

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
COURBEVOIE

①1 N° de publication : **3 124 960**  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national : **21 07540**

⑤1 Int Cl<sup>8</sup> : **B 22 F 10/31 (2020.12), B 22 F 10/368, B 33 Y 40/00**

①2

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 12.07.21.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 13.01.23 Bulletin 23/02.

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

⑥0 Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

Demande(s) d'extension :

⑦1 Demandeur(s) : *AddUp Société par actions simplifiée  
(SAS) — FR.*

⑦2 Inventeur(s) : DENAVIT Franck.

⑦3 Titulaire(s) : *AddUp Société par actions simplifiée  
(SAS).*

⑦4 Mandataire(s) : MANUFACTURE FRANCAISE DES  
PNEUMATIQUES MICHELIN.

⑤4 Procédé de calibration d'un capteur de surveillance d'un bain de fusion dans une machine de fabrication additive.

⑤7 L'invention concerne une méthode de calibration d'au moins un capteur de surveillance d'un bain de fusion appartenant à une machine de fabrication additive, la machine de fabrication additive comprenant au moins un capteur de surveillance d'un bain de fusion et au moins une source laser émettant un faisceau laser utilisé pour générer le bain de fusion, la méthode de calibration comprenant une étape d'exposition du capteur de surveillance à un rayonnement de référence issu d'une source lumineuse calibrée, la source lumineuse calibrée étant positionnée à l'intérieur de la machine de fabrication additive à l'aide d'un faisceau laser de pointage différent du faisceau laser utilisé pour générer le bain de fusion, le faisceau laser de pointage étant visible à l'œil nu par un opérateur et ne présentant pas de danger pour un opérateur.

Figure de l'abrégé : aucune

FR 3 124 960 - A1



## Description

### **Titre de l'invention : Procédé de calibration d'un capteur de surveillance d'un bain de fusion dans une machine de fabrication additive.**

- [0001] La présente invention est relative à la calibration d'un capteur de surveillance d'un bain de fusion dans une machine de fabrication additive, notamment dans une machine de fabrication additive par dépôt de lit de poudre et fusion sélective.
- [0002] La fabrication additive par dépôt de lit de poudre et fusion sélective est un procédé de fabrication additif dans lequel une ou plusieurs pièces sont fabriquées par la fusion sélective de différentes couches de poudre de fabrication additive superposées les unes sur les autres. La première couche de poudre est déposée sur un support tel un plateau, puis fusionnée sélectivement à l'aide d'une ou plusieurs sources d'énergie ou de chaleur selon une première section horizontale de la ou des pièces à fabriquer. Puis, une deuxième couche de poudre est déposée sur la première couche de poudre qui vient d'être fusionnée, et cette deuxième couche de poudre est fusionnée sélectivement à son tour, et ainsi de suite jusqu'à la dernière couche de poudre utile à la fabrication de la dernière section horizontale de la ou des pièces à fabriquer.
- [0003] Pour s'assurer de la qualité des pièces fabriquées et anticiper d'éventuels dysfonctionnements des moyens de fabrication, les machines de fabrication additive peuvent être équipées de systèmes de surveillance du bain de fusion généré dans chaque couche de poudre par la ou les sources d'énergie ou de chaleur utilisées pour la fusion sélective. Par exemple, un système de surveillance d'un bain de fusion comprend un capteur permettant de mesurer le niveau d'émission thermique de ce bain de fusion.
- [0004] Pour obtenir une surveillance précise du bain de fusion dans une machine de fabrication additive ou pour comparer les résultats de la surveillance du bain de fusion dans une première machine avec les résultats d'une surveillance du bain de fusion dans une deuxième machine, il est nécessaire de calibrer le capteur du système de surveillance du bain de fusion de chaque machine.
- [0005] La demande US2019323951 propose une méthode et un dispositif de calibration du système de surveillance d'un bain de fusion d'une machine de fabrication additive.
- [0006] Dans la demande US2019323951, le dispositif de calibration comprend un plateau de calibration 232 supportant une source lumineuse calibrée 240.
- [0007] Pour le bon déroulement du procédé de calibration, la source lumineuse calibrée doit être positionnée très précisément dans la machine et par rapport au capteur du dispositif de surveillance du bain de fusion. A cet effet, la source lumineuse calibrée est positionnée très précisément sur le plateau de calibration, et le plateau de ca-

libration est positionné très précisément dans la machine, notamment à l'aide de moyens de positionnement 234, 236.

- [0008] Ce positionnement précis et nécessaire de la source lumineuse par rapport au capteur du dispositif de surveillance du bain de fusion constitue un premier inconvénient de la méthode et du dispositif de calibration décrits dans la demande US2019323951.
- [0009] En effet, toutes les machines devant être calibrées doivent permettre de recevoir le plateau de calibration avec ses moyens de positionnement, et avec la même précision par rapport au capteur de leur propre système de surveillance du bain de fusion.
- [0010] Par conséquent, seules des machines identiques et permettant de recevoir à une position précise le plateau avec ses moyens de positionnement peuvent être calibrées avec la méthode et le dispositif de calibration décrits dans la demande US2019323951.
- [0011] Suite au positionnement précis de la source lumineuse calibrée dans la machine, la méthode de calibration décrite dans la demande US2019323951 prévoit d'exposer le capteur du système de surveillance à un rayonnement de référence émis par la source lumineuse calibrée, de mesurer ce rayonnement de référence à l'aide du système de surveillance, de comparer la valeur mesurée par le système de surveillance à une valeur mesurée de référence, et de régler le système de surveillance afin qu'il délivre une valeur mesurée identique à la valeur mesurée de référence. Pour cette étape de réglage, il est notamment prévu de modifier un gain physique, une focalisation optique, la position d'un filtre, un gain électronique ou même le remplacement d'un capteur.
- [0012] Cette étape finale de réglage constitue un autre inconvénient de la méthode décrite dans la demande US2019323951 et peut aussi empêcher l'utilisation de cette méthode sur tout type de machine. En effet, les opérations permettant le réglage du système de surveillance peuvent être difficiles à mettre en œuvre, voire impossible à réaliser si le système de surveillance n'est pas prévu pour de tels réglages, ou les moyens offrant ces possibilités de réglage peuvent ne pas offrir de résolution de réglage suffisante.
- [0013] La présente invention a pour objectif de fournir un procédé de calibration d'un capteur de surveillance d'un bain de fusion dans une machine de fabrication additive qui ne présente pas les inconvénients précités.
- [0014] A cet effet, l'invention a pour objet une méthode de calibration d'au moins un capteur de surveillance d'un bain de fusion appartenant à une machine de fabrication additive, la machine de fabrication additive comprenant au moins un capteur de surveillance d'un bain de fusion et au moins une source laser émettant un faisceau laser utilisé pour générer le bain de fusion, la méthode de calibration comprenant une étape d'exposition du capteur de surveillance à un rayonnement de référence issu d'une source lumineuse calibrée.
- [0015] Selon l'invention, la source lumineuse calibrée est positionnée à l'intérieur de la machine de fabrication additive à l'aide d'un faisceau laser de pointage différent du

faisceau laser utilisé pour générer le bain de fusion, le faisceau laser de pointage étant visible à l'œil nu par un opérateur et ne présentant pas de danger pour un opérateur.

- [0016] Avantagement mais non obligatoirement, l'invention peut aussi prévoir que :
- la source lumineuse calibrée n'est pas liée à la machine de fabrication additive,
  - dans le cas où la machine de fabrication additive comprend un plateau de fabrication, la source lumineuse calibrée est posée sur le plateau de fabrication et positionnée sur ce plateau à l'aide du faisceau laser de pointage,
  - la source lumineuse calibrée est équipée d'une cible de visée pendant le positionnement de la source lumineuse calibrée dans la machine de fabrication additive, cette cible de visée étant retirée lors de l'étape d'exposition du capteur de surveillance au rayonnement de référence issu de la source lumineuse calibrée,
  - la cible de visée est principalement opaque sur toute sa surface et percée en un point de visée situé en son centre,
  - le point de visée est un trou circulaire d'un diamètre compris entre 0,5 mm et 1 mm,
  - la source laser générant le faisceau laser de pointage est intégrée à la source laser générant le faisceau laser utilisé pour générer le bain de fusion ou à la tête de balayage associée à la source laser générant le faisceau laser utilisé pour générer le bain de fusion,
  - le faisceau laser de pointage a une longueur d'onde comprise entre 400 nm et 700 nm,
  - le rayonnement de référence auquel chaque capteur est exposé est issu d'une source lumineuse calibrée en intensité lumineuse et en longueur d'onde, cette source lumineuse calibrée comprenant une lampe à filament équipée d'un dispositif de régulation de sa puissance lumineuse de sortie,
  - la lampe à filament est une lampe à filament en tungstène,
  - la source lumineuse calibrée émet un rayonnement dont la température de couleur est égale à 2796 K avec un écart de plus ou moins 15 K,
  - la source lumineuse calibrée émet un rayonnement dont la longueur d'onde est comprise entre 360 nm et 2500 nm, et dont le pic de rayonnement correspond sensiblement au spectre d'émission du rayonnement émis par le bain de fusion et qui doit être mesuré par le capteur de surveillance pendant un cycle de fabrication.
- [0017] L'invention est aussi relative à une source lumineuse calibrée pour la mise en œuvre de la méthode de calibration selon l'invention.
- [0018] Selon l'invention, cette source lumineuse calibrée comprend une lampe à filament équipée d'un dispositif de régulation de sa puissance d'émission, et ladite source lumineuse est équipée d'une cible de visée amovible.
- [0019] Par exemple et de manière non limitative concernant cette source lumineuse :
- la cible de visée est principalement opaque sur toute sa surface et percée en un point

de visée situé en son centre,

- le point de visée est un trou circulaire d'un diamètre compris entre 0,5 et 1 mm,
- la source lumineuse calibrée est équipée d'au moins un diffuseur optique et/ou d'un collimateur.

[0020] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront dans la description qui va suivre. Cette description, donnée à titre d'exemple et non limitative, se réfère aux dessins joints en annexe sur lesquels :

[0021] [Fig.1]

[0022] - la [Fig.1] est une représentation schématique d'une machine de fabrication additive dans laquelle la méthode de calibration selon l'invention peut être mise en œuvre,

[0023] [Fig.2]

[0024] - la [Fig.2] est une représentation schématique d'un système de surveillance d'un bain de fusion dans une machine de fabrication additive,

[0025] [Fig.3]

[0026] - la [Fig.3] illustre le positionnement d'une source lumineuse calibrée dans une machine de fabrication additive conformément à la méthode de calibration selon l'invention,

[0027] [Fig.4]

[0028] - la [Fig.4] est une vue de détail du positionnement d'une source lumineuse calibrée dans une machine de fabrication additive conformément à la méthode de calibration selon l'invention,

[0029] [Fig.5]

[0030] - la [Fig.5] est une représentation schématique des composants d'une source lumineuse calibrée pouvant être utilisée dans la méthode de calibration selon l'invention.

[0031] L'invention est relative à un procédé de calibration d'un capteur de surveillance d'un bain de fusion appartenant à une machine de fabrication additive telle qu'une machine de fabrication additive par dépôt de lit de poudre et fusion sélective.

[0032] Un exemple de machine de fabrication additive par dépôt de lit de poudre et fusion sélective est illustré en [Fig.1].

[0033] Une machine 10 de fabrication additive peut comprendre une enceinte de fabrication 12 et deux sources laser 141,142 émettant chacune un faisceau laser 161,162 permettant de fusionner de manière sélective une couche de poudre de fabrication additive déposée à l'intérieur de l'enceinte de fabrication 12. Les sources laser sont montées sur l'enceinte de fabrication et à l'extérieur de celle-ci, et des vitres 151,152 permettent aux faisceaux laser de traverser la paroi supérieure de l'enceinte de fabrication.

[0034] Afin de permettre une fusion sélective de chaque couche de poudre, chaque source

laser 141,142 est équipée d'une tête de balayage 171,172 comprenant des moyens mécaniques et optiques, tels différentes lentilles optiques et au moins un miroir, permettant de déplacer un faisceau laser et de contrôler sa focalisation à l'intérieur de l'enceinte de fabrication.

- [0035] L'enceinte de fabrication 12 est une enceinte fermée qui peut être remplie avec un gaz inerte tel l'azote. Avantageusement, il peut être prévu une circulation de gaz inerte dans l'enceinte de fabrication pour évacuer les fumées produites par la fusion de la poudre et refroidir le ou les gaz circulant dans l'enceinte de fabrication.
- [0036] A l'intérieur de l'enceinte de fabrication 12, la machine 10 de fabrication additive comprend au moins une zone de travail 18 définie par un plateau de fabrication 20 et une chemise de fabrication 22, le plateau 20 se translatant dans la chemise 22 sous l'effet d'un actionneur 24 tel un vérin.
- [0037] L'enceinte de fabrication 12 comprenant un plan de travail 26, la chemise 22 s'étend verticalement sous le plan de travail 26 et elle débouche dans le plan de travail 26 par une ouverture prévue dans ce dernier.
- [0038] Afin de réaliser les différentes couches de poudre utiles à la fabrication additive de la ou des pièces P à fabriquer, la machine comprend des moyens de dépôt d'une couche de poudre.
- [0039] Dans la machine illustrée à titre d'exemple en [Fig.1], ces moyens de dépôt d'une couche de poudre comprennent deux distributeurs de poudre 281,282 reliés à au moins un réservoir de poudre (non illustré) et deux tiroirs de réception de poudre 301,302 situés de part et d'autre de la zone de travail 18, ainsi qu'un dispositif d'étalement de poudre 32 pouvant prendre la forme d'un rouleau ou d'un racleur. Avantageusement, les fourreaux 341,342 recevant les tiroirs peuvent aussi être utilisés pour récupérer la poudre déposée en excès.
- [0040] En vue de la réalisation d'une couche de poudre sur la zone de travail 18, un cordon de poudre est délivré par un distributeur sur un tiroir, puis le dispositif d'étalement étale la poudre sur la zone de travail 18. Pour le dépôt du cordon de poudre, un tiroir se déplace en translation sous le distributeur auquel il est associé.
- [0041] Pour la mise en œuvre d'une surveillance des bains de fusion générés par les faisceaux 161,162 des deux sources laser 141,142, la machine 10 peut comprendre un système de surveillance d'un bain de fusion 361,362 associé à chaque source laser.
- [0042] Comme l'illustre la [Fig.2], un système de surveillance d'un bain de fusion 361,362 comprend au moins un capteur de surveillance 38 d'un bain de fusion.
- [0043] Un système de surveillance d'un bain de fusion 361,362 est placé entre la source laser 141,142 et sa tête de balayage 171,172. Ainsi, le faisceau laser 161, 162 émis par une source laser traverse le système de surveillance avant de pénétrer dans la tête de balayage 171,172 associée à cette source.

- [0044] Après son passage dans la tête de balayage, le faisceau laser 161, 162 vient fusionner sélectivement la couche de poudre présente sur le plateau de fabrication 20.
- [0045] Lors de la génération d'un bain de fusion par le faisceau laser, la poudre émet un rayonnement dont une partie 40 remonte vers la source laser 141,142 via les moyens optiques de sa tête de balayage. C'est cette partie 40 du rayonnement émis par la poudre qui est mesurée par le capteur de surveillance 38 d'un bain de fusion. A cet effet, un premier miroir semi-réfléchissant 42 est positionné sur le trajet du faisceau laser entre la source laser 141,142 et sa tête de balayage 171,172 de manière à permettre le passage du faisceau laser de la source laser vers sa tête de balayage et de manière à rediriger la partie 40 du rayonnement émis par la poudre en fusion et remontant vers la source laser vers le capteur de surveillance 38. Par exemple ce premier miroir semi-réfléchissant 42 est positionné à 45° par rapport à l'axe de propagation du faisceau laser entre la source laser et sa tête de balayage.
- [0046] Par exemple, le capteur de surveillance 38 d'un bain de fusion est un capteur thermique. Par exemple, le capteur de surveillance 38 d'un bain de fusion est un capteur thermique de type photodiode. En variante, le capteur de surveillance 38 d'un bain de fusion peut prendre la forme d'un pyromètre, d'une caméra de type optique, hyper-spectrale ou infrarouge.
- [0047] Par exemple, lorsqu'il est exposé à un rayonnement, le capteur de surveillance 38 délivre un signal relié par une fonction linéaire à la température de couleur de ce rayonnement. Par ailleurs, et lorsqu'il est exposé à un rayonnement de couleur de température donnée, le capteur de surveillance 38 délivre aussi un signal relié par une fonction linéaire à la puissance lumineuse de ce rayonnement.
- [0048] Par exemple, le capteur de surveillance 38 délivre un signal en tension.
- [0049] Pour améliorer la mesure effectuée par le capteur de surveillance 38, un filtre optique 44 et une lentille convergente 46 peuvent être positionnés sur le chemin optique suivi par la partie 40 du rayonnement émis par la poudre entre le miroir semi-réfléchissant 42 et le capteur de surveillance.
- [0050] Avantagusement, un système de surveillance d'un bain de fusion 361,362 peut aussi comprendre un capteur de puissance 48 du faisceau laser. Ce capteur de puissance 48 utilise le faisceau réfléchi 50 par le premier miroir semi-réfléchissant 42 lorsque le faisceau laser émis par la source laser traverse ce miroir. Un absorbeur de faisceau 52 et un second miroir semi-réfléchissant 54 peuvent être intercalés entre le premier miroir semi-réfléchissant 42 et le capteur de puissance 48 afin d'absorber une partie du faisceau réfléchi 50 et de moins solliciter le capteur de puissance 48. Un filtre optique 56 et un diffuseur 57 peuvent aussi être installés entre le second miroir semi-réfléchissant 54 et le capteur de puissance 48.
- [0051] Ce capteur de puissance 48 peut prendre la forme d'une photodiode ou d'une

thermopile.

[0052] D'une manière générale, la présente invention propose une méthode de calibration d'un capteur de surveillance d'un bain de fusion dans une machine de fabrication additive.

[0053] Par exemple, la méthode de calibration selon l'invention s'applique à une machine 10 de fabrication additive par dépôt de lit de poudre et fusion sélective, à un système de surveillance d'un bain de fusion 361,362, et à un capteur de surveillance 38 tels qu'ils viennent d'être décrits.

[0054] Pour sa mise en œuvre, cette méthode de calibration comprend notamment une étape d'exposition du capteur de surveillance 38 à un rayonnement de référence issu d'une source lumineuse calibrée 58.

[0055] Pour exposer le mieux possible le capteur de surveillance 38 au rayonnement de référence issu de la source lumineuse calibrée 58, il est nécessaire que cette source lumineuse calibrée soit positionnée précisément à l'intérieur de la chambre de fabrication 12 de la machine.

[0056] Au lieu de prévoir un positionnement précis de la source lumineuse calibrée par rapport au plateau de fabrication et au châssis de la machine obtenu par un montage mécanique très précis, l'invention prévoit de positionner la source lumineuse calibrée à l'intérieur de la machine de fabrication additive à l'aide d'un faisceau laser de pointage différent du faisceau laser utilisé pour générer le bain de fusion.

[0057] Autrement dit, la source lumineuse calibrée 58 n'est pas liée à la machine de fabrication additive. Cette source lumineuse calibrée est un dispositif indépendant de la machine de fabrication additive et qui peut être déplacé librement à l'intérieur de la chambre de fabrication de cette machine par l'opérateur chargé de réaliser la calibration.

[0058] Comme l'illustre la [Fig.3] et comme le prévoit l'invention, la source lumineuse calibrée 58 est posée sur le plateau de fabrication 20 et positionnée sur ce plateau à l'aide d'un faisceau laser de pointage 163 différent du faisceau laser 161,162 utilisé pour générer le bain de fusion.

[0059] Plus en détail, le faisceau laser de pointage 163 est visible à l'œil nu par un opérateur et ne présente pas de danger pour un opérateur. Le faisceau laser de pointage 163 a une longueur d'onde comprise entre 400 nm et 700 nm, et par exemple égale à 633 nm de manière à former un point rouge sur la surface ou le matériau sur lequel il est dirigé. Le positionnement de la source lumineuse calibrée 58 dans l'enceinte de fabrication 12 est effectué par un opérateur à l'aide de ce point rouge.

[0060] Le faisceau laser de pointage 163 est parfaitement coaxial au faisceau laser 161,162 utilisé pour générer le bain de fusion. A cet effet, la source laser 181,182 générant le faisceau laser de pointage 163 est intégrée à la source laser 141,142 générant le

faisceau laser 161,162 utilisé pour générer le bain de fusion ou à la tête de balayage 171,172 associée à la source laser 141,142 générant le faisceau laser 161,162 utilisé pour générer le bain de fusion.

- [0061] Idéalement et pour éviter toute erreur pouvant être induite par la tête de balayage, lors de ce positionnement de la source lumineuse calibrée 58 dans l'enceinte de fabrication 12, le faisceau laser de pointage 163 est dirigé par la tête de balayage vers le point d'origine du repère associé à cette tête de balayage. Par exemple, lors de ce positionnement de la source lumineuse calibrée 58 dans l'enceinte de fabrication 12, le faisceau laser de pointage 163 est dirigé dans une direction verticale sous la tête de balayage et vers la zone de travail 18.
- [0062] Pour aider l'opérateur à effectuer le positionnement de la source lumineuse calibrée 58 dans l'enceinte de fabrication 12, la source lumineuse calibrée 58 peut être équipée d'une cible de visée 60 amovible. Cette cible de visée 60 est placée sur un élément optique de sortie 62 par lequel le rayonnement de référence sort de la source lumineuse calibrée.
- [0063] Une fois le positionnement de la source lumineuse calibrée 58 effectué et pour ne pas gêner l'émission du rayonnement de référence, cette cible de visée 60 est retirée lors de l'étape d'exposition du capteur de surveillance 38 au rayonnement de référence issu de la source lumineuse calibrée.
- [0064] La cible de visée 60 est principalement opaque sur toute sa surface et percée en un point de visée 64 situé en son centre. La cible de visée est par exemple en verre dépoli. Plus en détail, le point de visée est un trou circulaire d'un diamètre compris entre 0,5 mm et 1 mm.
- [0065] Lors du positionnement de la source lumineuse calibrée 58 dans l'enceinte de fabrication 12, l'opérateur déplace la source lumineuse de manière à ce que le spot du faisceau laser de pointage, prenant par exemple la forme d'un point rouge, soit confondu avec le point de visée. Plus en détail, lorsque la source lumineuse est positionnée correctement dans l'enceinte de fabrication 12, le spot du faisceau laser de pointage disparaît dans le trou formant le point de visée, comme l'illustre la [Fig.4].
- [0066] Une source lumineuse calibrée 58 pouvant être utilisée dans la méthode de calibration selon l'invention est illustrée en [Fig.5].
- [0067] Cette source lumineuse calibrée 58 est une source lumineuse calibrée en intensité lumineuse et en longueur d'onde. Plus en détail, cette source lumineuse calibrée 58 peut comprendre une lampe à filament 66 équipée d'un dispositif, tel une carte, de régulation 68 de sa puissance lumineuse de sortie.
- [0068] Avantagusement, une lampe à filament est moins dangereuse à manipuler qu'un émetteur de type corps noir qui chauffe beaucoup, et elle offre une plus grande surface d'émission que des sources de type LED laser qui nécessitent une mise en forme plus

complexe de leur faisceau lumineux.

- [0069] Par exemple, la lampe à filament 66 est une lampe à filament en tungstène.
- [0070] La source lumineuse calibrée 58, via la lampe à filament 66, émet un rayonnement dont la température de couleur est de préférence égale à 2796 K avec un écart de plus ou moins 15 K, et donc sensiblement équivalente à celle du rayonnement d'un corps noir.
- [0071] Par exemple, la puissance lumineuse de sortie de la source lumineuse calibrée 58 est régulée autour d'une valeur nominale avec un écart inférieur à 0,05% de cette valeur nominale.
- [0072] La source lumineuse calibrée 58, via la lampe à filament 66, émet un rayonnement de référence dont la longueur d'onde est comprise entre 360 nm et 2500 nm, et dont le pic de rayonnement correspond sensiblement au spectre d'émission du rayonnement émis par le bain de fusion et qui doit être mesuré par le capteur de surveillance 38 pendant un cycle de fabrication, par exemple situé entre 1200 et 1700 nm.
- [0073] Pour améliorer l'homogénéité du rayonnement de référence, la source lumineuse calibrée 58 peut être équipée d'au moins un diffuseur optique 70.
- [0074] Dans l'exemple illustré en [Fig.5], le rayonnement de référence 72 émis par la lampe à filament 66 traverse un premier diffuseur 70, puis est réfléchi à 90° par un miroir 74 positionné à 45°, et enfin traverse un second diffuseur 70 qui est aussi l'élément optique de sortie 62 par lequel le rayonnement de référence 72 sort de la source lumineuse calibrée. Les deux diffuseurs 70 et le miroir 74 font partie de la source lumineuse calibrée 58.
- [0075] Toujours pour améliorer l'homogénéité du rayonnement de référence, un collimateur (non représenté) peut être placé entre la lampe à filament 66 et le premier diffuseur 70.
- [0076] La source lumineuse calibrée 58 utilisée dans la présente invention est une solution peu coûteuse et très compacte. De plus, cette source lumineuse calibrée 58 est un outil facilement transportable chez un client par exemple, et facile à mettre en œuvre.
- [0077] Grâce à cette source lumineuse calibrée 58 indépendante de la machine et à son positionnement dans la machine obtenu avec le faisceau laser de pointage, la méthode de calibration selon l'invention est utilisable avec tout type de machine de fabrication additive utilisant un faisceau laser pour générer un bain de fusion et disposant d'un faisceau laser de pointage.
- [0078] Selon un autre avantage, la méthode de calibration selon l'invention ne prévoit pas de réglage d'un système de surveillance d'un bain de fusion afin qu'il délivre une valeur mesurée identique à une valeur mesurée de référence lorsque le capteur de ce système de surveillance est exposé à un rayonnement de référence.
- [0079] Selon l'invention, pour la calibration d'un capteur de surveillance 38 d'un bain de fusion appartenant à un système de surveillance d'un bain de fusion d'une machine 10

de fabrication additive, la méthode comprend au moins les étapes suivantes :

- mesure et enregistrement de la valeur du signal transmis par le capteur de surveillance 38 lorsqu'il n'est pas exposé au rayonnement de référence 72,
- exposition du capteur de surveillance au rayonnement de référence 72,
- mesure et enregistrement de la valeur du signal transmis par ce capteur de surveillance lorsqu'il est exposé au rayonnement de référence,
- calcul d'un coefficient de correction pour ce capteur de surveillance à partir d'une valeur de référence associée au rayonnement de référence et des valeurs du signal transmis par ce capteur de surveillance lorsqu'il n'est pas soumis au rayonnement de référence et lorsqu'il est soumis au rayonnement de référence,
- enregistrement dans une table de correction du coefficient de correction propre à ce capteur de surveillance et de la valeur du signal transmis par le capteur de surveillance 38 lorsqu'il n'est pas exposé à un rayonnement de référence 72.

[0080] Par exemple, la valeur de référence associée au rayonnement de référence 72 est une valeur sans unité à la fois représentative de la puissance lumineuse de ce rayonnement de référence et de la température de couleur de ce rayonnement de référence.

[0081] Pour le calcul du coefficient de correction, il est considéré que le capteur de surveillance 38 transmet un signal relié par une fonction linéaire à la température de couleur du rayonnement auquel il est exposé, et que, lorsque le capteur de surveillance 38 est exposé à un rayonnement température de couleur donnée, le capteur de surveillance 38 délivre aussi un signal relié par une fonction linéaire à la puissance lumineuse de ce rayonnement.

[0082] De plus, le calcul du coefficient de correction prend aussi en considération un bruit de fond qui peut être mesuré par le capteur de surveillance lorsqu'il n'est pas exposé au rayonnement de référence.

[0083] Ainsi, lorsqu'il est exposé au rayonnement de référence, la valeur Y du signal transmis par le capteur de surveillance est reliée à la valeur de référence X associée au rayonnement de référence par la relation suivante :  $Y = a.X + b$ , où a est le coefficient de correction associé à ce capteur et b l'écart de mesure dû au bruit de fond mesuré par le capteur lorsqu'il n'est pas exposé au rayonnement de référence.

[0084] La méthode de calibration selon l'invention vise à déterminer le coefficient de correction a et l'écart de mesure b propres à chaque capteur de surveillance. Ces deux valeurs a et b sont stockées dans la table de correction pour chaque capteur de surveillance calibré avec la méthode selon l'invention et sont utilisées via une interpolation linéaire lors de la surveillance d'un bain de fusion pour corriger la valeur du signal transmis par chaque capteur et la faire correspondre à une valeur corrigée, sans unité et représentative à la fois de la puissance lumineuse du rayonnement du bain de fusion en cours de surveillance et de la température de couleur du rayonnement de ce

bain de fusion en cours de surveillance.

- [0085] Pour déterminer l'écart de mesure  $b$ , on mesure le signal transmis par le capteur de surveillance lorsqu'il n'est pas exposé au rayonnement de référence, de préférence avec l'enceinte de fabrication 12 de la machine fermée et la source lumineuse calibrée éteinte ou disposée à l'extérieur de l'enceinte de fabrication.
- [0086] Pour la détermination du coefficient de correction  $a$ , on expose le capteur de surveillance au rayonnement de référence auquel est associée la valeur de référence  $X$ , et on utilise la valeur  $Y$  transmise par ce capteur de surveillance lorsqu'il est exposé à ce rayonnement de référence, l'écart de mesure  $b$  de ce capteur de surveillance ayant déjà été mesuré, le coefficient de correction  $a$  est donné par la relation suivante :  $a = (Y-b)/X$ .
- [0087] Comme la source lumineuse calibrée 58 est choisie de façon à ce que son pic de rayonnement corresponde sensiblement au spectre d'émission du rayonnement émis par le bain de fusion qui doit être surveillé, la valeur de référence  $X$ , sans unité, peut être librement choisie. Toutefois, elle doit être choisie de manière à faciliter la lecture et la visualisation des valeurs transmises par le ou les capteurs de surveillance via un logiciel et sur un écran de surveillance par exemple.
- [0088] Par exemple, la table de correction associée à un capteur de surveillance est enregistrée dans le système de surveillance d'un bain de fusion dont fait partie ce capteur de surveillance. Un système de surveillance d'un bain de fusion comprenant une carte d'acquisition 191,192, la table de correction du ou des capteurs de surveillance de ce système de surveillance est par exemple stockée dans cette carte d'acquisition.
- [0089] Avantageusement, le coefficient de correction associé à un capteur de surveillance est calculé par la carte d'acquisition du système de surveillance dont fait partie ce capteur de surveillance.
- [0090] Avantageusement, la méthode de calibration selon l'invention peut être mise en œuvre avec un système de surveillance d'un bain de fusion, et notamment avec un capteur de surveillance d'un bain de fusion, qui n'offre pas de possibilité de réglage, du gain du capteur par exemple.
- [0091] Dans le cas où le gain électronique du capteur de surveillance est réglable, la méthode de calibration selon l'invention prévoit de régler ce gain électronique à une valeur prédéfinie avant les étapes de mesure et d'enregistrement des valeurs du signal transmis par ce capteur. Par exemple, le gain électronique du capteur de surveillance 38 est réglé à son maximum avant les étapes de mesure et d'enregistrement des valeurs du signal transmis par ce capteur. Toutefois, si le capteur de surveillance offre un niveau de signal suffisant lorsqu'il est réglé à son gain minimal, le gain électronique du capteur peut être laissé à sa valeur minimale afin de maximiser la bande passante de mesure du capteur.

- [0092] La méthode de calibration selon l'invention est plus particulièrement destinée à être mise en œuvre avec différents capteurs de surveillance.
- [0093] Selon un premier exemple, la méthode de calibration peut être mise en œuvre avec au moins deux capteurs de surveillance appartenant à une même machine de fabrication additive.
- [0094] Selon un deuxième exemple, la méthode de calibration peut être mise en œuvre avec au moins deux capteurs de surveillance appartenant à des machines de fabrication additive distinctes.
- [0095] Selon un troisième exemple, la méthode de calibration peut être mise en œuvre dans plusieurs machines de fabrication additive comprenant chacune plusieurs capteurs de surveillance d'un bain de fusion.
- [0096] Dans ces différentes situations, pour la calibration d'au moins deux capteurs de surveillance 38 d'un bain de fusion, la méthode comprend au moins les étapes suivantes :
- mesure et enregistrement de la valeur du signal transmis par chaque capteur de surveillance 38 lorsqu'il n'est pas exposé à un rayonnement de référence 72,
  - exposition de chaque capteur de surveillance au rayonnement de référence 72,
  - mesure et enregistrement de la valeur du signal transmis par chaque capteur de surveillance lorsqu'il est exposé au rayonnement de référence,
  - calcul d'un coefficient de correction pour chaque capteur de surveillance à partir d'une valeur de référence associée au rayonnement de référence et des valeurs du signal transmis par ce capteur de surveillance lorsqu'il n'est pas soumis au rayonnement de référence et lorsqu'il est soumis au rayonnement de référence,
  - enregistrement dans une table de correction du coefficient de correction propre à chaque capteur de surveillance et de la valeur du signal transmis par chaque capteur de surveillance 38 lorsqu'il n'est pas exposé à un rayonnement de référence 72.
- [0097] Enfin, et comme indiqué en début de description, la méthode de calibration selon l'invention est particulièrement destinée à être appliquée à un ou des capteurs de surveillance d'un bain de fusion dans une ou des machine(s) de fabrication additive par dépôt de lit de poudre et fusion sélective.

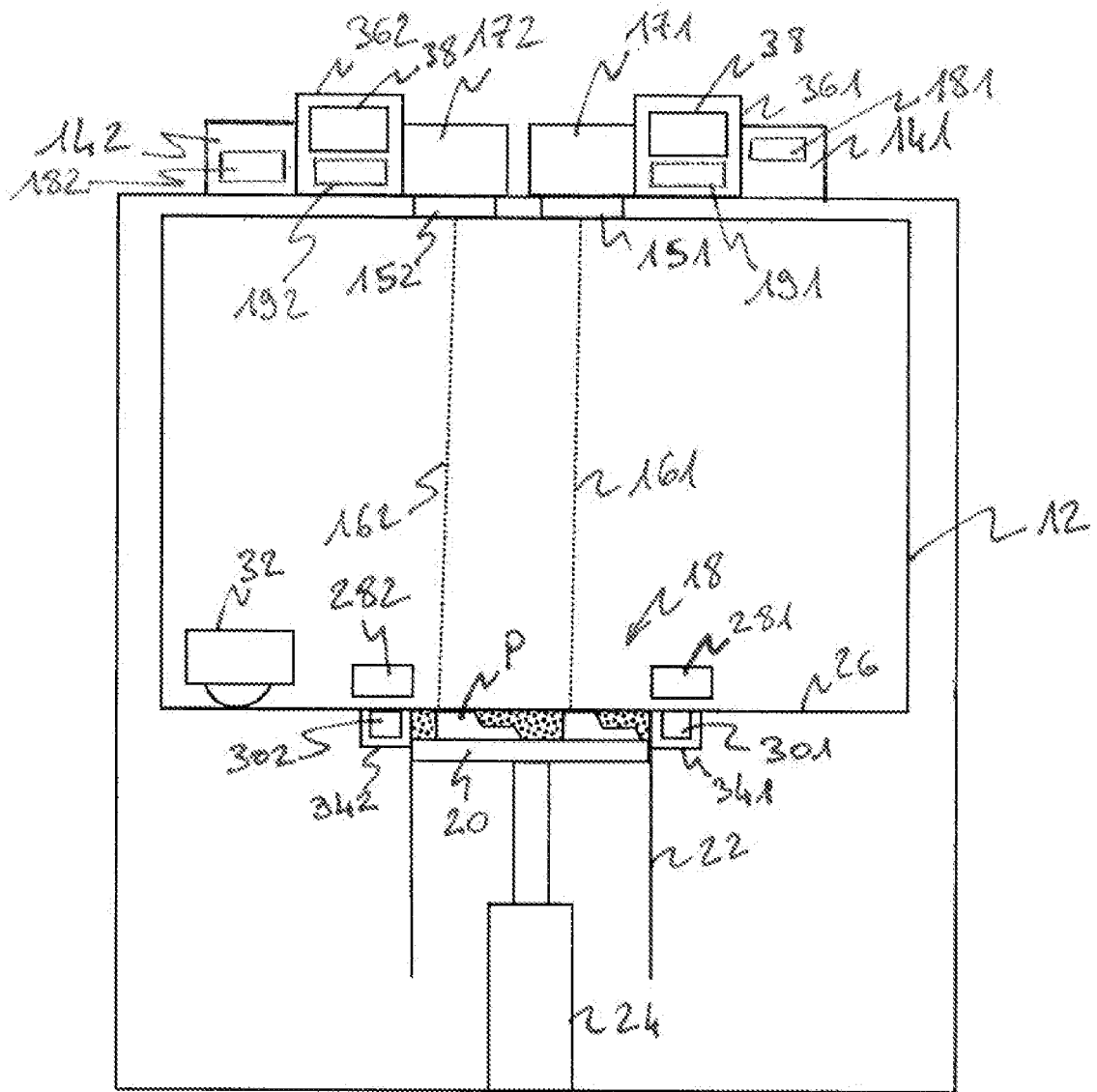
## Revendications

- [Revendication 1] Méthode de calibration d'au moins un capteur de surveillance (38) d'un bain de fusion appartenant à une machine (10) de fabrication additive, la machine de fabrication additive comprenant au moins un capteur de surveillance (38) d'un bain de fusion et au moins une source laser (141,142) émettant un faisceau laser (161,162) utilisé pour générer le bain de fusion, la méthode de calibration comprenant une étape d'exposition du capteur de surveillance à un rayonnement de référence issu d'une source lumineuse calibrée (58), la méthode de calibration étant caractérisée en ce que la source lumineuse calibrée est positionnée à l'intérieur de la machine de fabrication additive à l'aide d'un faisceau laser de pointage (163) différent du faisceau laser (161,162) utilisé pour générer le bain de fusion, le faisceau laser de pointage (163) étant visible à l'œil nu par un opérateur et ne présentant pas de danger pour un opérateur.
- [Revendication 2] Méthode de calibration selon la revendication 1, dans laquelle la source lumineuse calibrée n'est pas liée à la machine de fabrication additive.
- [Revendication 3] Méthode de calibration selon la revendication 2, dans laquelle, la machine de fabrication additive comprenant un plateau de fabrication (20), la source lumineuse calibrée est posée sur le plateau de fabrication et positionnée sur ce plateau à l'aide du faisceau laser de pointage (163).
- [Revendication 4] Méthode de calibration selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle la source lumineuse calibrée est équipée d'une cible de visée (60) pendant le positionnement de la source lumineuse calibrée dans la machine de fabrication additive, cette cible de visée étant retirée lors de l'étape d'exposition du capteur de surveillance au rayonnement de référence issu de la source lumineuse calibrée.
- [Revendication 5] Méthode de calibration selon la revendication 4, dans laquelle la cible de visée est principalement opaque sur toute sa surface et percée en un point de visée (64) situé en son centre.
- [Revendication 6] Méthode de calibration selon la revendication 5, dans laquelle le point de visée est un trou circulaire d'un diamètre compris entre 0,5 mm et 1 mm.
- [Revendication 7] Méthode de calibration selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle la source laser (181,182) générant le faisceau laser de pointage (163) est intégrée à la source laser (141,142) générant le faisceau laser (161,162) utilisé pour générer le bain de fusion ou à la tête de balayage

- associée à la source laser (141,142) générant le faisceau laser (161,162) utilisé pour générer le bain de fusion.
- [Revendication 8] Méthode de calibration selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle le faisceau laser de pointage (163) a une longueur d'onde comprise entre 400 nm et 700 nm.
- [Revendication 9] Méthode de calibration selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle, le rayonnement de référence auquel chaque capteur est exposé étant issu d'une source lumineuse calibrée en intensité lumineuse et en longueur d'onde, cette source lumineuse calibrée comprend une lampe à filament (66) équipée d'un dispositif de régulation (68) de sa puissance lumineuse de sortie.
- [Revendication 10] Méthode de calibration selon la revendication 9, dans laquelle la lampe à filament est une lampe à filament en tungstène.
- [Revendication 11] Méthode de calibration selon l'une des revendications 9 ou 10, dans laquelle la source lumineuse calibrée (58) émet un rayonnement dont la température de couleur est égale à 2796 K avec un écart de plus ou moins 15 K.
- [Revendication 12] Méthode de calibration selon l'une des revendications 9 à 11, dans laquelle la source lumineuse calibrée (58) émet un rayonnement dont la longueur d'onde est comprise entre 360 nm et 2500 nm, et dont le pic de rayonnement correspond au spectre d'émission du rayonnement émis par le bain de fusion et qui doit être mesuré par le capteur de surveillance (38) pendant un cycle de fabrication.
- [Revendication 13] Source lumineuse calibrée (58) pour la mise en œuvre de la méthode de calibration selon l'une des revendications 1 à 12, cette source lumineuse calibrée comprenant une lampe à filament (66) équipée d'un dispositif de régulation de sa puissance d'émission, ladite source lumineuse étant caractérisée en ce qu'elle est équipée d'une cible de visée (60) amovible.
- [Revendication 14] Source lumineuse calibrée (58) selon la revendication 13, dans laquelle la cible de visée (60) est principalement opaque sur toute sa surface et percée en un point de visée (64) situé en son centre.
- [Revendication 15] Source lumineuse calibrée (58) selon la revendication 14, dans laquelle le point de visée (64) est un trou circulaire d'un diamètre compris entre 0,5 et 1 mm.
- [Revendication 16] Source lumineuse calibrée (58) selon l'une des revendications 13 à 15, dans laquelle la source lumineuse calibrée (58) est équipée d'au moins un diffuseur optique (70), et éventuellement en complément d'un col-

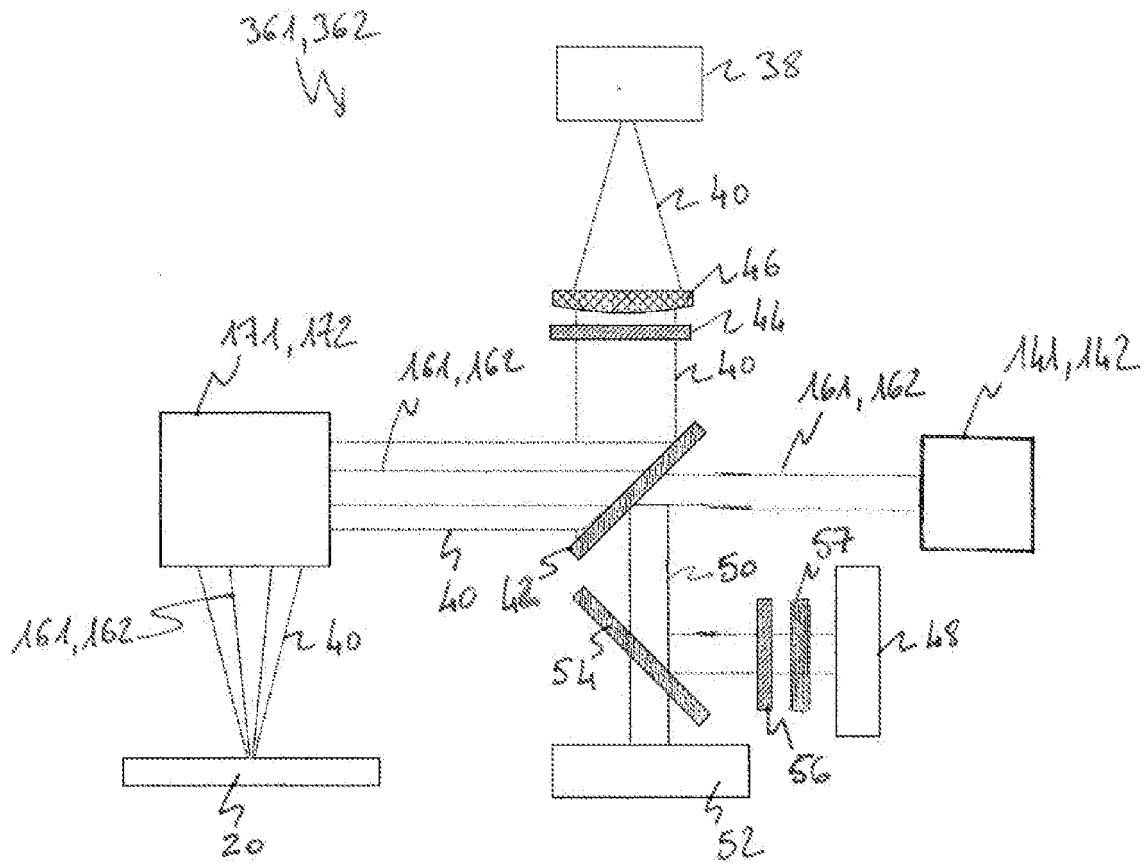
limateur.

[Fig. 1]

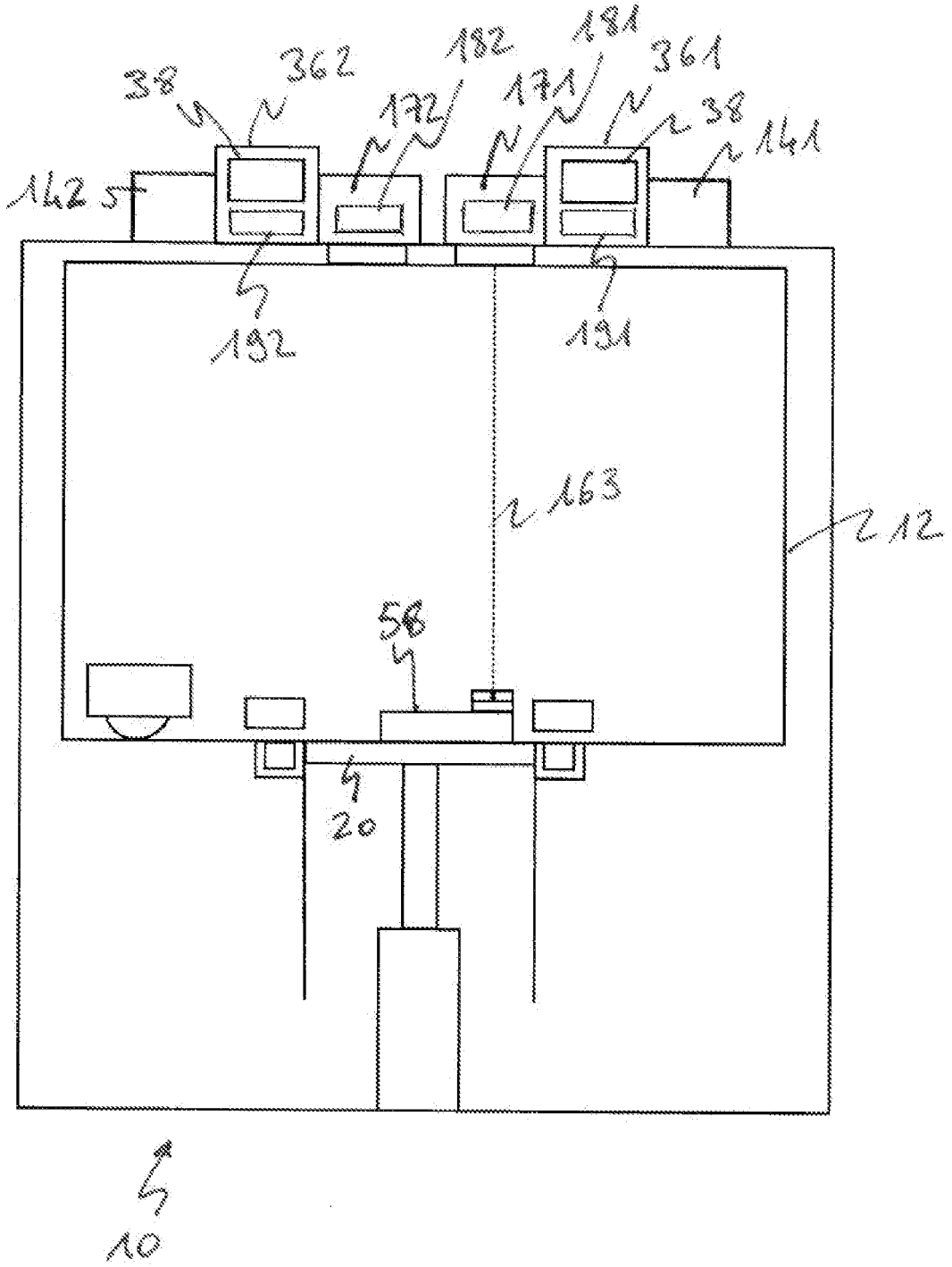


5  
10

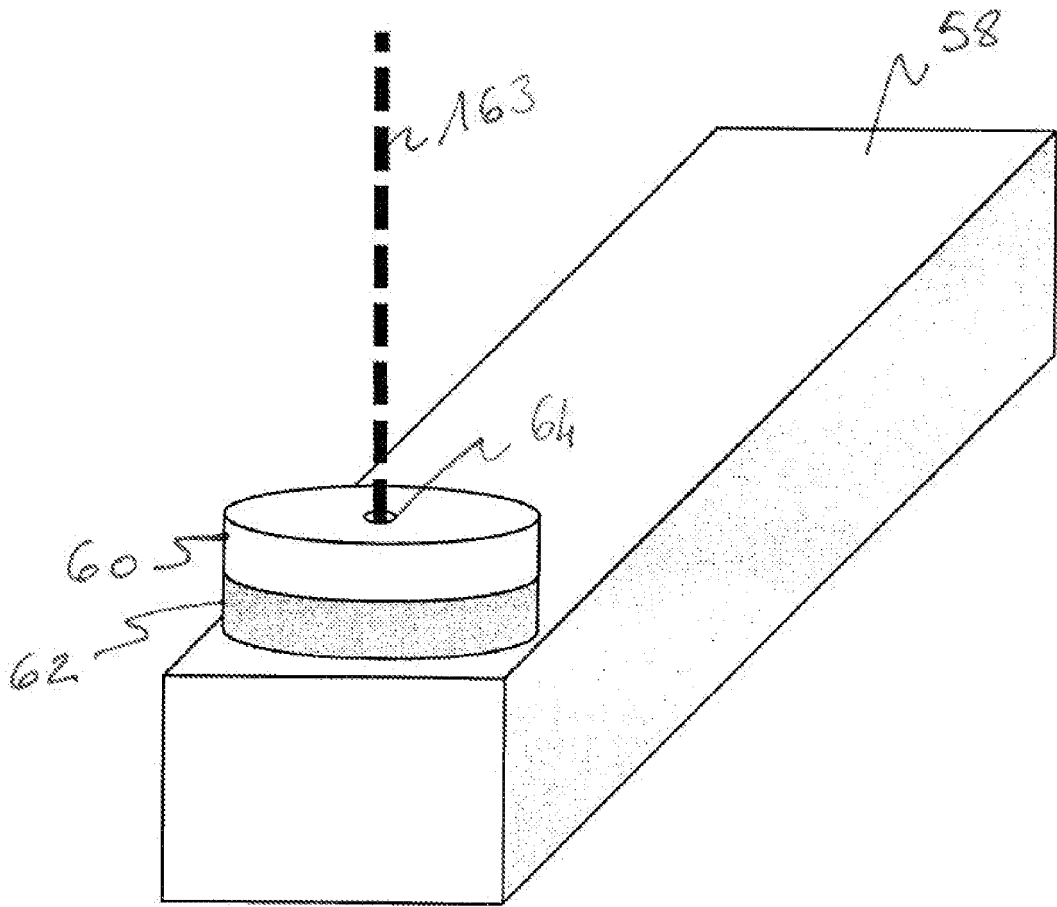
[Fig. 2]



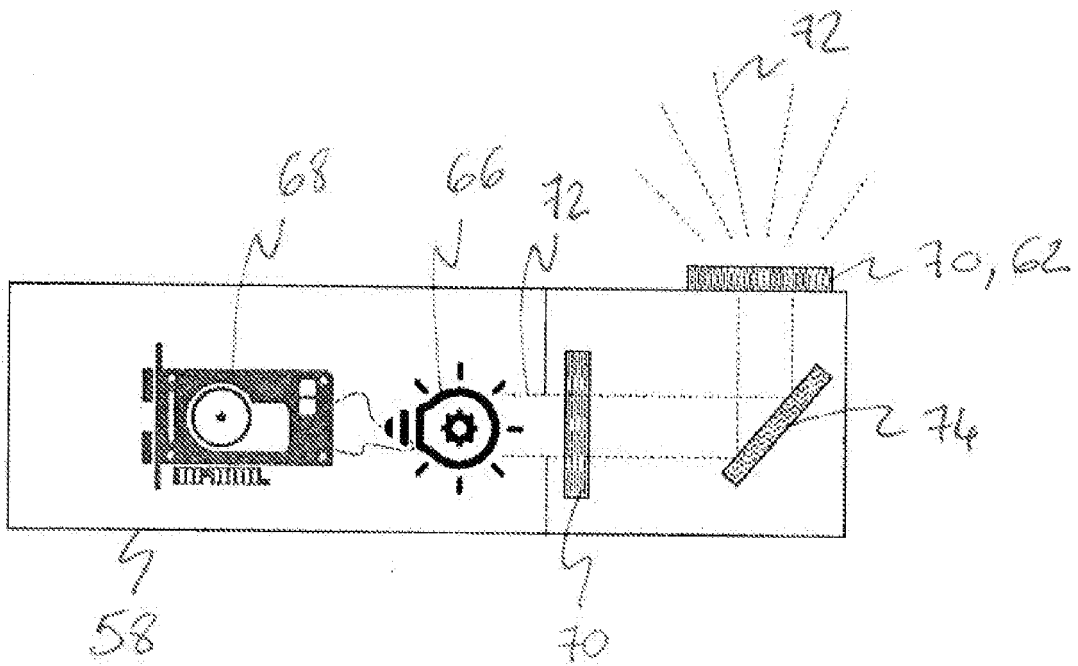
[Fig. 3]



[Fig. 4]



[Fig. 5]



**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement  
national

établi sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la recherche

**FA 896071**  
**FR 2107540**

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X, D	US 2019/323951 A1 (GOLD SCOTT ALAN [US] ET AL) 24 octobre 2019 (2019-10-24)	1-10	B22F10/31 B22F10/368
Y	* figures 1,3-5 * * alinéas [0044] - [0048], [0053] - [0057] * * revendication 1 *	11,12	B33Y40/00
X	US 2004/105261 A1 (DUCHARME ALFRED D [US] ET AL) 3 juin 2004 (2004-06-03)	13-16	
Y	* alinéa [0178] * * revendications 1,2 *	11,12	
A	US 2009/272877 A1 (TAMAOKI SHINOBU [JP] ET AL) 5 novembre 2009 (2009-11-05)	1-16	
	* alinéas [0012], [0045] - [0048] * * revendication 1 *		
A	EP 3 421 225 A1 (RAYLASE GMBH [DE]) 2 janvier 2019 (2019-01-02)	1-16	
	* revendication 1 *		
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			B22F C22C B29C B23K B33Y G01J
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
<b>25 mars 2022</b>		<b>Knoflacher, Andreas</b>	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS			
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		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 ..... & : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2107540 FA 896071**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.  
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **25-03-2022**  
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
<b>US 2019323951 A1</b>	<b>24-10-2019</b>	<b>CN 110394445 A</b>	<b>01-11-2019</b>
		<b>DE 102019110496 A1</b>	<b>24-10-2019</b>
		<b>US 2019323951 A1</b>	<b>24-10-2019</b>
-----			
<b>US 2004105261 A1</b>	<b>03-06-2004</b>	<b>US 7014336 B1</b>	<b>21-03-2006</b>
		<b>US 2004105261 A1</b>	<b>03-06-2004</b>
		<b>US 2005030744 A1</b>	<b>10-02-2005</b>
		<b>US 2006109649 A1</b>	<b>25-05-2006</b>
		<b>US 2006285325 A1</b>	<b>21-12-2006</b>
		<b>US 2007258240 A1</b>	<b>08-11-2007</b>
-----			
<b>US 2009272877 A1</b>	<b>05-11-2009</b>	<b>JP 2009195976 A</b>	<b>03-09-2009</b>
		<b>US 2009272877 A1</b>	<b>05-11-2009</b>
-----			
<b>EP 3421225 A1</b>	<b>02-01-2019</b>	<b>CN 110785279 A</b>	<b>11-02-2020</b>
		<b>EP 3421225 A1</b>	<b>02-01-2019</b>
		<b>EP 3645248 A1</b>	<b>06-05-2020</b>
		<b>US 2020156313 A1</b>	<b>21-05-2020</b>
		<b>WO 2019002232 A1</b>	<b>03-01-2019</b>
-----			