

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

①① N° de publication :

(A utiliser que pour
le classement et les
commandes de reproduction.)

2.112.057

Notice 1726

②① N° d'enregistrement national :

(A utiliser pour les paiements d'annuités,
les demandes de copies officielles et toutes
autres correspondances avec l'I.N.P.I.)

70.30426

①③
DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION

1^{re} PUBLICATION

②② Date de dépôt 19 août 1970, à 14 h 20 mn.
④① Date de la mise à la disposition du
public de la demande B.O.P.I. — «Listes» n. 24 du 16-6-1972.

⑤① Classification internationale (Int. Cl.) G 21 b 1/00.

⑦① Déposant : COMMISSARIAT A L'ÉNERGIE ATOMIQUE, représenté par Monsieur
Charles Gilguy Chef des brevets, résidant en France.

Titulaire : *Idem* ⑦①

⑦④ Mandataire : Société Brevatome.

⑤④ Procédé et dispositif de fusion thermonucléaire par laser.

⑦② Invention de : Jean-Louis Bobin et Gianfranco Tonon.

③③ ③② ③① Priorité conventionnelle :

We regret that some of the pages in the microfiche copy of this report may not be up to the proper legibility standards, even though the best possible copy was used for preparing the master fiche.

La présente invention a pour objet un procédé et un dispositif de fusion thermonucléaire par laser. L'interaction d'un faisceau lumineux, d'énergie suffisante, provenant d'une source laser avec une cible solide donne naissance à un plasma dans lequel des réactions thermo-

5 nucléaires de fusion peuvent avoir lieu sous certaines conditions.

Il est commode pour définir les deux grandes familles d'expériences intéressant les physiciens des plasmas d'utiliser le critère de Lawson qui détermine les conditions que doit satisfaire un plasma de densité n porté à la température T pendant un temps τ pour devenir un générateur d'énergie. Ce résultat est obtenu lorsque le bilan d'énergie du plasma est positif, c'est-à-dire

15 lorsque l'énergie dégagée par les réactions de fusion dans le plasma est supérieure à l'énergie fournie au plasma par le laser. Si on considère le combustible, matériau constituant la cible, le plus favorable qui est un mélange équimoléculaire de deutérium et de tritium, ce critère

20 s'exprime par :

$$n \cdot \tau \geq 10^{20} \text{ (ions} \cdot \text{s/m}^3\text{)}$$

$$T \approx 10 \text{ keV}$$

On différencie alors les expériences dites lentes, caractérisées par une faible densité n et des temps τ longs, (supérieurs à la milliseconde) des expériences dites rapides nécessitant une haute densité n mais pendant un temps τ très court (inférieur à la microseconde). Les premières expériences se heurtent au redoutable problème des instabilités du plasma qui limite sa durée de vie. Le succès

30 des expériences rapides est lié au progrès des sources d'énergie car il faut mettre en oeuvre une très grande densité de puissance. Pour ce dernier type d'expérience, la source d'énergie utilisée est avantageusement un ou plusieurs lasers. L'interaction du rayonnement émis par un

35 laser avec une cible solide permet la formation d'un plasma dont la densité peut atteindre la densité du solide (voisine de $5 \cdot 10^{28} \text{ m}^{-3}$). De ce fait, d'après le critère de

Lawson, les temps τ nécessaires pour obtenir un bilan d'énergie positif deviennent très courts et aucun confinement du plasma formé n'est utile. La plupart des expériences rapides réalisées ou proposées font appel à des cibles sphériques et toute la matière de cette cible interagit pendant un temps très court avec le faisceau laser. La cible est donc volatilisée instantanément. Si l'existence de réactions de fusion a pu être mise en évidence avec ce type d'expériences rapides dans un plasma de deutérium-tritium, le bilan d'énergie obtenu n'est cependant pas positif du fait des temps τ relativement courts pendant lesquels on arrive à conserver le plasma formé. Divers expérimentateurs ont alors fait appel à des méthodes de confinement mais du fait de l'existence très courte de ces plasmas et de leur grande vitesse d'expansion, elles ne se sont pas révélées satisfaisantes.

La présente invention propose un procédé et un dispositif de fusion thermonucléaire par laser correspondant mieux que ceux de l'art antérieur aux exigences de la pratique, notamment en ce que le bilan d'énergie du plasma formé peut être positif.

A cette fin, l'invention propose un procédé de fusion thermonucléaire suivant lequel on forme un plasma en faisant interagir un faisceau laser avec une cible solide placée dans un vide secondaire, la surface de ladite cible étant au moment de la formation dudit plasma sensiblement placée au foyer d'un système optique de focalisation dudit faisceau laser, caractérisé en ce que :

- on choisit le flux dudit faisceau laser et la longueur d'onde de la lumière laser de façon à ce que ledit plasma ait initialement, compte tenu de la composition de ladite cible, des caractéristiques de température et de densité déterminées,

- on choisit pour ladite cible une forme sensiblement cylindrique et une longueur au moins égale au produit de la vitesse de propagation du son dans ladite cible par le temps pendant lequel on désire conserver les caractéristiques dudit plasma, temps pour lequel le bilan d'énergie est positif, et

- on maintient, pendant au moins ledit temps, ledit flux laser arrivant sur ladite surface de ladite cible sensiblement constant et la position du plan focal dudit système optique dans la zone d'absorption du rayonnement laser par ledit plasma, lesdites caractéristiques dudit plasma n'étant alors pratiquement pas modifiées pendant ledit temps.

L'invention propose également un dispositif de fusion thermonucléaire comprenant un laser, une enceinte dans laquelle on peut créer un vide secondaire et munie d'une fenêtre d'entrée du faisceau laser, une cible solide et un système optique placés dans ladite enceinte, ledit système optique focalisant ledit faisceaux laser sensiblement sur la surface de ladite cible, ce qui a pour effet de créer un plasma, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens pour diminuer la distance de ladite cible audit système optique avec une vitesse sensiblement égale à la vitesse de propagation du son dans ladite cible, de sorte que le plan focal dudit système optique reste localisé dans la zone d'absorption du rayonnement laser par ledit plasma, en ce que la longueur de ladite cible est au moins égale au produit de la vitesse de propagation du son dans ladite cible par le temps pour lequel le bilan d'énergie devient positif et en ce que le flux laser arrivant sur la surface de ladite cible est sensiblement constant pendant ledit temps.

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui suit d'un mode de réalisation de l'invention donné à titre d'exemple non limitatif. La description se réfère aux dessins qui l'accompagnent dans lesquels :

- la fig. 1 représente schématiquement, en fonction du temps t , les positions x d'une particule de la cible, de l'onde de détente et de l'onde de choc,
- les fig. 2a et 2b représentent respectivement et d'une façon schématique les profils de densité et de température du plasma,

- la fig. 3 représente, en fonction de la température T , la durée de chauffage τ_L et la densité d'énergie (W_0/S_0) nécessaires à l'obtention d'un bilan d'énergie positif et,

5 - la fig. 4 représente schématiquement un mode de réalisation du dispositif conforme à l'invention.

Lorsqu'un faisceau lumineux issu d'une source laser interagit avec une cible, il y a formation d'un plasma lorsque l'énergie transportée par le faisceau
10 lumineux est suffisante. Le plasma se détend dans tout l'espace avec cependant une vitesse d'expansion plus élevée en direction de la source lumineuse. Sur la fig. 1, la courbe 1 représente en fonction du temps t la position x d'une particule de la cible ayant été évaporée
15 pour former le plasma. La position de cette particule est repérée par rapport à une origine 0 fixée arbitrairement au centre de l'extrémité de la cible sur laquelle arrive le faisceau laser. Au cours de la formation du plasma, une déflagration radiative se développe entretenue par
20 l'absorption du rayonnement laser dans une mince tranche de matière du plasma de densité proche de la densité de coupure du rayonnement $n_c = 10^{27}/\lambda^2$ (λ exprimé en microns représente la longueur d'onde du rayonnement laser). Cette déflagration induit dans la cible une onde de choc suivie
25 d'une onde de détente. Les positions au cours du temps de ces deux ondes sont représentées respectivement par les courbes 2 et 3 de la fig. 1.

Les courbes des fig. 2a et 2b représentent schématiquement et respectivement les profils de densité
30 n et de température T du plasma caractéristiques de la déflagration radiative qui induit un choc dans le matériau. La cible, sur laquelle arrive un rayonnement de longueur d'onde λ , est représentée par 4. L'origine 0 des courbes est fixée arbitrairement à l'extrémité de la cible sur
35 laquelle arrive le rayonnement laser. La zone 5, caractérisée par une densité n relativement faible et une température T sensiblement uniforme et élevée, est la zone

d'expansion du plasma. La zone d'absorption du rayonnement laser par le plasma est représentée par 6 et a pour abscisse moyenne x_a . Entre l'onde de détente (déflagration) représentée par 7 sur le profil de densité n et l'onde de choc 8, se trouve la zone de choc 9 caractérisée par une densité n élevée et une température T relativement faible. Pour que des réactions de fusion thermonucléaire puissent avoir lieu dans le plasma, il est nécessaire que ce dernier ait une température et une densité élevée : cette zone est représentée par 10. Les limites de ces différentes zones sont représentées sur la figure 2 d'une façon schématique et il est bien évident qu'en réalité ces limites ne sont pas aussi bien définies. La température maximale du plasma dépend du flux laser arrivant sur la surface de la cible. Les vitesses de front de choc D_1 et de la déflagration D_2 sont données par les relations suivantes :

$$D_1 = 8,65 \cdot 10^{-2} (\lambda^2 \phi)^{1/3}$$

$$D_2 = 0,83 \cdot D_1$$

Le plasma chaud qui se trouve dans l'onde de détente est éjecté du côté opposé à la cible (en direction des x croissants sur la fig. 1). Les caractéristiques de densité $n(x, t)$ et de température T sont données par les relations suivantes :

$$n(x, t) = 10^{27} \lambda^{-2} \exp\left(\frac{x_a - x}{C_2 t}\right)$$

$$T(\text{keV}) = 5 \cdot 10^{-12} (\lambda^2 \phi)^{2/3}$$

dans lesquelles $C_2 = 2 \cdot 10^5 T^{1/2}(\text{keV})$ est la vitesse du front isotherme, x_a la position de la zone d'absorption du rayonnement représenté par 6 sur les figures 2a et 2b, et ϕ le flux laser.

L'énergie totale produite dans un plasma de deutérium-tritium par les réactions de fusion s'exprime par :

$$W_F = \frac{QS_0}{4} \int_{x_0}^{\infty} \int_0^{\tau_L} n^2 T dx dt \quad (1)$$

où $\bar{\nu}$ est la section efficace moyenne de la réaction de fusion D-T, X_0 la position de la surface de la cible à l'instant initial, S_0 la surface de la cible, Q l'énergie dégagée par la réaction de fusion D-T et τ_L la durée de l'impulsion laser utilisée pour la création et l'entretien du plasma. En résolvant l'intégrale double de l'équation (1), il vient :

$$W_F = 3,5 \cdot 10^{46} \frac{S_0}{\lambda^2} T^{1/2} \bar{\nu} \tau_L^2 \quad (2)$$

et un bilan d'énergie positif sera obtenu lorsque :

$$\tau_L > 2,6 \cdot 10^{-30} \frac{\lambda^2 T}{\bar{\nu}} \quad (3)$$

Dans cette dernière relation, on a supposé que les rendements de pompage du laser et de conversion de l'énergie lumineuse en énergie "plasma" sont égaux à 1 et on a négligé le coefficient de réflexion du plasma. Dans ces conditions, la densité d'énergie du faisceau lumineux interagissant avec la cible s'exprime alors par la relation :

$$\frac{W_0}{S_0} \geq 2,3 \cdot 10^{-13} \frac{T^{5/2}}{\bar{\nu}} \quad (4)$$

Les relations (3) et (4) fixent donc les caractéristiques du faisceau laser, durée de l'impulsion lumineuse et densité d'énergie pour une longueur d'onde donnée, pour que le bilan d'énergie soit positif et donc pour que le plasma soit effectivement un générateur d'énergie.

Les relations (3) et (4) ont été représentées graphiquement sur la fig. 3 pour une cible formée, à titre d'exemple, d'un mélange équimoléculaire de deutérium et de tritium. Les courbes 11 et 12 représentent les variations de τ_L en fonction de la température pour des longueurs d'ondes λ respectivement de 1 micron et 0,2 micron. La courbe 12 correspondant à cette dernière longueur d'onde n'est donnée qu'à titre de curiosité car un laser délivrant directement un faisceau lumineux de longueur d'onde 0,2 micron est encore tout à fait hypothétique. La courbe 13 représente les variations de la densité d'énergie $\frac{W_0}{S_0}$ en fonction de la température T . On remarque que cette courbe

5 passe par un minimum pour une valeur de la température
correspondant à environ 8 keV. Si l'on se place à cette
température dans le but de minimiser la densité d'énergie
nécessaire, on remarque sur la courbe 11 qu'il est
10 nécessaire pour avoir un bilan d'énergie positif d'avoir
un temps de conservation du plasma formé, donc une largeur
 τ_L de l'impulsion laser, de $2 \cdot 10^{-7}$ seconde. Ce temps étant
relativement long, les procédés mis en oeuvre dans l'art
antérieur pour obtenir un bilan d'énergie positif ne se
15 sont pas révélés satisfaisants. Selon les inventeurs, les
raisons de ces échecs sont les suivantes : lorsque l'on
focalise un faisceau laser sur une cible solide, il y a
production d'un plasma et le rayonnement laser est absorbé
dans une zone de longueur très faible et constante du
15 plasma (zone d'absorption). Si la largeur de l'impulsion
laser est suffisante pour que l'on continue à chauffer
ce plasma après sa formation, le plan focal du système
optique, focalisant au début de l'impulsion laser le
faisceau lumineux sur la surface de la cible, ne se trouve
20 plus au court du chauffage du plasma en coïncidence avec la
surface de la cible. En effet, cette dernière se consume
du fait de l'existence d'une onde de détente qui se déplace
à une vitesse voisine de celle du son dans la cible
(10^6 cm/s environ pour une cible de deutérium-tritium). La
25 densité d'énergie maximale du laser qui se trouve au point
de focalisation du faisceau lumineux ne coïncide pas avec
la zone du plasma que l'on désire chauffer. De plus, il
est nécessaire de tenir compte de l'expansion du plasma.

Suivant le procédé de la présente invention, on
30 forme un plasma en focalisant un faisceau laser sur la
surface d'une cible solide. Les caractéristiques du plasma
formé sont parfaitement déterminées en fonction de la com-
position de la cible, en choisissant le flux du faisceau
laser (à l'aide de la relation 4) et la longueur d'onde de
35 la lumière laser. On choisit pour la cible une forme
cylindrique et une longueur au moins égale au produit de la
vitesse de propagation du son dans la cible par le temps

pendant lequel on désire conserver identiques les caractéristiques du plasma. Ce temps n'est autre que le temps τ_L pour lequel le bilan d'énergie du plasma est positif et il est déterminé à l'aide des courbes de la fig. 3.

5 La surface de la cible peut avantageusement être égale à la tache focale du système optique utilisée pour focaliser le faisceau laser sur la cible. Ensuite on maintient, pendant au moins le temps τ_L , le flux laser arrivant sur la

10 surface de la cible sensiblement constant et la position du plan focal du système optique dans la zone d'absorption du rayonnement laser par ledit plasma. Dans ces conditions, les caractéristiques initiales du plasma formé ne sont pratiquement pas modifiées pendant le temps τ_L . Ce dernier, pendant lequel on maintient constant le flux laser arrivant

15 sur la cible solide, est égal à la largeur de l'impulsion lumineuse délivrée par le laser. Du fait de l'évaporation progressive de la cible, évaporation s'effectuant sensiblement à la vitesse de propagation du son dans la cible, on garde constant la distance du système optique de focalisation à la surface de la cible. Pour ce faire, on

20 déplace la cible en direction du système optique à une vitesse sensiblement égale à la vitesse de propagation du son dans la cible ou, inversement, on déplace le système optique en direction de la cible. Cette vitesse est

25 d'environ 10^6 cm/s pour une cible de deutérium-tritium. Lorsque la distance focale du système optique est très grande, la longueur de la tache focale est relativement grande et le flux laser dans toute la tache focale reste sensiblement uniforme : dans ce cas, la modification de la

30 distance système optique-cible peut ne pas être nécessaire. Ce déplacement devient par contre obligatoire lorsque le système optique utilisé a une grande ouverture. Il peut être obtenu notamment par une accélération magnétique de la cible, due à un gradient de champ magnétique. Lorsque

35 l'on désire utiliser l'énergie thermique du plasma, que l'on convertit en énergie électrique, pour faire fonctionner le laser (pour charger une batterie de condensateurs

par exemple), le rendement du laser doit être aussi élevé que possible : il peut être alors très avantageux d'utiliser des lasers moléculaires (à gaz carbonique par exemple) ou chimiques qui ont des rendements d'au moins 10 %, alors que le rendement d'un laser à verre dopé au néodyme est environ de 0,1 %.

L'invention concerne également un dispositif à fusion thermonucléaire dont un mode de réalisation est représenté schématiquement sur la fig. 4. La cible 14 de ce mode de réalisation est une cible solide composée d'un mélange de deutérium et de tritium, avantageusement à 50 % de deutérium et 50 % de tritium. Cette cible 14 est placée à l'intérieur d'une enceinte 15, appelée chambre d'interaction, dans laquelle on peut créer un vide secondaire inférieur à 10^{-7} torr à l'aide du groupe de pompage 16. La cible 14 est formée à l'aide d'un cryostat 17 contenu en partie dans la chambre d'interaction 15. Il comprend une enceinte 18 contenant sous forme gazeuse le mélange de deutérium et de tritium, une vanne 19 permettant d'introduire le mélange gazeux à l'aide de la canalisation 20 dans la partie froide du cryostat, une commande 21 de l'extrusion du mélange de deutérium-tritium solidifié à la sortie de l'extracteur 22 et des moyens de refroidissement du mélange gazeux de deutérium-tritium. Ce refroidissement est assuré par une circulation d'hélium liquide pénétrant dans la canalisation 23 et injecté dans un récipient 24 entourant l'extracteur 22. L'hélium sous forme gazeuse sort du cryostat par la canalisation 25. Un écran thermique 26 assure un rendement satisfaisant pour le cryostat. L'extracteur 22 ayant la forme d'un tube cylindrique, la cible solide a la forme d'un batonnet de diamètre sensiblement égal au diamètre interne du tube constituant l'extracteur 22 et dont la longueur, qui peut atteindre plusieurs centimètres, est réglée par la commande d'extrusion 21. Cette dernière est en fait une simple tige métallique commandée de l'extérieur du cryostat et qui vient pousser le solide hors du canal 22 et l'amener de ce fait

dans l'enceinte 15. Le dispositif comporte également un laser 27 émettant un faisceau lumineux 28 sensiblement parallèle et un prisme 29 de déviation du faisceau lumineux 28 permettant à ce dernier de pénétrer dans la chambre d'interaction 15 à travers un hublot d'entrée 30. Le faisceau lumineux est focalisé sur la surface 31 de la cible 14 à l'aide d'un système optique 32 constitué avantageusement par un objectif de grande ouverture ($f/1$ par exemple) et percé d'un trou central 33 pour éviter une rupture du matériau de l'objectif sous l'effet du rayonnement laser. Des moyens non représentés sur la fig. 4 permettent de rapprocher la surface 31 de la cible 14 vers le système optique 32 avec une vitesse voisine de la vitesse de propagation du son dans la cible 14. Ces moyens peuvent être par exemple des bobines magnétiques créant un gradient de champ magnétique à la sortie de l'extracteur 22. Le laser 27 est un laser à verre dopé au néodyme mais il peut être également avantageux d'utiliser un laser moléculaire ou chimique. Lorsque l'on emploie un laser à gaz carbonique, le système optique 32 peut alors être un miroir, sphérique par exemple. Le hublot d'entrée 30 de l'enceinte 15 n'est pas placé perpendiculairement aux rayons lumineux du faisceau 28 afin d'éviter le retour dans le milieu actif du laser 27 des rayons lumineux réfléchis par les faces du hublot 30. Le laser 27 émet sous forme du faisceau lumineux 28 une impulsion lumineuse de forme rectangulaire ayant une largeur τ_L . La longueur l de la cible 14 est au moins égale au produit de la vitesse de propagation du son dans la cible par la largeur τ_L de l'impulsion laser. Grâce au déplacement de la cible, l'extrémité 31 de la cible 14 reste située dans le plan focal du système optique 32 pendant toute la durée de l'impulsion laser.

Il va sans dire que la présente invention ne se limite pas au seul mode de réalisation qui a été représenté et décrit à titre d'exemple non limitatif.

REVENDEICATIONS

1°/ Procédé de fusion thermonucléaire suivant lequel on forme un plasma en faisant interagir un faisceau laser avec une cible solide placée dans un vide secondaire, la surface de ladite cible étant au moment de la formation dudit plasma sensiblement placée au foyer d'un système optique de focalisation dudit faisceau laser, caractérisé en ce que :

- on choisit le flux dudit faisceau laser et la longueur d'onde de la lumière laser de façon à ce que ledit plasma ait initialement, compte tenu de la composition de ladite cible, des caractéristiques de température et de densité déterminées,

- on choisit pour ladite cible une forme sensiblement cylindrique et une longueur au moins égale au produit de la vitesse de propagation du son dans ladite cible par le temps pendant lequel on désire conserver les caractéristiques dudit plasma, temps pour lequel le bilan d'énergie est positif, et

- on maintient, pendant au moins ledit temps, ledit flux laser arrivant sur ladite surface de ladite cible sensiblement constant et la position du plan focal dudit système optique dans la zone d'absorption du rayonnement laser par ledit plasma, lesdites caractéristiques dudit plasma n'étant alors pratiquement pas modifiées pendant ledit temps.

2°/ Procédé suivant la revendication 1, caractérisé en ce que l'on déplace, avec une vitesse sensiblement égale à la vitesse de propagation du son dans ladite cible, ledit système optique vers ladite cible ce qui a pour effet de maintenir sensiblement constant ledit flux laser arrivant sur ladite surface de ladite cible et ladite position dudit plan focal dans ladite zone d'absorption.

3°/ Procédé suivant la revendication 1, caractérisé en ce que l'on déplace, avec une vitesse sensiblement égale à la vitesse de propagation du son dans ladite cible, ladite cible vers ledit système optique ce qui a pour effet de maintenir sensiblement constant ledit flux laser arrivant sur ladite surface de ladite cible et ladite position dudit plan focal dans ladite zone d'absorption.

4°/ Procédé suivant l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que ladite surface de ladite cible est choisie sensiblement égale à la surface de la tache focale dudit système optique.

5 5°/ Procédé suivant l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que ladite cible est un mélange de deutérium et de tritium à l'état solide.

6°/ Procédé suivant la revendication 5, caractérisé en ce que ledit mélange contient 50 % de deutérium.

10 7°/ Dispositif de fusion thermonucléaire comprenant un laser, une enceinte dans laquelle on peut créer un vide secondaire et munie d'une fenêtre d'entrée du faisceau laser, une cible solide et un système optique placés dans ladite enceinte, ledit système optique focalisant ledit faisceau laser sensiblement sur la surface
15 de ladite cible, ce qui a pour effet de créer un plasma, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens pour diminuer la distance de ladite cible audit système optique avec une vitesse sensiblement égale à la vitesse de propagation
20 du son dans ladite cible, de sorte que le plan focal dudit système optique reste localisé dans la zone d'absorption du rayonnement laser par ledit plasma, en ce que la longueur de ladite cible est au moins égale au produit de la vitesse de propagation du son dans ladite cible par le temps pour
25 lequel le bilan d'énergie devient positif et en ce que le flux laser arrivant sur la surface de ladite cible est sensiblement constant pendant ledit temps.

8°/ Dispositif suivant la revendication 7, caractérisé en ce que ledit système optique est mobile.

30 9°/ Dispositif suivant la revendication 7, caractérisé en ce que ladite cible est mobile.

10°/ Dispositif suivant la revendication 7, caractérisé en ce que ledit système optique est un objectif.

35 11°/ Dispositif suivant la revendication 10, caractérisé en ce que ledit objectif a une grande ouverture.

12°/ Dispositif suivant la revendication 7, caractérisé en ce que ladite cible est un mélange de deutérium et de tritium à l'état solide.

13°/ Dispositif suivant la revendication 7, caractérisé en ce que le milieu actif dudit laser est solide.

5 14°/ Dispositif suivant la revendication 7, caractérisé en ce que le milieu actif dudit laser est à gaz carbonique.

FIG. 1

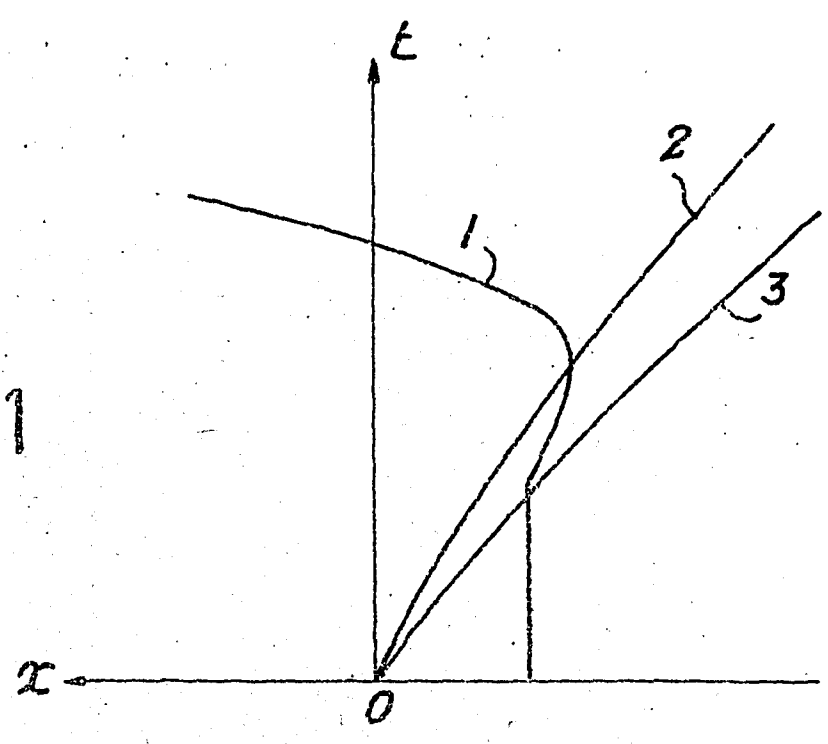
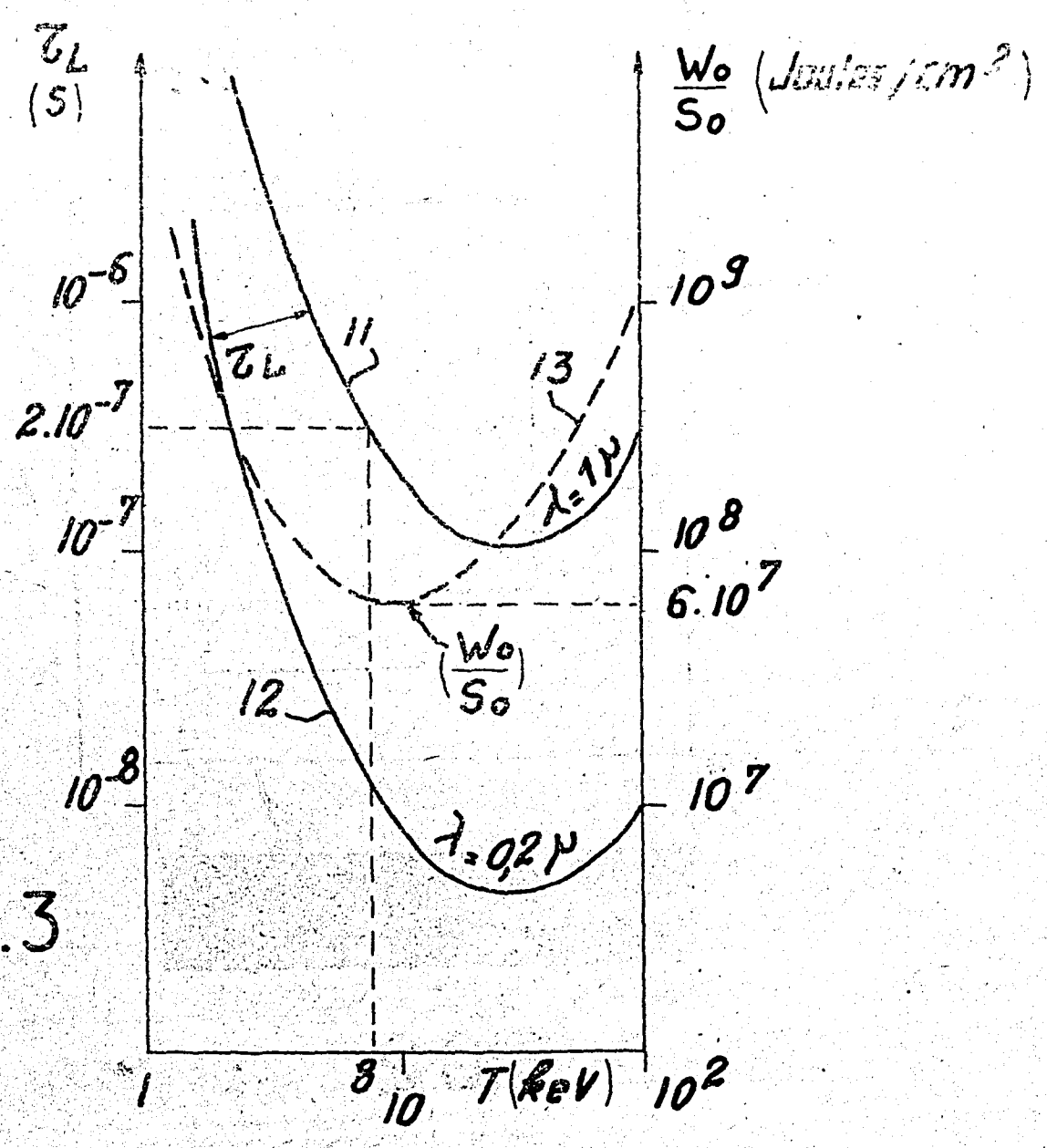


FIG. 3



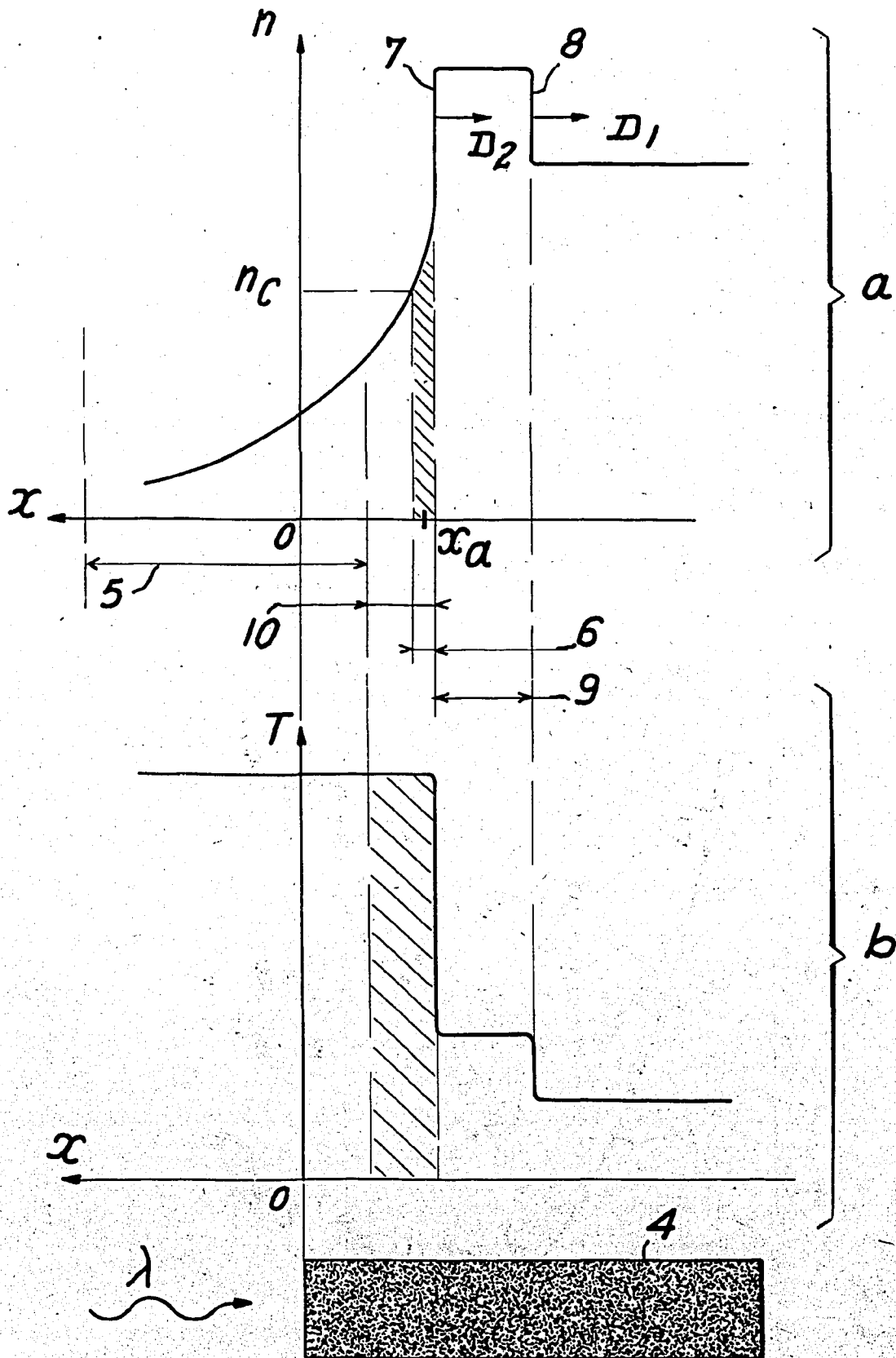


FIG. 2

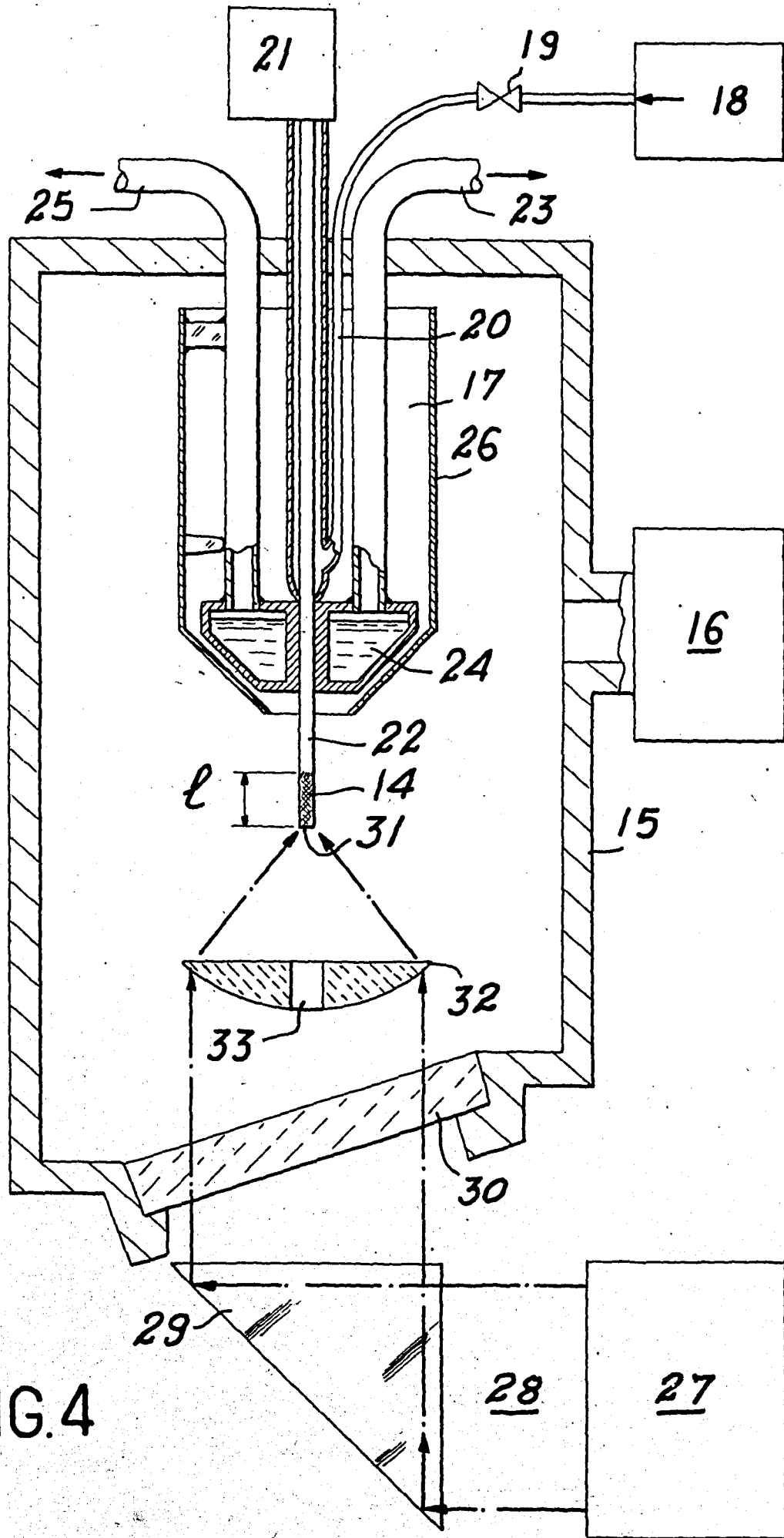


FIG.4