

⑯ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
—
COURBEVOIE

⑪ Nº de publication : **3 027 123**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)
⑯ Nº d'enregistrement national : **15 59382**
⑮ Int Cl⁸ : **G 02 B 27/09** (2017.01), **G 02 F 1/01**, **H 01 S 3/10**

⑯

BREVET D'INVENTION

B1

⑯ SYSTEME LASER ET PROCEDE POUR COMMANDER LE FRONT D'ONDE D'UN FAISCEAU LASER.

⑯ Date de dépôt : 02.10.15.

⑯ Priorité : 10.10.14 US 14511865.

⑯ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 15.04.16 Bulletin 16/15.

⑯ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 27.07.18 Bulletin 18/30.

⑯ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑯ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

Demande(s) d'extension :

⑯ Demandeur(s) : **THE BOEING COMPANY — US.**

⑯ Inventeur(s) : **WADE LAWRENCE KLENNERT.**

⑯ Titulaire(s) : **THE BOEING COMPANY.**

⑯ Mandataire(s) : **CABINET PLASSERAUD.**



SYSTEME LASER ET PROCEDE POUR COMMANDER LE FRONT D'ONDE
D'UN FAISCEAU LASER

Un mode de réalisation illustratif concerne généralement un système laser et un procédé associé pour commander le front d'onde d'un faisceau laser et, plus particulièrement, un système laser et un procédé associé pour introduire un faisceau laser secondaire qui sert à commander le front d'onde d'un faisceau laser primaire.

5 Des systèmes laser génèrent préférentiellement un front d'onde d'une forme prédéfinie de sorte qu'un faisceau laser résultant possède une qualité de faisceau souhaitée. Dans certains cas, des aberrations optiques peuvent être introduites dans le front d'onde par les éléments optiques d'un système laser, y compris des aberrations optiques introduites par le milieu laser, un amplificateur laser ou d'autres 10 composants optiques. Les aberrations optiques peuvent être introduites par la structure et la composition matérielle des éléments optiques et/ou par des gradients thermiques dans les éléments optiques qui créent des différences de chemin optique. Par exemple, un élément optique peut être chauffé uniformément, mais peut 15 comporter certaines parties qui sont chauffées davantage que d'autres parties par le laser, créant ainsi un gradient thermique. En conséquence du gradient thermique sur l'élément optique, l'élément optique introduira des aberrations optiques dans le faisceau laser en raison de différences de chemin optique occasionnées par le gradient thermique. Les aberrations optiques réduiront, à leur tour, le rendement et 20 l'efficacité du système laser en introduisant des erreurs de front d'onde et en réduisant la qualité de faisceau générée par le système laser.

Pour essayer d'annuler ou de compenser les aberrations optiques, divers systèmes optiques complexes ont été développés. Par exemple, des systèmes de transfert de chaleur et/ou de refroidissement ont été utilisés conjointement avec des 25 systèmes laser pour essayer de réduire des gradients thermiques et, de façon correspondante, de réduire les aberrations optiques résultantes. Par exemple, des tiges de gain radialement symétriques peuvent être radialement refroidies pour essayer de réduire des gradients thermiques. De plus, des plaques correctrices fixes ou des systèmes optiques adaptatifs complexes ont été utilisés pour essayer d'annuler les aberrations optiques introduites par des gradients thermiques. Bien que les

techniques précédentes puissent réduire les gradients optiques, les systèmes laser résultants sont plus complexes et, en conséquence, sont généralement plus coûteux.

Un type d'élément optique qui peut subir un gradient thermique est un élément optique en verre photo-thermique réfractif (PTR). Un élément optique en verre PTR peut être utilisé, par exemple, pour combiner des faisceaux spectraux dans un système laser. Le(s) faisceau(x) laser(s) se propageant à travers un élément optique PTR augmente(nt) généralement la température de l'élément optique PTR. Lorsque la température de l'élément optique en verre PTR augmente, l'indice de réfraction de l'élément optique en verre PTR change ce qui, à son tour, change la longueur d'onde de lumière qui est produite par l'élément optique en verre PTR. Par exemple, un élément optique PTR peut servir de réseau de sorte que la température augmentée de l'élément optique PTR change l'indice de réfraction de l'élément optique PTR ce qui, à son tour, change la longueur d'onde de la lumière émise par le réseau, ce qui peut affecter négativement le rendement du réseau.

Pour essayer de réduire l'augmentation de température subie par un élément optique PTR, un élément optique PTR peut être chauffé ou refroidi à partir de son bord extérieur avec un système de régulation thermique. Cette technique peut introduire des gradients de température dans la totalité du volume de l'élément optique PTR ce qui peut, à son tour, faire en sorte que les performances des différentes parties de l'élément optique PTR soient différentes de celles d'autres parties de l'élément optique PTR en fonction du gradient thermique, présentant ainsi également un impact négatif sur le rendement total de l'élément optique PTR. De plus, les systèmes thermiques utilisés pour essayer de réguler la température d'un élément optique PTR peuvent être relativement volumineux et, en conséquence, peuvent être incapables d'être utilisés dans une petite cavité laser. Par exemple, les systèmes thermiques utilisés conjointement avec un élément optique PTR dans le but de la stabilisation thermique peuvent comprendre des supports qui sont requis pour loger un refroidisseur thermoélectrique (TEC) relativement grand, des plaques froides relativement grandes nécessitant de l'eau de refroidissement et des cordons électriques correspondants pour fournir de l'énergie électrique. Dans certaines applications du système laser dans lesquelles le système laser, y compris le système de régulation thermique, doit être placé dans une chambre à vide, l'infrastructure pour supporter le montage du système thermique peut poser des problèmes.

Un système laser et un procédé associé sont proposés conformément à un mode de réalisation illustratif pour commander le front d'onde d'un faisceau laser primaire. A cet égard, le système laser et le procédé d'un mode de réalisation illustratif peuvent sélectivement faire en sorte que des parties d'un milieu laser ou d'un autre élément optique se contractent ou se dilatent thermiquement afin de modifier, de façon correspondante, le front d'onde du faisceau laser primaire. Par exemple, le milieu laser ou l'autre élément optique peut être sélectivement contracté ou dilaté thermiquement afin de compenser des aberrations optiques autrement introduites par le système laser de sorte que le front d'onde résultant du faisceau laser primaire présente une forme et une qualité de faisceau souhaitées. Dans un mode de réalisation illustratif, un élément optique en verre PTR peut comprendre un dopant sensible à un faisceau laser secondaire de sorte que l'exposition de l'élément optique en verre PTR au faisceau laser secondaire puisse être utilisée afin de modifier la température de l'élément optique en verre PTR dopé, améliorant ainsi les performances du système laser, y compris l'élément optique en verre PTR.

Dans un mode de réalisation illustratif, un système laser est proposé qui comprend un milieu laser configuré pour produire un faisceau laser primaire et au moins un élément optique configuré pour recevoir le faisceau laser primaire. Le système laser comprend également une source laser secondaire configurée pour produire un faisceau laser secondaire. Le système laser comprend en outre un modulateur spatial de lumière configuré pour recevoir le faisceau laser secondaire et pour moduler spatialement le faisceau laser secondaire pour créer un faisceau laser secondaire spatialement modulé possédant un motif spatial d'intensité. Le système laser de ce mode de réalisation illustratif est configuré de sorte que le faisceau laser secondaire spatialement modulé soit incident sur au moins un du milieu laser ou de l'au moins un élément optique afin de faire en sorte que des parties respectives du milieu laser ou de l'au moins un élément optique, sur lequel le faisceau laser secondaire spatialement modulé est incident, se contractent ou se dilatent thermiquement. En conséquence, le front d'onde du faisceau laser primaire est modifié d'une façon pouvant être commandée.

Le faisceau laser secondaire peut posséder une longueur différente de celle du faisceau laser primaire. L'au moins un du milieu laser ou de l'au moins un élément optique, sur lequel le faisceau laser secondaire spatialement modulé est incident, peut

comprendre au moins un dopant qui est excité en réponse à la longueur d'onde du faisceau laser secondaire. Le système laser d'un mode de réalisation illustratif peut également comprendre un capteur de front d'onde configuré pour mesurer le front d'onde du faisceau laser primaire et un dispositif de commande configuré pour 5 commander la modulation spatiale du faisceau laser secondaire fourni par le modulateur spatial de lumière en fonction du front d'onde du faisceau laser primaire, tel qu'il est mesuré par le capteur de front d'onde. Le capteur de front d'onde d'un mode de réalisation illustratif est configuré pour mesurer, à plusieurs reprises, le front d'onde du faisceau laser primaire au fil du temps. Dans ce mode de réalisation, 10 le dispositif de commande est en outre configuré pour modifier/commander le modulateur spatial de lumière pour modifier le motif spatial d'intensité du faisceau laser secondaire de sorte que le faisceau laser secondaire régule, de façon pouvant être commandée, l'énergie thermique dans un volume de l'élément optique, en fonction de changements du front d'onde du faisceau laser primaire mesuré par le 15 capteur de front d'onde au fil du temps pour ainsi commander la dilatation ou contraction thermique dans l'élément optique afin de minimiser des aberrations ou des différences de chemin optique dans le front d'onde du faisceau laser primaire. Le faisceau laser secondaire spatialement modulé peut se propager conjointement avec le faisceau laser primaire.

20 Le système laser d'un mode de réalisation illustratif peut également comprendre un capteur de front d'onde configuré pour mesurer le front d'onde du faisceau laser primaire et un dispositif de commande configuré pour commander le fonctionnement de la source laser secondaire en fonction du front d'onde du faisceau laser primaire qui a été mesuré.

25 Dans un autre mode de réalisation illustratif, un procédé de commande d'un front d'onde d'un faisceau laser primaire est proposé qui comprend la génération du faisceau laser primaire avec un milieu laser. Le procédé de ce mode de réalisation illustratif dirige le faisceau laser primaire vers au moins un élément optique. Le procédé de ce mode de réalisation illustratif génère également un faisceau laser 30 secondaire et module spatialement le faisceau laser secondaire pour créer un faisceau laser secondaire spatialement modulé possédant un motif spatial d'intensité. Dans ce mode de réalisation illustratif, le procédé dirige également le faisceau laser secondaire spatialement modulé pour être incident sur au moins un du milieu laser ou

de l'au moins un élément optique afin de faire en sorte que des parties respectives d'au moins un du milieu laser ou de l'au moins un élément optique, sur lequel le faisceau laser secondaire spatialement modulé est incident, se contractent ou se dilatent thermiquement. A ce titre, le front d'onde du faisceau laser primaire est 5 modifié d'une façon pouvant être commandée.

Le procédé d'un mode de réalisation illustratif génère le faisceau laser secondaire afin de posséder une longueur d'onde différente de celle du faisceau laser primaire. Dans ce mode de réalisation illustratif, l'au moins un du milieu laser ou de l'au moins un élément optique, sur lequel le faisceau laser secondaire spatialement 10 modulé est incident, comprend au moins un dopant qui est excité en réponse à la longueur d'onde du faisceau laser secondaire. Le procédé d'un mode de réalisation illustratif comprend également la mesure du front d'onde du faisceau laser primaire et la commande de la modulation spatiale du faisceau laser secondaire en fonction du front d'onde du faisceau laser primaire qui a été mesuré. Le procédé de ce mode de 15 réalisation illustratif peut également comprendre la mesure, à plusieurs reprises, du front d'onde du faisceau laser primaire au fil du temps et la modification du motif spatial d'intensité du faisceau laser secondaire de sorte que le faisceau laser secondaire régule, de façon pouvant être commandée, l'énergie thermique dans un volume de l'élément optique, en fonction de changements du front d'onde du faisceau laser primaire mesuré au fil du temps pour ainsi commander la dilatation ou 20 contraction thermique dans l'élément optique afin de minimiser des aberrations ou des différences de chemin optique dans le front d'onde du faisceau laser primaire. Dans un mode de réalisation illustratif, le faisceau laser secondaire spatialement modulé se propage conjointement avec le faisceau laser primaire.

25 Le procédé d'un mode de réalisation illustratif comprend également la mesure du front d'onde du faisceau laser primaire et la commande du fonctionnement de la source laser secondaire en fonction du front d'onde du faisceau laser primaire qui a été mesuré.

30 Dans un mode de réalisation illustratif supplémentaire, un système laser est proposé qui comprend un milieu laser configuré pour produire un faisceau laser primaire et un élément optique en verre photo-thermique réfractif (PTR) dopé configuré pour recevoir le faisceau laser primaire. Le système laser de ce mode de réalisation illustratif comprend également une source laser secondaire configurée

pour produire un faisceau laser secondaire possédant une longueur d'onde différente de celle du faisceau laser primaire. Le système laser est configuré de sorte que le faisceau laser secondaire soit incident sur l'élément optique en verre PTR dopé afin de modifier la température de l'élément optique en verre PTR dopé.

5 L'élément optique en verre PTR dopé comprend un ou plusieurs dopants qui comprennent, sans toutefois y être limités, du néodymium (Nd), du thulium (Th) ou de l'ytterbium (Yb), qui sont excités par le faisceau laser secondaire. Le dopant d'un mode de réalisation illustratif est uniforme dans la totalité de l'élément optique en verre PTR dopé. Dans un mode de réalisation illustratif, le dopant absorbe préférentiellement de la lumière de la longueur d'onde du faisceau laser secondaire par rapport à de la lumière de la longueur d'onde du faisceau laser primaire. Le milieu laser peut comprendre une pluralité de sources laser et l'élément optique en verre PTR dopé peut être configuré pour combiner les faisceaux laser primaires générés par la pluralité de sources laser. L'élément optique en verre PTR dopé peut 10 servir de réseau optique. L'élément optique en verre PTR d'un mode de réalisation illustratif comprend un revêtement réfléchissant configuré pour réfléchir préférentiellement de la lumière de la longueur d'onde du faisceau laser secondaire par rapport à de la lumière de la longueur d'onde du faisceau laser primaire.

15

Ayant ainsi décrit des aspects de la présente invention en termes généraux, 20 référence est à présent faite aux dessins joints, qui ne sont pas nécessairement dessinés à échelle, et sur lesquels :

la figure 1 est un schéma de principe d'un système laser qui comprend un modulateur spatial de lumière pour créer un faisceau laser secondaire spatialement modulé pour permettre une contraction ou dilatation thermique sélective d'un élément optique afin de modifier le front d'onde d'un faisceau laser primaire 25 conformément à un mode de réalisation illustratif de la présente invention ;

la figure 2 est un organigramme des opérations réalisées, par exemple par le système laser de la figure 1, conformément à un mode de réalisation illustratif de la présente invention ;

30 la figure 3 est une illustration de la manière dont des parties d'un élément optique peuvent être sélectivement dilatées ou contractées thermiquement par un faisceau laser secondaire spatialement modulé en fonction de différences de chemin

optique dans le système laser conformément à un mode de réalisation illustratif de la présente invention ;

5 la figure 4 est un schéma de principe d'un système laser comprenant un élément optique en verre photo-thermique réfractif (PTR) dopé et un système de refroidissement de laser configuré pour modifier la température de l'élément optique en verre PTR dopé conformément à un mode de réalisation illustratif de la présente invention ; et

10 la figure 5 est une vue latérale d'un élément optique en verre PTR dopé à travers lequel un faisceau laser secondaire fourni par un système de refroidissement de laser se propage en zigzag conformément à un mode de réalisation illustratif de la présente invention.

15 La présente invention va à présent décrite plus entièrement ci-après en faisant référence aux dessins joints, sur lesquels certains aspects, et non leur totalité, sont représentés. En effet, l'invention peut être réalisée en de nombreuses formes différentes et ne doit pas être interprétée comme étant limitée aux aspects exposés dans les présentes. Plutôt, ces aspects sont fournis pour que la présente invention satisfasse à des conditions légales applicables. Des numéros identiques font référence à des éléments identiques dans la totalité des présentes.

20 Un système laser 10 et un procédé sont proposés conformément à un mode de réalisation illustratif afin de commander la dilatation ou contraction thermique d'un élément optique. Par exemple, la contraction ou dilatation thermique des parties respectives d'un milieu laser 12 ou d'un autre élément optique 14 peut être entraînée avec un faisceau laser spatialement modulé afin de modifier, de façon correspondante, le front d'onde d'un faisceau laser primaire. A ce titre, des 25 aberrations optiques peuvent être réduites, voire éliminées, de sorte que le système laser génère un faisceau laser primaire possédant un front d'onde souhaité et une qualité de faisceau améliorée. Le système laser et le procédé d'un autre mode de réalisation illustratif peuvent modifier la température d'un élément optique en verre photo-thermique réfractif (PTR) dopé avec un faisceau laser secondaire, de manière telle à stabiliser la température afin de réduire, voire d'éliminer, des gradients 30 thermiques dans l'élément optique en verre PTR de sorte que les performances de l'élément optique en verre PTR soient améliorées.

Un système laser 10 conformément à un mode de réalisation illustratif est illustré sur la figure 1. Le système laser comprend un milieu laser 12 configuré pour produire un faisceau laser primaire, comme cela est présenté dans le bloc 30 de la figure 2. Le milieu laser peut être réalisé de diverses manières, y compris par un ou 5 plusieurs lasers à état solide, un ou plusieurs lasers à semi-conducteur ou diodes laser ou analogues. Le système laser peut également comprendre un ou plusieurs éléments optiques, illustrés généralement sous forme d'élément optique 14. L'élément optique peut comprendre un amplificateur laser, une ou plusieurs lentilles, un ou plusieurs miroirs ou d'autres composants optiques. Le faisceau laser primaire est dirigé du 10 milieu laser à l'élément optique et le faisceau laser primaire peut alors se propager à travers ou être réfléchi ou autrement redirigé par l'élément optique ; voir bloc 32 de la figure 2.

Différentes parties du faisceau laser primaire peuvent être soumises à des différences de chemin optique durant leur propagation à travers le système laser 10. 15 Bien que les différences de chemin optique puissent être introduites durant la fabrication du milieu laser 12 et/ou du ou des éléments optiques 14, des différences de chemin optique peuvent également être introduites par des gradients thermiques sur le milieu laser et/ou le ou les éléments optiques. Bien que divers types de faisceaux laser puissent être utilisés, y compris des faisceaux laser à sommet plat et 20 annulaires, dans un cas d'un faisceau laser gaussien dans lequel l'intensité est supérieure au centre du faisceau laser, des éléments optiques peuvent devenir plus chauds lorsque le centre du faisceau laser est incident sur un élément optique, ce qui crée un gradient de température dans l'élément optique. Le gradient de température dans l'élément optique peut faire en sorte qu'un faisceau laser initialement généré, 25 dans lequel des photons sont en phase, devienne déphasé ou présente des différences de chemin optique. En conséquence des différences de chemin optique subies par différentes parties du faisceau laser primaire, le front d'onde du faisceau laser primaire peut différer en phase, forme, etc. du front d'onde souhaité, réduisant ainsi la qualité de faisceau résultante du faisceau laser primaire.

30 Afin d'aborder les différences de chemin optique et l'impact délétère sur le front d'onde et la qualité de faisceau, le système laser 10 peut également comprendre une source laser secondaire 16 configurée pour produire un faisceau laser secondaire, tel que celui présenté dans le bloc 34 de la figure 2. La source laser secondaire peut

être réalisée de diverses manières, y compris par un ou plusieurs lasers à état solide, un ou plusieurs lasers à semi-conducteur ou diodes laser ou analogues. Bien que le milieu laser 12 et la source laser secondaire 16 puissent être réalisés par le même type de laser, le milieu laser et la source laser secondaire peuvent être réalisés par 5 différents types de lasers dans certains modes de réalisation.

Comme cela est représenté sur la figure 1, le système laser 10 d'un mode de réalisation illustratif comprend également un modulateur spatial de lumière 18. Le modulateur spatial de lumière est configuré pour recevoir le faisceau laser secondaire et pour moduler spatialement le faisceau laser secondaire pour créer un faisceau laser secondaire spatialement modulé pour posséder un motif spatial d'intensité, comme cela est présenté dans le bloc 36 de la figure 2. En modulant spatialement le faisceau laser secondaire, différentes parties du faisceau laser secondaire peuvent posséder, de façon correspondante, différentes intensités. Par exemple, certaines parties du faisceau laser secondaire peuvent posséder une intensité supérieure à celle d'autres 10 parties du faisceau laser secondaire, qui possèdent une intensité inférieure. Le faisceau laser secondaire peut être spatialement modulé ou déformé, en utilisant un miroir déformable par exemple, pour modifier le motif d'intensité du faisceau laser secondaire, de sorte que le faisceau laser secondaire puisse réguler, de façon pouvant être commandée, l'intensité locale d'énergie thermique dans le volume dans lequel le 15 faisceau laser est incident sur un élément optique pour ainsi commander la dilatation ou contraction thermique de l'élément optique. Par conséquent, en modulant ou déformant spatialement le motif spatial d'intensité du faisceau laser secondaire pour réguler l'énergie thermique dans le volume d'élément optique sur lequel le faisceau laser est incident ou à l'extérieur du volume sur lequel le faisceau laser est incident, 20 la dilatation ou contraction thermique dans l'élément optique est commandée afin de modifier la sortie du front d'onde du faisceau laser primaire en fonction du front d'onde mesuré, pour ainsi corriger, par exemple, minimiser, des aberrations de front d'onde ou des différences de chemin optique entraînées par des gradients thermiques dans les éléments optiques. Comme cela est décrit ci-dessous, la modulation spatiale 25 peut être réalisée de sorte que l'incidence du faisceau laser secondaire sur le milieu laser 12 ou l'autre élément optique 14 modifie le front d'onde du faisceau laser primaire afin de compenser au moins partiellement des aberrations optiques à l'intérieur du système laser. Le modulateur spatial de lumière peut être réalisé de 30

diverses manières y compris, par exemple, sous forme d'élément optique transmissif ou réfléchissant, tel qu'un miroir déformable, pour former spatialement le profil d'intensité du faisceau laser secondaire.

La source laser secondaire 16 et le modulateur spatial de lumière 18 peuvent 5 être disposés avec la cavité laser. En variante, la source laser secondaire et le modulateur spatial de lumière peuvent être un système extra-cavité, configuré pour permettre la contraction ou expansion thermique commandée d'éléments optiques à l'intérieur de ou à l'extérieur de la cavité laser. Dans un mode de réalisation dans lequel le modulateur spatial de lumière est réalisé sous forme de miroir déformable et 10 dans lequel la source laser secondaire et le modulateur spatial de lumière sont un système extra-cavité, la cavité laser n'a pas besoin de comprendre le miroir déformable, réduisant ainsi les dépenses et la complexité du système laser 10, par exemple en éliminant un système dilatateur de faisceau qui peut autrement être nécessaire si le miroir déformable était disposé à l'intérieur de la cavité laser.

15 Comme cela est présenté dans le bloc 38, le faisceau laser secondaire spatialement modulé est dirigé afin d'être incident sur le milieu laser 12 et/ou au moins un élément optique 14 afin de faire en sorte que des parties respectives du milieu laser et/ou de l'élément optique, sur lequel le faisceau laser secondaire spatialement modulé est incident, se dilatent ou se contractent thermiquement. Le 20 faisceau laser secondaire spatialement modulé est incident sur un élément optique dans le système laser de la figure 1. En variante, le faisceau laser secondaire spatialement modulé peut être incident sur le milieu laser, en plus ou au lieu d'être incident sur un autre élément optique. Le milieu laser ou l'autre élément optique sur lequel le faisceau laser secondaire spatialement modulé est incident comprend un 25 dopant qui est excité par de la lumière de la longueur d'onde du faisceau laser secondaire. Bien que la longueur d'ondes des faisceaux laser primaire et secondaire puisse être la même, le faisceau laser secondaire d'un mode de réalisation illustratif possède une longueur d'onde différente de celle de la longueur d'onde du faisceau laser primaire, la longueur d'onde du faisceau laser secondaire étant définie de concert avec le dopant de sorte que le dopant soit excité par de la lumière possédant la longueur d'onde du faisceau laser secondaire, mais ne soit pas excité par de la lumière possédant la longueur d'onde du faisceau laser primaire. A cet égard, le dopant est sélectionné de sorte que le milieu laser et/ou l'élément (les éléments) 30

optique(s) qui comprend le dopant absorbe au moins une partie de l'énergie du faisceau laser secondaire et émette l'énergie sous forme de lumière d'une longueur d'onde différente, par exemple, plus élevée. Par exemple, le dopant peut être de l'ytterbium (Yb) dans un cas dans lequel l'élément optique est formé de KPb_2Cl_5 et 5 le faisceau laser secondaire possède une longueur d'onde de 986 nm. A titre d'autre exemple, Yb peut servir de dopant dans un cas dans lequel l'élément optique est formé de grenat d'yttrium et d'aluminium (YAG) et le faisceau laser secondaire possède une longueur d'onde d'1 μm .

En conséquence de la modulation spatiale du faisceau laser secondaire, 10 différentes parties du faisceau laser secondaire possèdent différentes intensités. Ainsi, le faisceau laser secondaire spatialement modulé fait en sorte que les diverses parties du milieu laser 12 ou de l'autre élément optique 14, sur lequel le faisceau laser secondaire spatialement modulé est incident, soient thermiquement contractées ou dilatées différemment. Dans le mode de réalisation illustré dans lequel le faisceau 15 laser secondaire spatialement modulé est incident sur un élément optique afin d'entraîner la contraction thermique, la contraction thermique des parties de l'élément optique, qui sont irradiées par les parties du faisceau laser secondaire spatialement modulé possédant une intensité supérieure, est entraînée davantage que celle des parties de l'élément optique qui sont irradiées par d'autres parties du 20 faisceau laser secondaire spatialement modulé qui possèdent une intensité inférieure. La contraction ou dilatation thermique différentielle de l'élément optique en réponse au faisceau laser secondaire spatialement modulé modifie différemment, de façon correspondante, la différence de chemin optique à travers l'élément optique, les 25 parties de l'élément optique qui sont plus thermiquement contractées possédant un chemin optique réduit par rapport à d'autres parties de l'élément optique qui sont moins thermiquement contractées (ou sont thermiquement dilatées) par le faisceau laser secondaire spatialement modulé.

La différence de chemin optique créée par l'élément optique 14 en réponse à l'incidence du faisceau laser secondaire spatialement modulé modifie le front d'onde 30 du faisceau laser primaire. En prenant en compte les aberrations autrement introduites par le système laser 10, en l'absence du faisceau laser secondaire, sur la propagation du faisceau laser primaire à travers celui-ci, des différences de chemin optique peuvent être introduites dans un élément optique par le faisceau laser

secondaire spatialement modulé afin de compenser au moins partiellement, voire complètement, les aberrations optiques, améliorant ainsi le front d'onde et la qualité de faisceau du faisceau laser primaire.

A titre d'exemple, la grille 50 de la figure 3 illustre la différence relative de 5 chemin optique subie par différentes parties du faisceau laser primaire durant sa propagation à travers le système laser 10 en l'absence du faisceau laser secondaire. Comme cela est représenté, un nombre de parties du faisceau laser primaire subissent de plus grandes différences de chemin optique que d'autres parties du faisceau laser primaire qui subissent de plus petites différences de chemin optique. Par exemple, la 10 partie supérieure gauche 50a du front d'onde du faisceau laser primaire est soumise à une plus grande différence de chemin optique, alors que la partie inférieure gauche 50b du front d'onde du faisceau laser primaire est soumise à une plus petite différence de chemin optique. Comme cela est noté ci-dessus, ces différences de 15 chemin optique peuvent être dues à une variété de facteurs, y compris la fabrication du milieu laser 12 et des éléments optiques 14, des gradients thermiques à l'intérieur des éléments optiques, etc.

Afin de modifier le front d'onde du faisceau laser primaire d'une manière qui 20 compense les aberrations autrement introduites par les différences de chemin optique à l'intérieur du système laser 10, le faisceau laser secondaire peut être spatialement modulé de sorte que les parties de l'élément optique 14, à travers lesquelles les 25 parties du faisceau laser primaire qui subissent de plus grandes différences de chemin optique se propagent, soient soumises à un faisceau laser secondaire d'intensité supérieure qui, à son tour, sert à faire en sorte que les parties respectives de l'élément optique se contractent thermiquement lorsque le faisceau laser est utilisé pour 30 refroidir l'élément optique, réduisant ainsi la longueur du chemin optique à travers l'élément optique subie par les parties respectives du faisceau laser primaire. Voir, par exemple, la grille 52 de la figure 3 qui définit les différentes parties du faisceau laser secondaire spatialement modulé pour posséder une intensité élevée ou une faible intensité. Comme cela est représenté, les parties du faisceau laser secondaire spatialement modulé qui possèdent une intensité élevée, telles que la partie supérieure gauche 52a, correspondent de façon positionnelle aux parties du faisceau laser primaire qui ont subi les plus grandes différences de chemin optique, telles que la partie supérieure gauche 50a de la grille 50.

En continuant avec l'exemple précédent, le faisceau laser secondaire peut également être spatialement modulé de sorte que les parties de l'élément optique 14, à travers lesquelles les parties du faisceau laser primaire qui subissent de plus petites différences de chemin optique se propagent, soient soumises à un faisceau laser secondaire d'intensité inférieure, ce qui, à son tour, sert à faire en sorte que les parties respectives de l'élément optique se contractent thermiquement afin de réduire la longueur du chemin optique à travers l'élément optique subie par les parties respectives du faisceau laser primaire, quoique selon une quantité sensiblement plus petite que la réduction de la longueur du chemin optique créée par les parties à 5 intensité supérieure du faisceau laser secondaire. Voir par exemple, la partie inférieure gauche 52b de la grille 52 de la figure 3 qui montre que la partie respective du faisceau laser secondaire spatialement modulé possède une faible intensité. Comme cela est représenté, les parties du faisceau laser secondaire spatialement modulé qui possèdent une faible intensité, telles que la partie inférieure gauche 52b, 10 correspondent de façon positionnelle aux parties du faisceau laser primaire qui ont subi les plus petites différences de chemin optique, telles que la partie inférieure gauche 50b de la grille 50. A ce titre, le faisceau laser secondaire spatialement modulé modifie efficacement le chemin optique à travers différentes parties de l'élément optique respectif d'une manière qui compense, partiellement ou 15 entièrement, les différences de chemin optique autrement subies par le faisceau laser primaire à l'intérieur du système laser 10. Le faisceau laser primaire résultant peut alors être sorti, comme cela est présenté dans le bloc 40 de la figure 2.

Le faisceau laser secondaire spatialement modulé est décrit dans l'exemple précédent comme faisant en sorte que des parties respectives de l'élément optique 14 se contractent thermiquement. En variante, le faisceau laser secondaire spatialement modulé peut être configuré, par exemple en conséquence de l'utilisation d'une longueur d'onde différente, pour faire en sorte que des parties respectives de l'élément optique se dilatent thermiquement. Dans cet autre mode de réalisation, la dilatation thermique des parties respectives de l'élément optique peut être 20 commandée afin de compenser les différences de chemin optique autrement subies par le faisceau laser primaire à l'intérieur du système laser 10.

A titre d'exemple, l'astigmatisme est une opération optique définie par des polynômes de Zernike de $m = -1$ et $n = 2$. En conséquence de l'astigmatisme, le front

d'onde du faisceau laser primaire peut présenter un profil en forme de pommes chips en l'absence de la source laser secondaire 16. En introduisant, de façon pouvant être commandée, une contraction thermique d'un élément optique 14 d'une manière qui compense l'astigmatisme en modifiant les différences de chemin optique dans 5 l'inverse du profil en forme de pommes chips, le faisceau laser primaire résultant possédera une qualité de faisceau améliorée avec un front d'onde plus plat.

Le système laser 10 peut être mis en fonctionnement dans un mode statique dans lequel le faisceau laser secondaire est spatialement modulé de manière fixe prédefinie. Dans ce mode de réalisation, le modulateur spatial de lumière 18 peut être 10 réalisé par une plaque correctrice possédant une conception fixe. En variante, le système laser peut être mis en fonctionnement à dépendance chronologique dans lequel le faisceau laser secondaire est spatialement modulé de manière prédefinie qui varie au fil du temps. Par exemple, le faisceau laser secondaire peut être spatialement modulé d'une manière à dépendance chronologique, la modulation spatiale variant de 15 manière préterminée suivant le démarrage du système laser jusqu'à ce que le système laser ait atteint un fonctionnement en régime permanent, auquel instant la modulation spatiale du faisceau laser secondaire peut être fixée.

En outre, le système laser 10 peut être mis en fonctionnement de manière adaptative. Dans ce mode de réalisation illustratif, le système laser peut comprendre 20 un capteur de front d'onde 20 configuré pour mesurer le front d'onde du faisceau laser primaire. Le système laser de ce mode de réalisation illustratif comprend également un dispositif de commande 22, tel qu'un ordinateur, un processeur ou analogues, qui répond au capteur de front d'onde et, plus particulièrement, au front d'onde du faisceau laser primaire mesuré par le capteur de front d'onde. Le dispositif 25 de commande est configuré pour commander la modulation spatiale du faisceau laser secondaire fourni par le modulateur spatial de lumière 18 en fonction du front d'onde du faisceau laser primaire, tel qu'il est mesuré par le capteur de front d'onde. Ainsi, le dispositif de commande est configuré pour déterminer, à partir du front d'onde du faisceau laser primaire qui a été mesuré par le capteur de front d'onde, les parties du 30 front d'onde qui ont subi des différences de chemin optique plus grandes que celles subies par d'autres parties du front d'onde. Le dispositif de commande de ce mode de réalisation commande alors, de façon correspondante, le modulateur spatial de lumière pour moduler le faisceau laser secondaire afin de créer un faisceau laser

secondaire spatialement modulé possédant un motif spatial d'intensité configuré pour compenser les différences de chemin optique dans le front d'onde du faisceau laser primaire. Comme cela est représenté sur la figure 1, le dispositif de commande peut également être en communication avec la source laser secondaire 16 afin de 5 commander le fonctionnement de la source laser secondaire, par exemple en commandant la longueur d'onde et/ou la puissance du faisceau laser secondaire, commandant le fait que le faisceau laser secondaire est une onde continue ou est pulsé, etc.

Dans un mode de réalisation illustratif, le capteur de front d'onde 20 est 10 configuré pour mesurer à plusieurs reprises le front d'onde du faisceau laser primaire au fil du temps, par exemple à une fréquence prédéterminée. Dans ce mode de réalisation illustratif, le dispositif de commande 22 est également configuré pour modifier la modulation spatiale du faisceau laser secondaire fourni par le modulateur spatial de lumière 18 en fonction de changements du front d'onde du faisceau laser primaire, tel qu'il est mesuré par le capteur de front d'onde au fil du temps. Ainsi, le 15 système laser 10 peut tenir compte de changements des aberrations optiques introduites par les composants optiques du système laser et peut moduler spatialement, différemment, le faisceau laser secondaire afin de compenser les aberrations optiques, même lorsque les aberrations optiques changent.

Le faisceau laser secondaire spatialement modulé peut être configuré pour 20 être incident sur le milieu laser 12 ou l'autre élément optique 14 de diverses manières. Dans un mode de réalisation illustratif, le faisceau laser secondaire spatialement modulé se propage conjointement avec le faisceau laser primaire à travers un ou plusieurs composants optiques du système laser 10. A cet égard, le 25 faisceau laser secondaire spatialement modulé se propage à travers une variété de composants du système laser, le faisceau laser secondaire spatialement modulé affectant seulement l'élément optique qui a été dopé avec un dopant qui est excité par de la lumière possédant la longueur d'onde du faisceau laser secondaire. Au lieu de se propager conjointement avec le faisceau laser primaire à travers un nombre de 30 composants optiques du système laser, le faisceau laser secondaire spatialement modulé peut être injecté dans un seul composant, tel qu'un miroir, une lentille ou analogues, possédant un revêtement qui est réfléchissant pour de la lumière possédant la longueur d'onde du faisceau laser secondaire, et non pour de la lumière

possédant la longueur d'onde du faisceau laser primaire. Plutôt, le revêtement réfléchissant du composant optique peut être transparent à la lumière possédant la longueur d'onde du faisceau laser primaire. A ce titre, le faisceau laser secondaire spatialement modulé peut être injecté dans le composant optique et puis réfléchi hors 5 du système laser 10 par la surface réfléchissante afin de se propager seulement à travers le composant optique respectif sans se propager à travers d'autres composants optiques du système laser.

10 Comme cela est décrit, le système laser et le procédé d'un mode de réalisation illustratif font en sorte que des parties respectives d'un milieu laser 12 ou d'un autre élément optique 14 se contractent ou se dilatent thermiquement afin de modifier, de façon correspondante, le front d'onde du faisceau laser primaire. Par exemple, la dilatation ou contraction thermique de parties respectives du milieu laser ou de 15 l'autre élément optique peut être entraînée afin d'introduire des différences de chemin optique qui compensent des aberrations optiques autrement introduites par le système laser 10 de sorte que le front d'onde résultant du faisceau laser primaire présente une forme et une qualité de faisceau souhaitées, par exemple en éliminant des erreurs à la fois axisymétriques et non axisymétriques de front d'onde. En plus de compenser des aberrations optiques et d'améliorer, de façon correspondante, le front d'onde et la qualité de faisceau du faisceau laser primaire, le système laser peut 20 également, ou en variante, être configuré pour éliminer de la chaleur de masse du système ou d'ajouter de la chaleur de masse au système.

25 Bien que le mode de réalisation décrit ci-dessus comprenne une seule source laser secondaire 16, le système laser 10 d'autres modes de réalisation peut comprendre deux, ou plus, sources laser secondaires pour générer deux, ou plus, faisceaux laser secondaires possédant des longueurs d'ondes identiques ou différentes. Par exemple, les deux, ou plus, sources laser secondaires peuvent être configurées pour faire en sorte que différentes parties du milieu laser 12 ou de l'autre élément optique 14 se contractent ou se dilatent thermiquement. A titre d'exemple, et non de limitation, une des sources laser secondaires peut être configurée pour faire 30 en sorte que les parties de bord de l'élément optique se dilatent thermiquement et une autre source laser secondaire peut être configurée pour faire en sorte que la partie centrale de l'élément optique se contracte thermiquement. En outre ou en variante, le système laser peut comprendre deux, ou plus, milieux lasers pour générer deux, ou

plus, faisceaux laser primaires possédant des longueurs d'ondes similaires ou différentes. Le système laser d'un mode de réalisation illustratif peut également comprendre deux, ou plus, dispositifs de commande 22 et/ou deux, ou plus, modulateurs de lumière spatiaux 18.

5 Un autre mode de réalisation illustratif est illustré sur la figure 4. En plus du milieu laser 62 tel qu'il est décrit ci-dessus, le système laser 60 de ce mode de réalisation illustratif comprend un élément optique 64 sous forme d'élément optique en verre PTR dopé. L'élément optique en verre PTR est configuré pour recevoir le faisceau laser primaire à partir du milieu laser, directement ou suivant une propagation à travers un ou plusieurs autres composants optiques. L'élément optique en verre PTR peut avoir diverses fonctions. Par exemple, dans un mode de réalisation dans lequel le milieu laser comprend une pluralité de sources laser, l'élément optique en verre PTR peut être configuré pour combiner les faisceaux laser primaires à partir des sources laser en un seul faisceau laser primaire. A cet égard, l'élément optique en verre PTR peut servir de réseau optique.

10

15

Afin de modifier la température de l'élément optique en verre PTR 64, le système laser 60 de ce mode de réalisation peut également comprendre une source laser secondaire 66, telle qu'une diode laser, configurée pour produire un faisceau laser secondaire. Bien que les faisceaux laser primaire et secondaire puissent posséder la même longueur d'onde, le faisceau laser secondaire d'un mode de réalisation illustratif possède une longueur d'onde différente de celle de la longueur d'onde du faisceau laser primaire. A ce titre le, les longueurs d'onde des faisceaux laser primaire et secondaire sont séparées l'une de l'autre dans ce mode de réalisation illustratif. Le système laser de ce mode de réalisation illustratif est configuré de sorte que le faisceau laser secondaire soit incident sur l'élément optique en verre PTR. En conséquence du dopage de l'élément optique en verre PTR avec un ou plusieurs dopants qui sont excités par le faisceau laser secondaire, à savoir, par de la lumière possédant une longueur d'onde du faisceau laser secondaire, la température de l'élément optique en verre PTR dopé peut être modifiée, par exemple en étant stabilisée. Le dopant avec lequel l'élément optique en verre PTR est dopé est non seulement excité par le faisceau laser secondaire, mais, préférentiellement, absorbe de la lumière de la longueur d'onde du faisceau laser secondaire par rapport à de la lumière de la longueur d'onde du faisceau laser primaire. Bien que l'élément optique

20

25

30

en verre PTR puisse comprendre divers types de dopants, en fonction des longueurs d'onde relatives des faisceaux laser primaire et secondaire, l'élément optique en verre PTR d'un mode de réalisation illustratif peut comprendre, sans toutefois y être limité, un dopant néodymium (Nd), un dopant thulium (Th) ou un dopant ytterbium (Yb).

L'élément optique en verre PTR 64 peut être uniformément dopé avec le dopant. Dans un mode de réalisation dans lequel l'élément optique en verre PTR est irradié par le faisceau laser secondaire à partir d'un côté, de sorte que le faisceau laser secondaire se propage à travers l'élément optique en verre PTR d'une manière telle que l'énergie du faisceau laser secondaire se dissipe progressivement dans la totalité de l'élément optique en verre PTR, le profil de ce dopant à l'intérieur de l'élément optique en verre PTR peut être configuré pour ne pas être uniforme, mais pour posséder un profil qui varie d'une manière à compenser les différences de l'énergie du faisceau laser secondaire. Par exemple, l'élément optique en verre PTR de ce mode de réalisation illustratif peut comprendre un pourcentage réduit de dopant dans les parties qui subissent un faisceau laser secondaire d'énergie plus élevée et un pourcentage augmenté de dopant dans les parties qui subissent un faisceau laser secondaire possédant une énergie plus basse.

En réponse à l'incidence du faisceau laser secondaire, l'élément optique en verre PTR 64 peut être chauffé ou refroidi de façon relativement uniforme par l'excitation du dopant par de la lumière possédant la longueur d'onde du faisceau laser secondaire. Tout chauffage ou refroidissement supplémentaire de l'élément optique en verre PTR qui est créé par la propagation du faisceau laser primaire à travers celui-ci peut être d'échelle relativement petite par rapport au chauffage introduit par le faisceau laser secondaire. Ainsi, le faisceau laser primaire ne créera pas de gradient thermique, ou alors au moins dans une mesure bien moindre que le gradient thermique qui peut avoir été créé à l'intérieur d'un élément optique en verre PTR en l'absence de la stabilisation thermique par le faisceau laser secondaire. Dans un mode de réalisation illustratif, le faisceau laser secondaire peut être utilisé pour préchauffer l'élément optique en verre PTR avant l'introduction du faisceau laser primaire. Une fois que le faisceau laser primaire est introduit, l'intensité du faisceau laser secondaire peut être réduite et/ou le faisceau laser secondaire peut être discontinué. Cependant, en conséquence du préchauffage, les performances de

l'élément optique en verre PTR peuvent ne pas changer ou au moins ne pas changer autant suivant l'introduction du faisceau laser primaire.

Le faisceau laser secondaire peut être incident sur l'élément optique en verre PTR 64 de diverses manières. Dans un mode de réalisation illustratif, le faisceau laser secondaire est incident sur l'élément optique en verre PTR de manière relativement uniforme de sorte que toutes les parties de l'élément optique en verre PTR soient uniformément irradiées. Par exemple, une ou plusieurs surfaces de l'élément optique en verre PTR peuvent être enduites avec une surface réfléchissante 68, comme cela est représenté sur la figure 5. A cet égard, la surface réfléchissante est adaptée afin d'être réfléchissante pour de la lumière possédant la longueur d'onde du faisceau laser secondaire, mais d'être transparente à la lumière possédant la longueur d'onde du faisceau laser primaire. A ce titre, le faisceau laser secondaire peut être introduit dans l'élément optique en verre PTR de ce mode de réalisation illustratif à un angle de sorte qu'un motif en zigzag du faisceau laser secondaire soit établi à l'intérieur de l'élément optique en verre PTR, excitant ainsi 10 plus uniformément le dopant à l'intérieur de l'élément optique en verre PTR.

15

Un système laser 60 comprenant un élément optique en verre PTR 64 et un procédé associé sont donc proposés afin d'améliorer le front d'onde d'un faisceau laser primaire en réduisant ou éliminant des aberrations optiques autrement introduites par un gradient thermique dans l'élément optique en verre PTR. Comme cela est décrit ci-dessus, un élément optique en verre PTR peut comprendre un dopant sensible à un faisceau laser secondaire de sorte que l'exposition de l'élément optique en verre PTR au faisceau laser secondaire serve à modifier la température de l'élément optique en verre PTR dopé, par exemple en stabilisant la température de l'élément optique en verre PTR dopé, améliorant ainsi les performances du système laser comprenant l'élément optique en verre PTR.

20

25

De nombreuses modifications et autres aspects de l'invention exposée dans les présentes viendront à l'esprit de l'homme du métier auquel la présente invention appartient, bénéficiant des enseignements présentés dans les descriptions précédentes et sur les dessins associés. Donc, il faut entendre que l'invention ne doit pas être limitée aux aspects spécifiques décrits et que des modifications et autres aspects sont prévus pour être inclus au sein de la portée des revendications jointes. Bien que des

30

termes spécifiques soient utilisés dans les présentes, ils sont utilisés dans un sens générique et descriptif seulement et non dans un but limitatif.

REVENDICATIONS

1. Système laser (10), comprenant :

un milieu laser (12) configuré pour produire un faisceau laser primaire ;

au moins un élément optique (14) configuré pour recevoir le faisceau laser primaire ;

une source laser secondaire (16) configurée pour produire un faisceau laser

5 secondaire ; et

un modulateur spatial de lumière (18) configuré pour recevoir le faisceau laser secondaire et pour moduler spatialement le faisceau laser secondaire pour créer un faisceau laser secondaire spatialement modulé possédant un motif spatial d'intensité, dans lequel le système laser est configuré de sorte que le faisceau laser secondaire

10 spatialement modulé soit incident sur au moins un du milieu laser (12) ou de l'au moins un élément optique (14) afin de faire en sorte que des parties respectives de l'au moins un du milieu laser (12) ou de l'au moins un élément optique (14) sur

lequel le faisceau laser secondaire spatialement modulé est incident se contractent ou se dilatent thermiquement, modifiant ainsi de façon pouvant être commandée, le

15 front d'onde du faisceau laser primaire.

2. Système laser (10) selon la revendication 1, dans lequel le faisceau laser secondaire possède une longueur d'onde différente de celle du faisceau laser primaire.

20

3. Système laser (10) selon la revendication 2, dans lequel l'au moins un du milieu laser (12) ou de l'au moins un élément optique (14), sur lequel le faisceau laser secondaire spatialement modulé est incident, comprend au moins un dopant qui est excité en réponse à la longueur d'onde du faisceau laser secondaire.

25

4. Système laser (10) selon la revendication 1, comprenant en outre :

un capteur de front d'onde (20) configuré pour mesurer le front d'onde du faisceau laser primaire ; et

un dispositif de commande (22) configuré pour commander la modulation spatiale du faisceau laser secondaire fourni par le modulateur spatial de lumière en fonction du front d'onde du faisceau laser primaire mesuré par le capteur de front d'onde.

5. Système laser (10) selon la revendication 4, dans lequel le capteur de front d'onde (20) est configuré pour mesurer, à plusieurs reprises, le front d'onde du faisceau laser primaire au fil du temps, et dans lequel le dispositif de commande (22) est en outre configuré pour commander le modulateur spatial de lumière (18) pour modifier le motif spatial d'intensité du faisceau laser secondaire de sorte que le faisceau laser secondaire régule, de façon pouvant être commandée, de l'énergie thermique dans un volume de l'élément optique (14), en fonction de changements du front d'onde du faisceau laser primaire mesuré par le capteur de front d'onde (20) au fil du temps pour ainsi commander la dilatation ou contraction thermique dans l'élément optique (14) afin de minimiser des aberrations ou des différences de chemin optique dans le front d'onde du faisceau laser primaire.

6. Système laser (10) selon la revendication 1, comprenant en outre :

15 un capteur de front d'onde (20) configuré pour mesurer le front d'onde du faisceau laser primaire ; et

un dispositif de commande (22) configuré pour commander le fonctionnement de la source laser secondaire (16) en fonction du front d'onde du faisceau laser primaire qui a été mesuré.

20

7. Procédé de commande d'un front d'onde d'un faisceau laser primaire, le procédé comprenant :

la génération du faisceau laser primaire avec un milieu laser (12) ;

la direction du faisceau laser primaire vers au moins un élément optique (14) ;

25 la génération d'un faisceau laser secondaire ;

la modulation spatiale du faisceau laser secondaire pour créer un faisceau laser secondaire spatialement modulé possédant un motif spatial d'intensité ; et

la direction du faisceau laser secondaire spatialement modulé pour être incident sur au moins un du milieu laser (12) ou de l'au moins un élément optique (14) afin de faire en sorte que des parties respectives d'au moins un du milieu laser (12) ou de l'au moins un élément optique (14), sur lequel le faisceau laser secondaire spatialement modulé est incident, se contractent ou se dilatent thermiquement,

modifiant ainsi, de façon pouvant être commandée, le front d'onde du faisceau laser primaire.

8. Procédé selon la revendication 7, dans lequel la génération du faisceau laser secondaire comprend la génération du faisceau laser secondaire possédant une longueur d'onde différente de celle du faisceau laser primaire.

9. Procédé selon la revendication 8, dans lequel l'au moins un du milieu laser (12) ou de l'au moins un élément optique (14), sur lequel le faisceau laser secondaire spatialement modulé est incident, comprend au moins un dopant qui est excité en réponse à la longueur d'onde du faisceau laser secondaire.

10. Procédé selon la revendication 7, comprenant en outre :
la mesure du front d'onde du faisceau laser primaire ; et
15 la commande de la modulation spatiale du faisceau laser secondaire en fonction du front d'onde du faisceau laser primaire qui a été mesuré.

11. Procédé selon la revendication 10, comprenant en outre :
la mesure, à plusieurs reprises, du front d'onde du faisceau laser primaire au fil du
20 temps, et
la modification du motif spatial d'intensité du faisceau laser secondaire de sorte que
le faisceau laser secondaire régule, de façon pouvant être commandée, de l'énergie
thermique dans un volume de l'élément optique (14), en fonction de changements du
front d'onde du faisceau laser primaire mesuré au fil du temps pour ainsi commander
25 la dilatation ou contraction thermique dans l'élément optique (14) afin de minimiser
des aberrations ou des différences de chemin optique dans le front d'onde du faisceau
laser primaire.

12. Procédé selon la revendication 7, comprenant en outre :
30 la mesure du front d'onde du faisceau laser primaire ; et
la commande du fonctionnement de la source laser secondaire (16) en fonction du
front d'onde du faisceau laser primaire qui a été mesuré.

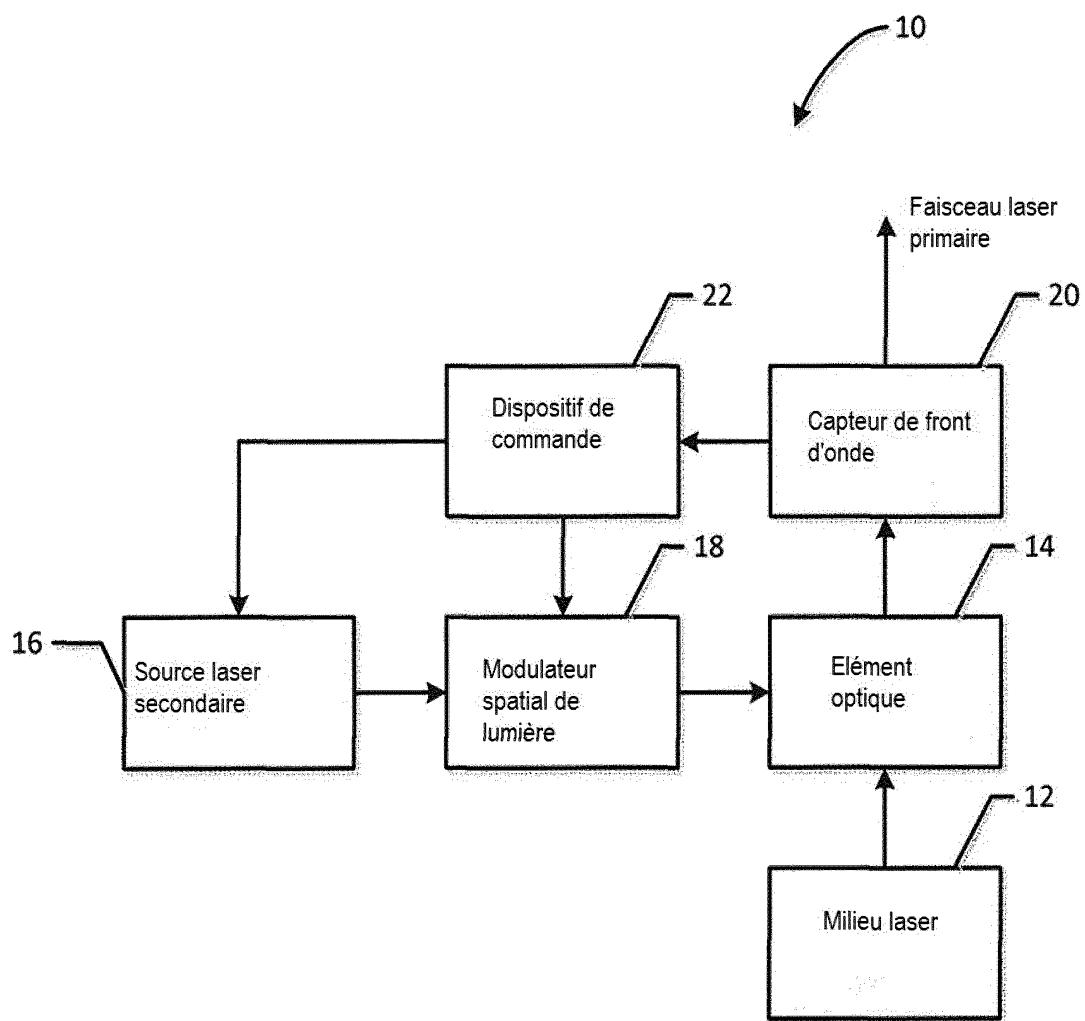


Figure 1

2/5

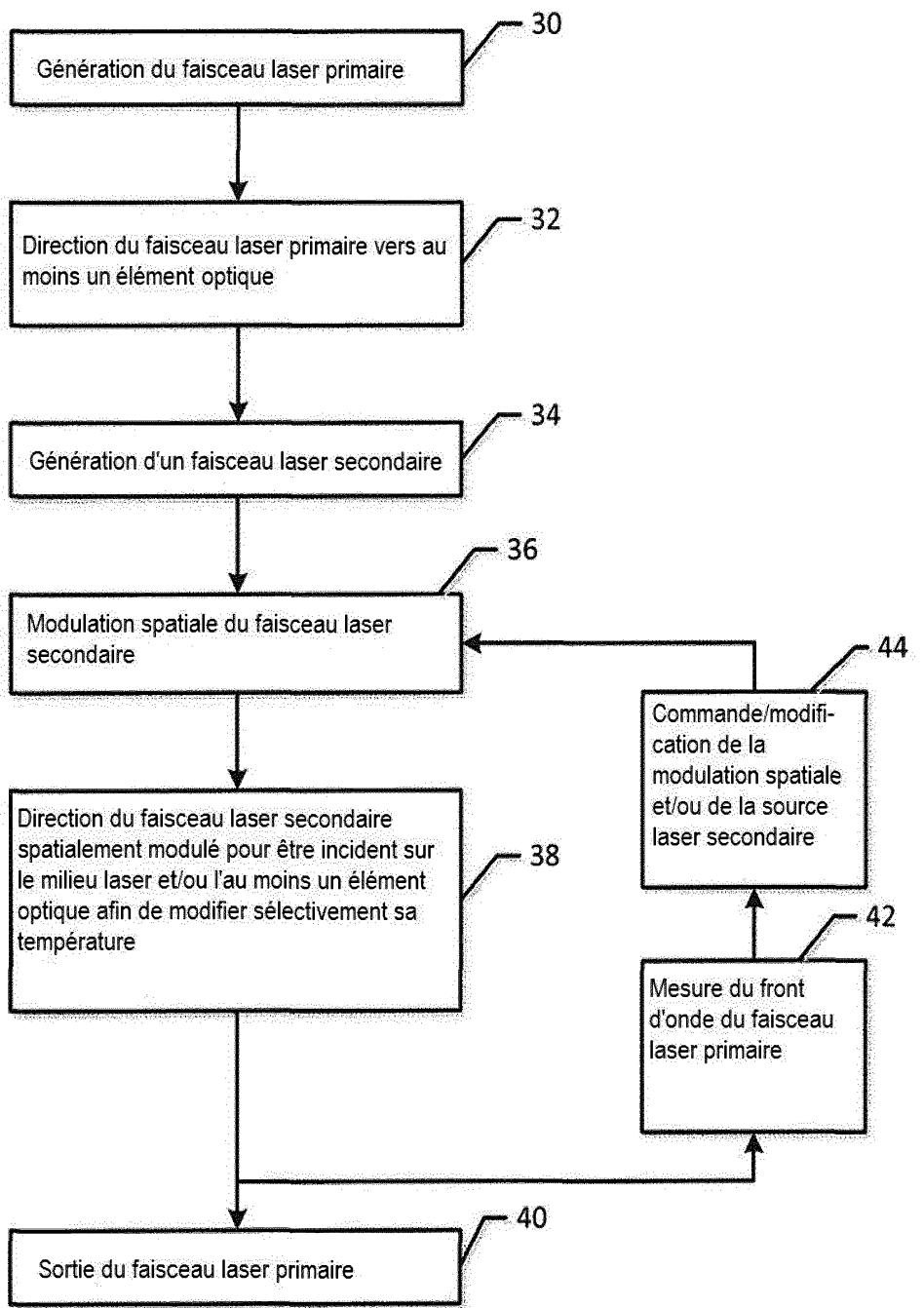


Figure 2

3/5

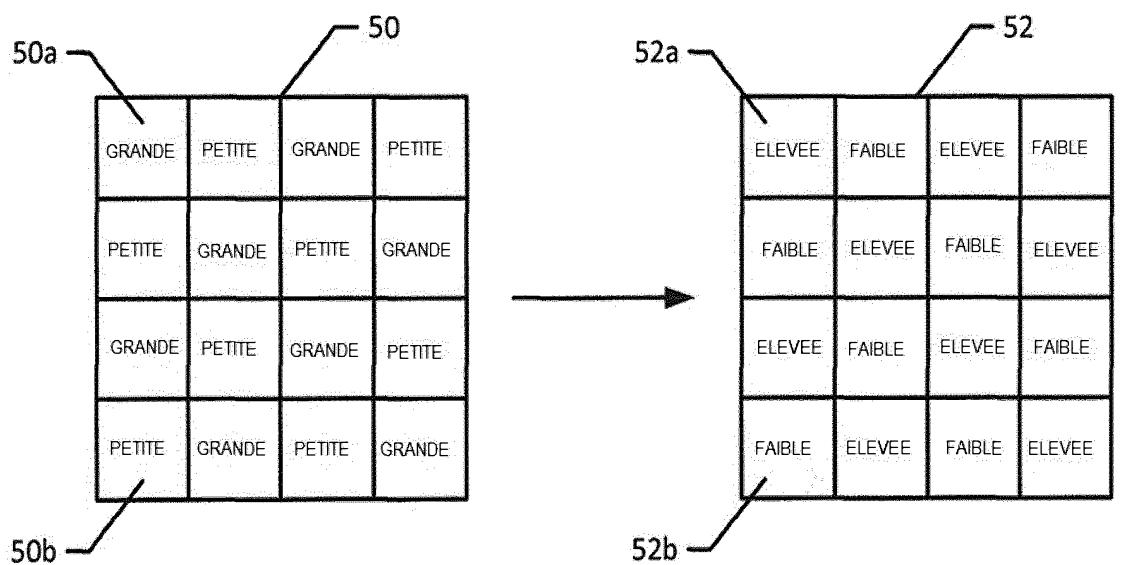


Figure 3

4/5

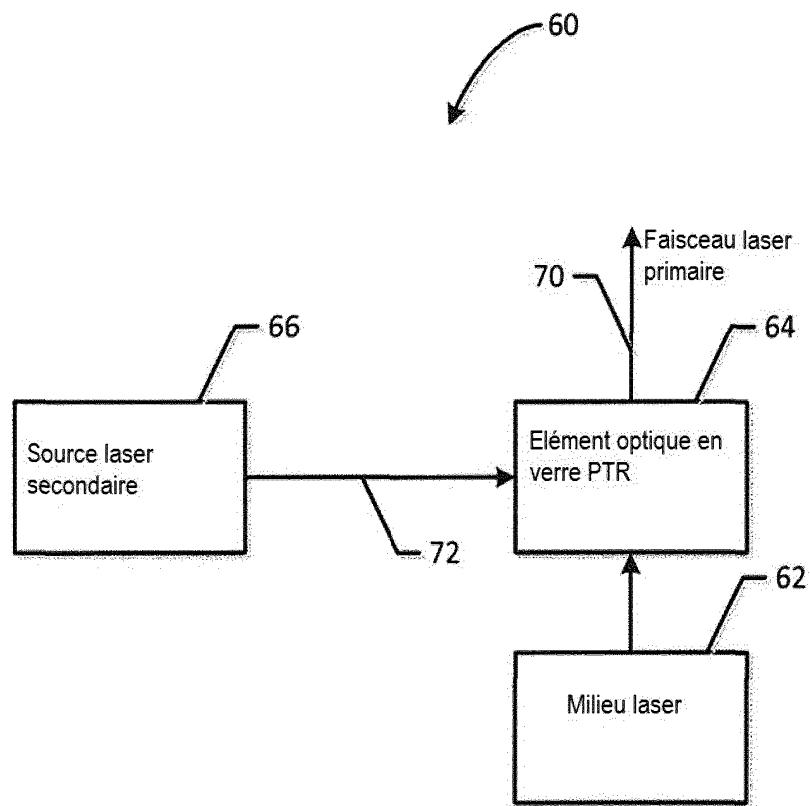


Figure 4

5/5

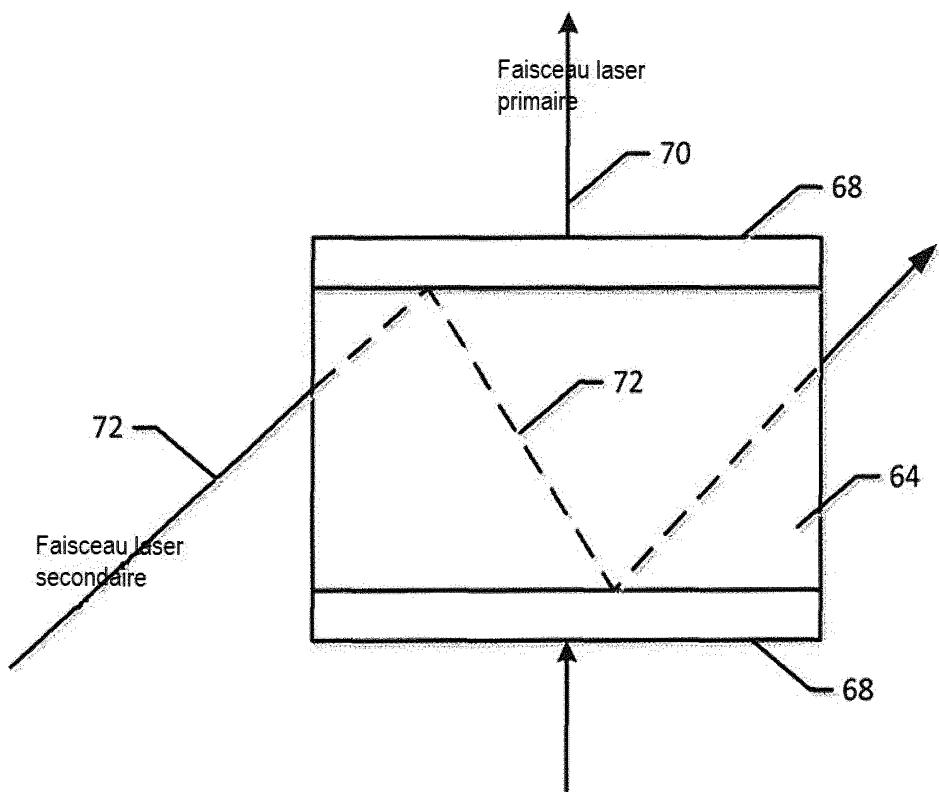


Figure 5

RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-17 et R.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveauté) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ÉTABLISSEMENT DU PRÉSENT RAPPORT DE RECHERCHE

- Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.
- Le demandeur a maintenu les revendications.
- Le demandeur a modifié les revendications.
- Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.
- Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.
- Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITÉS DANS LE PRÉSENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

- Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.
- Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.
- Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.
- Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN
CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

US 2010232007 A1 (BYREN ROBERT W [US] ET AL.)
16 septembre 2010 (2010-09-16)

US 2008187019 A1 (CHUNG TE-YUAN [TW])
07 août 2008 (2008-08-07)

US 5090795 A (O'MEARA THOMAS R [US] ET AL.)
25 février 1992 (1992-02-25)

US 6849841 B2 (BYREN ROBERT W [US] ET AL.)
01 février 2005 (2005-02-01)

US 6219360 B1 (KOMINE HIROSHI [US])
17 avril 2001 (2001-04-17)

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN
TECHNOLOGIQUE GENERAL**

NEANT

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND
DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT