispositif laser, ces impulsions lumineuses sortant avec une fréquence  $f$  et ayant chacune une forme générale équivalant à la forme décrite par la figure 1.

10 On va maintenant examiner la coordination temporelle régissant le fonctionnement des moyens de commande 24, 26 à l'aide de la figure 3.

Cette figure 3 représente trois graphes a, b et c dont les abscisses représentent le temps  $t$ .

15 Dans le graphe supérieur a est tracée à titre d'exemple une impulsion 30 provenant des moyens d'excitation 12 du milieu actif 10. En ordonnée est représentée la puissance PE sous laquelle le milieu actif est excité par les moyens d'excitation 12.

20 Sur le deuxième graphe b est représenté schématiquement le comportement temporel 32 des moyens d'obturation 22 du résonateur optique 16. En ordonnée est représenté le taux de transparence  $Tr$  des moyens d'obturation 22. Le taux 0 correspond à une fermeture optique du résonateur, alors que le taux 1 correspond à une ouverture du résonateur optique. On notera que ces états 0 et 1 ne doivent pas correspondre nécessairement à des taux de transmission de 0% et de 100%. On notera également que le passage de l'état fermé 0 à l'état ouvert 1 n'est pas instantané, l'ouverture optique du résonateur demandant un certain intervalle de temps  $t_1$  à  $t_1'$  variable selon la programmation des moyens de commande 24 des moyens d'obturation 22. Par ailleurs, des mécanismes d'ouverture pas-à-pas sont aussi envisageables.

30 Sur le graphe inférieur c est représenté une impulsion lumineuse 34 sortant du dispositif laser selon l'invention avec en ordonnée la puissance lumineuse PL de cette impulsion.

35 Les trois échelles de temps représentées sur les trois graphes a, b et c de cette figure 3 sont identiques.

Au temps  $t_0$  commence l'excitation du milieu actif 10 par les moyens d'excitation 12 qui sont alimentés en énergie par la source d'énergie 14, le déclenchement de cette alimentation étant commandé par les moyens de commande 26. L'impulsion d'excitation 30 dure pendant une certaine période allant de  $t_0$  à  $t_2$  définissant ainsi un premier intervalle de temps.

Après un deuxième intervalle de temps allant de  $t_0$  à  $t_1$  plus court que le premier intervalle de temps  $t_0$  à  $t_2$ , les moyens d'obturation 22, commandés par les moyens de commande 24, ouvrent le résonateur au temps  $t_1$ . Le passage de l'état fermé à l'état d'ouverture dure un certain intervalle de temps allant de  $t_1$  à  $t_1'$ . La relation temporelle entre le début  $t_0$  de l'excitation du milieu actif 10 opéré par les moyens de commande 26 et le début de l'ouverture optique du résonateur opérée par les moyens de commande 24 présente donc la caractéristique essentielle suivante : le début  $t_1$  de l'ouverture du résonateur a lieu après le début  $t_0$  de l'excitation du milieu actif par les moyens d'excitation 12, et la fin  $t_3$  de l'ouverture a lieu postérieurement au temps  $t_2$  correspondant à la fin de l'impulsion d'excitation 30. Cependant, la fin de l'ouverture peut également avoir lieu antérieurement au temps  $t_2$ .

Cette caractéristique essentielle de l'invention donne une impulsion lumineuse 34 de la forme représentée sur le graphe c de la figure 3. En effet, l'ouverture du résonateur ayant lieu au temps  $t_1 > t_0$ , il résulte à la sortie du dispositif laser un pic initial 36 de puissance maximale PM relativement élevée. Ce pic initial 36 correspond essentiellement à un mode pulsé déclenché. Cependant, on notera que ce mode pulsé déclenché, engendré par le dispositif selon l'invention, ne correspond pas à un mode pulsé déclenché classique, car l'ouverture du résonateur par les moyens d'obturation 22 a lieu bien avant le temps  $t_2$  marquant la fin de l'excitation du milieu actif. Ceci a pour effet que le pic initial 36 correspondant sensiblement à un mode pulsé déclenché est alors suivi rapidement par un bloc 38 d'une puissance moyenne très nettement inférieure à la puissance maximale PM du pic initial. Ce bloc 38 comprend la majeure partie de l'énergie de l'impulsion lumineuse 34 et correspond à un mode pulsé relaxé du dispositif laser. La durée de l'impulsion 34

ainsi engendrée à la sortie du dispositif laser est très sensiblement égale à l'intervalle de temps séparant les instants  $t_1$  et  $t_2$ .

Le dispositif laser selon l'invention est donc conçu de manière à assurer une alimentation pulsée du milieu actif, dont la durée de l'impulsion d'excitation 30 est suffisamment longue pour permettre conjointement que l'impulsion résultante 34, engendrée à la sortie du dispositif laser, comprenne d'une part, un pic initial 36 de puissance maximale PM relativement élevée correspondant à un mode pulsé déclenché pendant la période d'excitation du milieu actif et, d'autre part, un bloc d'énergie 38, d'une durée variable dépendant des temps  $t_2$  et  $t_3$ , qui correspond à un mode pulsé relaxé. On notera cependant que le mode pulsé relaxé du dispositif laser selon l'invention n'est pas classique. En effet, le caractère relaxé ne concerne que la deuxième partie de l'impulsion d'excitation 30 du milieu actif 10 (c'est-à-dire l'intervalle de temps  $t_4$  à  $t_2$ , si  $t_3 > t_2$ ).

Au cours d'une impulsion, le passage du mode pulsé déclenché au mode pulsé relaxé nécessite un court intervalle de temps de transition 40. Cependant, le profil de puissance durant ce court intervalle de temps 40 n'a aucune incidence sur les applications possibles de la présente invention.

A titre d'exemple uniquement pour un dispositif laser du type Nd:YAG, la valeur  $(t_1 - t_0)$  peut être comprise entre 1  $\mu$ s et 200  $\mu$ s, alors que respectivement  $(t_2 - t_1)$  a une valeur comprise entre 10  $\mu$ s et 20 ms.

En se référant à la figure 4, on décrira ci-après un mode de réalisation préféré du dispositif laser selon l'invention. Il comprend un résonateur optique définissant une cavité 48, à l'intérieur de laquelle se trouve un barreau de cristal solide 50, comme pour un dispositif laser Nd:YAG, servant de milieu actif et une lampe flash ou série de diodes laser 52 servant de moyen d'excitation du milieu actif 50, cette lampe flash ou ces diodes 52 étant reliées à un accumulateur 54 d'énergie électrique servant de source d'énergie. L'alimentation de la lampe flash est commandée par un circuit 56 de commande de la décharge de l'énergie électrique, accumulée dans la source d'énergie, dans la lampe flash 52 au moyen d'un interrupteur 58.

La cavité 48 du résonateur optique de ce dispositif laser est définie spatialement par deux miroirs, un premier miroir 60 à haute réflectivité servant de miroir de fond de cavité, alors qu'un second miroir 62 semi-transparent sert de miroir de sortie. A l'intérieur de la cavité 48 sont insérés divers éléments optiques, à savoir un diaphragme 64, un polariseur 66, une lame quart d'onde 68 ainsi qu'une cellule de Pockels 70, qui de façon connue est un moyen électro-optique servant d'obturateur optique du résonateur. Cette cellule de Pockels 70 est reliée à une source de tension 72 au moyen d'un circuit électrique 74, dans lequel est inséré un interrupteur 76, lui-même relié à un circuit 78 de commande de l'ouverture optique du résonateur. Ce circuit de commande 78 est relié au circuit de commande 56 de manière à mettre en oeuvre la coordination temporelle décrite ci-dessus. On remarquera que les deux circuits de commande 56 et 78 peuvent être assemblés dans une seule et même unité électronique.

Une onde lumineuse produite dans le milieu actif 50 et se dirigeant vers le miroir de fond de cavité 60, rencontre d'abord le diaphragme 64. Une fois le trou 72 du diaphragme traversé, cette onde lumineuse rencontre le polariseur 66. Après avoir traversé le polariseur, cette onde lumineuse rencontre le cristal 74 de la cellule électro-optique de Pockels 70. Ensuite, avant d'être réfléchi sur le miroir de fond de cavité 60, l'onde lumineuse traverse la lame quart d'onde 68. Une fois réfléchi sur le miroir de fond de cavité 60, l'onde lumineuse refait le même chemin optique en sens inverse. Si les moyens d'obturation optique du résonateur optique sont fermés, l'onde lumineuse est bloquée par le polarisateur 66 sur son chemin de retour. Si par contre, les moyens d'obturation optique sont ouverts, l'onde lumineuse traverse à nouveau le trou 72 du diaphragme 64, puis elle atteint finalement le miroir 62 de sortie de la cavité. Avec une probabilité correspondant au coefficient de transparence de ce miroir 62, elle sort de la cavité 48 du résonateur optique. Sinon, elle est réfléchi et repart en direction du milieu actif 50.

Les moyens d'obturation permettant d'ouvrir et de fermer le résonateur comprennent essentiellement les éléments suivants : le polariseur 66, la cellule électro-optique de Pockels 70 et la lame

quart d'onde 68. Il est prévu que la direction de polarisation imposée par le polariseur 66 à l'onde lumineuse soit identique à la direction d'un axe du cristal 74 de la cellule électro-optique 70. Ainsi, lorsqu'aucune tension n'est appliquée au cristal 74 de cette cellule électro-optique 70, une onde lumineuse sortant du polariseur 5 66 et se dirigeant vers le cristal 74 traversera celui-ci sans subir aucune modification. Après avoir traversé le cristal 74, l'onde se dirigera vers la lame quart d'onde 68 qui changera sa polarisation en une polarisation circulaire. Une fois réfléchie sur le miroir de 10 fond de cavité 60, cette onde polarisée circulairement traversera de nouveau dans le sens inverse la lame quart d'onde 68. Ainsi, à la sortie de cette lame 68, la polarisation de l'onde lumineuse sera à nouveau linéaire, mais décalée angulairement de  $90^\circ$  par rapport à la polarisation initiale qu'elle avait à la sortie du polariseur 66. Si 15 aucune tension n'est encore appliquée à la cellule électro-optique 70, l'onde lumineuse traversera à nouveau, dans le sens inverse, le cristal 74 de cette cellule sans subir aucune modification. Finalement, l'onde lumineuse arrivera au niveau du polariseur 66 avec une polarisation décalée angulairement de  $90^\circ$  par rapport à la direction de polarisation imposée par ce polariseur. Ainsi, l'onde lumineuse 20 sera retenue par le polariseur 66. Les moyens d'obturation du résonateur sont alors à l'état fermé.

Par contre, si une tension suffisamment élevée est appliquée à la cellule électro-optique 70, l'onde lumineuse sortant du polariseur 25 66 et se dirigeant vers le cristal 74 de la cellule électro-optique 70 subira une modification de sa polarisation, de manière que la polarisation de l'onde lumineuse à la sortie du cristal 74 soit circulaire. Ensuite, cette onde lumineuse, en traversant la lame quart d'onde 68, aura une polarisation linéaire décalée angulairement de  $90^\circ$ . Après réflexion sur le miroir de fond de cavité 30 60, cette onde traversera à nouveau la lame quart d'onde 68 qui lui donnera une polarisation circulaire. Ensuite, cette onde lumineuse, en traversant à nouveau le cristal 74 de la cellule électro-optique 70, subira à nouveau une modification, de telle sorte que la polarisation résultante soit une polarisation linéaire décalée angulairement de  $180^\circ$ . Dans ce cas, l'onde lumineuse en recontrant le polariseur 35 66 sur son chemin de retour aura une direction de polarisation

correspondant à la direction imposée par ce polariseur 66. L'onde lumineuse pourra alors traverser le polariseur 66 et continuer son chemin optique. Dans ce cas, les moyens d'obturation optique du résonateur sont ouverts.

5 On voit donc que le résonateur est ouvert lorsqu'une tension suffisamment élevée est appliquée au cristal 74 de la cellule électro-optique 70. Par contre, lorsqu'aucune tension n'est appliquée au cristal 74, le résonateur est fermé.

10 L'ouverture et la fermeture du résonateur au moyen de la source de tension 72 appliquée au cristal 74 sont commandées par le circuit 78 de commande de l'ouverture du résonateur au moyen d'un interrupteur 76. Il est à remarquer que le passage d'un niveau de tension nul aux bornes de la cellule électro-optique 70 à la haute tension, permettant une ouverture du résonateur, n'est pas forcément instan-  
15 tanté. En effet, ce passage demande généralement une certaine durée appelée durée d'ouverture de l'obturateur. Dans ce dispositif est prévu une électronique permettant de régler cette durée d'ouverture, car elle joue un rôle dans la détermination de la puissance maximale PM du pic initial PI de l'impulsion lumineuse IL, ainsi que la durée  
20 caractéristique à mi-hauteur de ce pic initial. En plus, cette durée d'ouverture de l'obturateur joue un rôle sur le profil de puissance de la zone transitoire 40 évoquée dans la description de la figure 3. Pour chaque profil de puissance d'une impulsion spécifique, la durée d'ouverture de l'obturateur sera donc réglée de manière  
25 optimale dans le dispositif laser selon l'invention. La cellule électro-optique de Pockels assure une bonne flexibilité pour l'ajustement de cette durée d'ouverture.

30 Le circuit de commande 78 de l'ouverture et de la fermeture du résonateur ainsi que les moyens de commande 56 de l'alimentation de la lampe flash ou des diodes laser 52 sont conçus de manière à permettre une évolution des divers paramètres temporels déterminants du dispositif laser selon l'invention. Cette évolution pourra être commandée par un programme prédéfini ou par un utilisateur. On remarquera finalement qu'un tel système permet un ajustement indé-  
35 pendant des divers paramètres temporels déterminants, à savoir le début  $t_0$  de l'excitation du milieu actif 50 par la lampe flash 52, la durée  $t_2 - t_0$  de cette période d'excitation, le début  $t_1$  de

l'ouverture de l'obturateur, le temps  $t_3$  marquant la fermeture de cet obturateur, ainsi que la durée 40 définie par l'intervalle de passage d'une tension nulle à une tension suffisamment élevée appliquée aux bornes de la cellule électro-optique 70 pour permettre  
5 un changement de polarisation des ondes lumineuses traversant le cristal 74, ce cristal jouant alors le rôle d'une lame quart d'onde.

REVENDEICATIONS

1. Dispositif laser, destiné à engendrer des impulsions lumineuses (28; 34) successives, notamment pour l'ablation de matière sur des matériaux solides absorbant difficilement l'énergie lumineuse, comprenant un résonateur optique définissant une cavité (16; 48) dans laquelle est incorporé un milieu actif (10; 50), des moyens d'excitation (12; 52) disposés pour exciter ledit milieu actif, une source d'énergie (14; 54) reliée auxdits moyens d'excitation et servant d'alimentation pour ces moyens d'excitation, des premiers moyens de commande (26; 56) servant à déterminer, au cours d'un cycle de fonctionnement du dispositif laser, la période d'alimentation desdits moyens d'excitation de manière à exciter ledit milieu actif (10; 50) durant un premier intervalle de temps ( $t_0$  à  $t_2$ ), le dispositif laser étant caractérisé en ce qu'il comprend des moyens d'obturation (22; 66, 68, 70) pour au moins partiellement ouvrir et fermer optiquement ledit résonateur optique, des deuxièmes moyens de commande (24; 78) servant à déterminer, au cours dudit cycle de fonctionnement du dispositif laser, l'instant d'ouverture ( $t_1$ ) et l'instant de fermeture ( $t_3$ ) dudit résonateur optique, ce qui définit un deuxième intervalle de temps ( $t_1$  à  $t_3$ ), les deuxièmes moyens de commande étant coordonnés dans le temps avec lesdits premiers moyens de commande de manière que le début ( $t_1$ ) dudit deuxième intervalle de temps ( $t_1$  à  $t_3$ ) soit situé à l'intérieur dudit premier intervalle de temps ( $t_0$  à  $t_2$ ).

2. Dispositif laser selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit instant ( $t_3$ ) de fermeture dudit résonateur optique a lieu après la fin ( $t_2$ ) de l'excitation (30) dudit milieu actif (10; 50).

3. Dispositif laser selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que lesdits moyens d'obturation (22; 66, 68, 70) comprennent des moyens électro-optiques (70).

4. Dispositif laser selon la revendication 3, caractérisé en ce que lesdits moyens électro-optiques (70) comprennent une cellule de Pockels et en ce que lesdits moyens d'obturation comprennent une lame quart d'onde (68).

5. Dispositif laser selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'un polariseur (66) et un diaphragme (64) sont incorporés dans la cavité (48) dudit résonateur optique.

5 6. Dispositif laser selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que lesdits premiers moyens de commande (26; 56) et lesdits deuxièmes moyens de commande (24; 78) forment une seule et même unité électronique.

10 7. Dispositif laser selon la revendication 6, caractérisé en ce que chacune desdites impulsions lumineuses (28; 34) présente un profil de puissance avec un pic initial (36) de puissance maximale (PM) relativement élevée, suivi par un bloc (38) de puissance moyenne inférieure à ladite puissance maximale (PM), ce bloc contenant la majeure partie de l'énergie lumineuse de l'impulsion lumineuse.

15 8. Dispositif laser selon la revendication 7, caractérisé en ce que ledit pic initial (36) a une puissance maximale (PM) comprise entre 10kW et 1MW, une énergie comprise entre 20  $\mu$ J et 100 mJ et/ou une durée comprise entre 15 ns et 2  $\mu$ s.

20 9. Dispositif laser selon la revendication 7 ou 8, caractérisé en ce que ledit bloc (38) a une puissance moyenne comprise entre 0,5 kW et 20 kW, une énergie comprise entre 10 mJ et 50J et/ou une durée comprise entre 10  $\mu$ s et 20 ms.

25 10. Dispositif laser selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que le dispositif est du type Nd:YAG alimenté en mode pulsé.

30 11. Dispositif laser selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que lesdites impulsions lumineuses (28; 34) successives présentent chacune un profil de puissance variable au cours d'une même série.

35

35

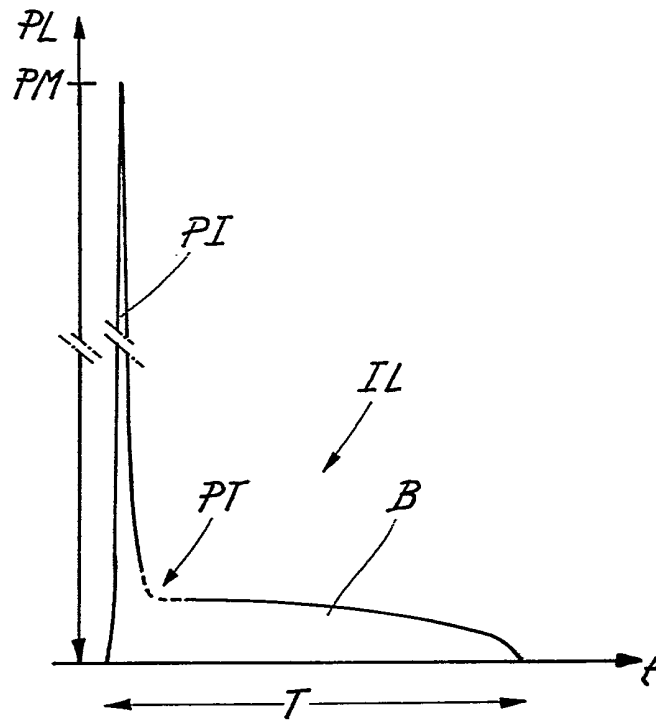


Fig. 1

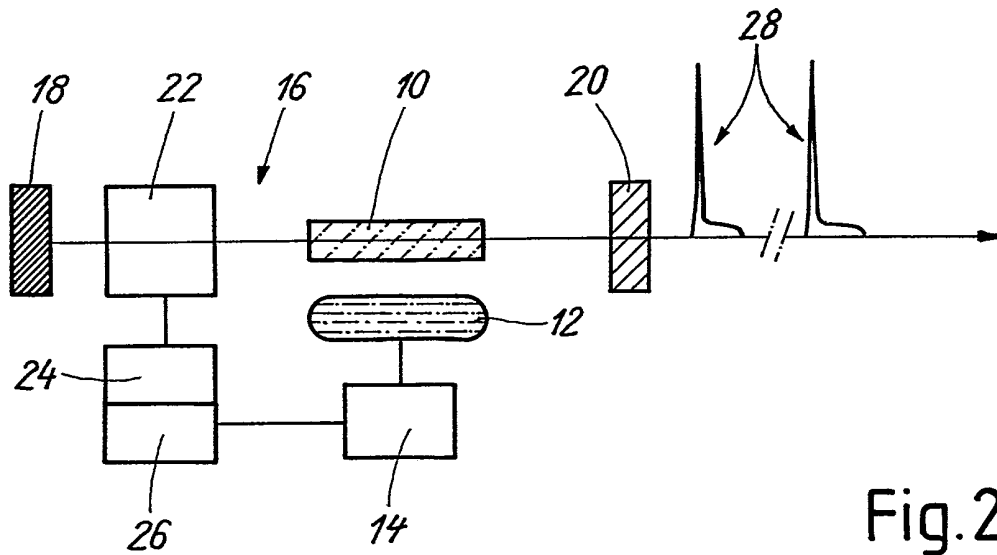


Fig. 2

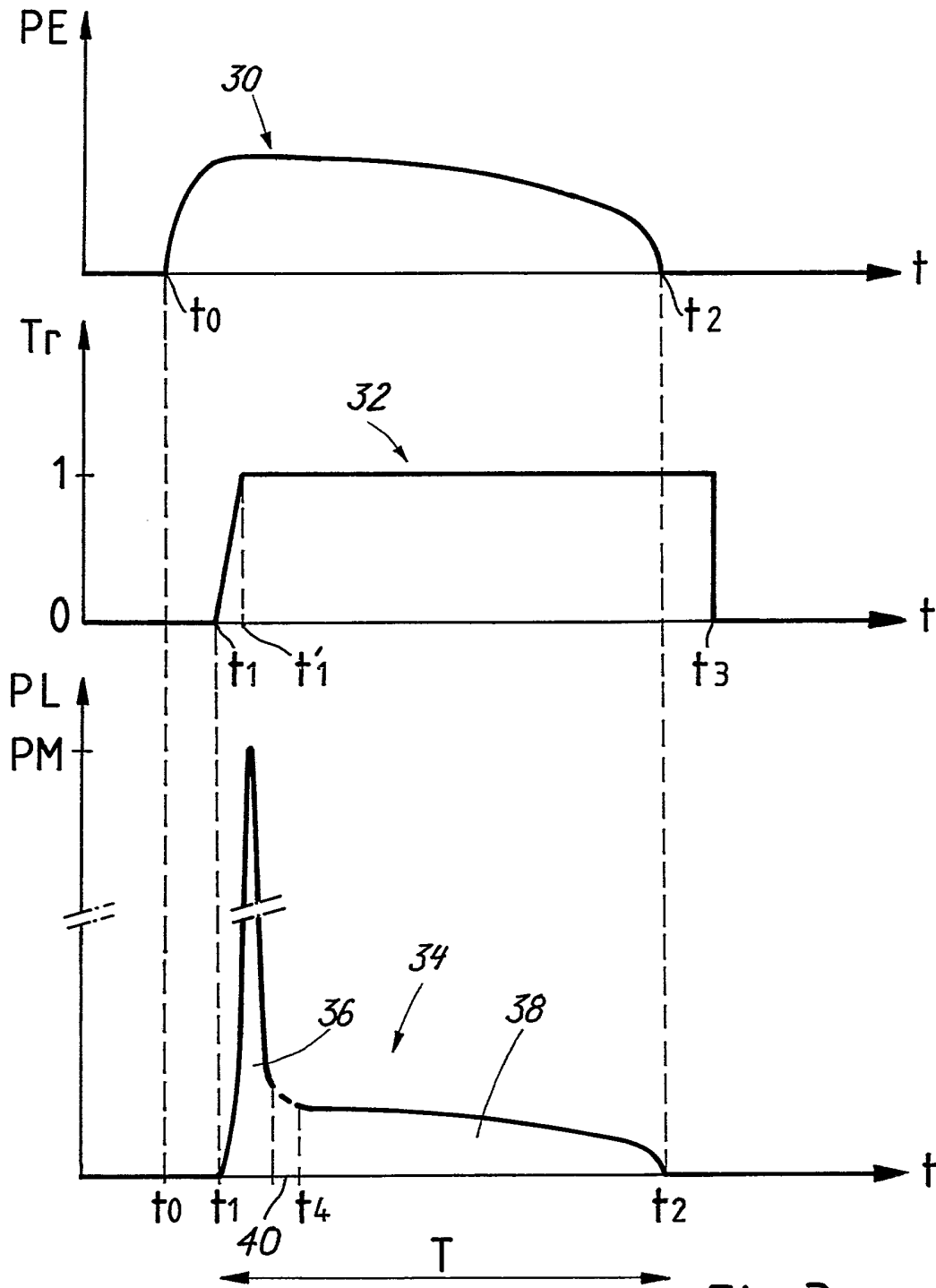


Fig.3

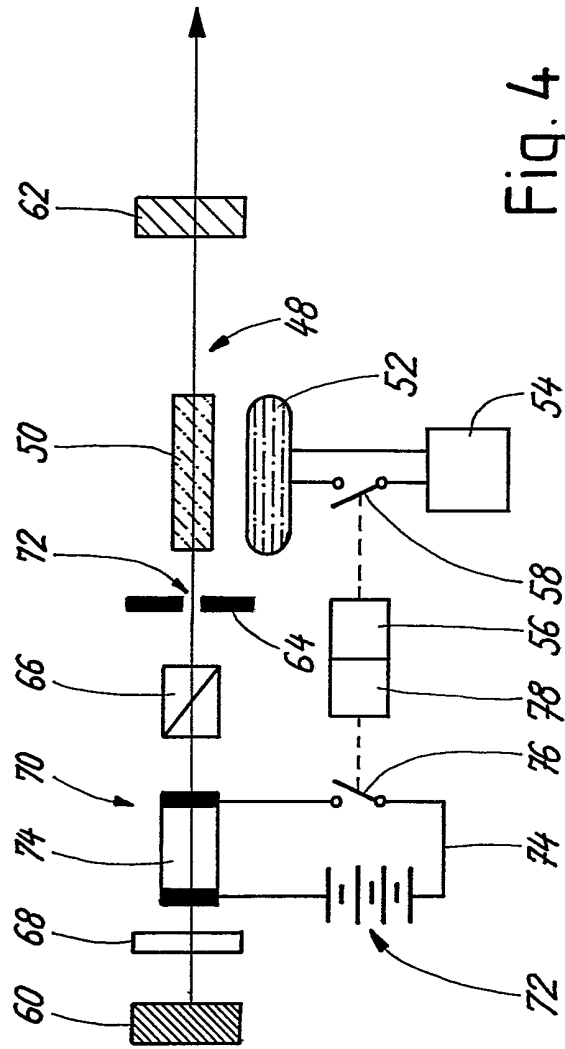


Fig. 4

INSTITUT NATIONAL  
de la  
PROPRIETE INDUSTRIELLE

**RAPPORT DE RECHERCHE**  
établi sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la recherche

FR 9106137  
FA 458453

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
X	US-A-4 930 901 (J.C. JOHSON ET AL.) * abrégé; figures 2,3 * * colonne 2, ligne 4 - ligne 12 * * colonne 5, ligne 8 - ligne 26 * ---	1-11
A	US-A-5 001 716 (B.C. JOHNSON ET AL.) * colonne 1, ligne 12 - ligne 33 * ---	1,3,4
D,A	IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS, vol. QE-8, no. 2, Février 1972, NEW YORK US pages 120 - 125; E. KOCHER ET AL.: 'Dynamics of laser processing in transparent media' * abrégé * -----	1
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.5)
		H01S
Date d'achèvement de la recherche		Examineur
06 FEVRIER 1992		GALANTI M.
<p><b>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</b></p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul  Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie  A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général  O : divulgation non-écrite  P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention  E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.  D : cité dans la demande  L : cité pour d'autres raisons  .....  &amp; : membre de la même famille, document correspondant</p>		

1

EPO FORM 1503 03.82 (P0413)