



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2022 127 242.7**

(22) Anmeldetag: **18.10.2022**

(43) Offenlegungstag: **18.04.2024**

(51) Int Cl.: **B22F 12/10** (2021.01)

B22F 10/28 (2021.01)

B33Y 30/00 (2015.01)

(71) Anmelder:
**TRUMPF Laser- und Systemtechnik GmbH, 71254
Ditzingen, DE**

(72) Erfinder:
**Arnold, Niklas, 72631 Aichtal, DE; Risse, Jeroen,
52070 Aachen, DE; Schauer, Jan Christian, 70567
Stuttgart, DE**

(56) Ermittelte Stand der Technik:

DE	10 2015 211 170	A1
DE	10 2021 106 020	A1
US	2017 / 0 165 781	A1
WO	2017/ 129 381	A1

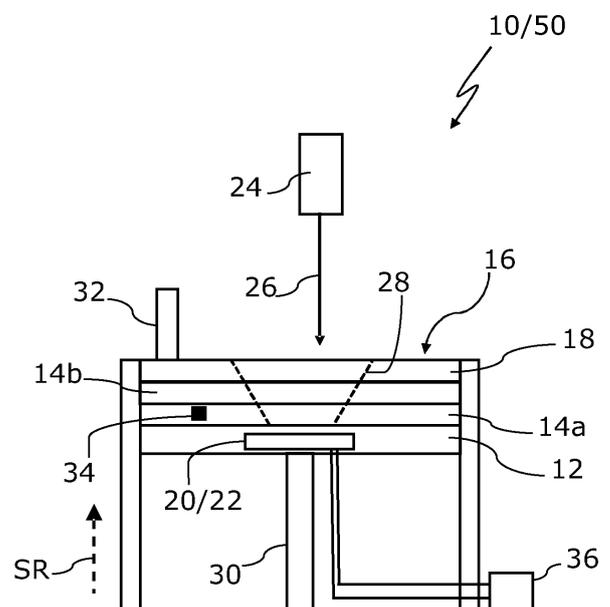
**DZOGBEWU, T.C.; DU PREEZ, W.B. :Additive
Manufacturing of Ti-Based Intermetallic Alloys: A
Review and Conceptualization of a Next-
Generation Machine..In: Materials 2021, 14, 4317.
URL: <https://doi.org/10.3390/ma14154317>
[abgerufen am 30.5.2023].**

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung zum Ausformen temperaturbeständiger Bauteile durch selektives Laserschmelzen**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung (10) zum selektiven Laserschmelzen einer Ti-Near-o-Legierung (34). Die Vorrichtung (10) weist eine Schichtenanordnung (16) mit aufeinander aufgetragenen Schichten (14a, 14b, 18) auf, wobei zumindest eine der Schichten (14a) die Ti-Near-o-Legierung (34) aufweist. Die Schichtenanordnung (16) ist auf einer Substratplatte (12) der Vorrichtung (10) angeordnet. Eine Laserstrahlquelle (24) ist dazu ausgebildet, die Schichten (14a, 14b, 18) selektiv mit einem Laserstrahl (26) zu schmelzen. Eine Heizeinrichtung (20) der Vorrichtung (10) kann Wärmeenergie in eine in Richtung (SR) von der Substratplatte (12) zu der Schichtenanordnung (16) oberste Schicht (18) der Schichtenanordnung (16) einleiten, um die oberste Schicht (18) auf eine Temperatur zwischen 250°C und 600°C zu heizen. Die oberste Schicht (18) ist insbesondere die Schicht der Schichtenanordnung (16) mit dem größten Abstand zu der Substratplatte (12).



Beschreibung

Hintergrund der Erfindung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum selektiven Laserschmelzen. Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zum selektiven Laserschmelzen.

[0002] Aus der EP 1 355 760 B1 ist eine Vorrichtung zum selektiven Laserschmelzen bekannt, bei der eine Heizplatte in eine Bauplattform integriert ist, die Heiztemperaturen von mehr als 500°C erreichen kann. Durch die Heizplatte kann ein Aufwärmen von Schichten aus metallischen Werkstoffen, die sich auf der Bauplattform befinden, während einer Ausformung von Bauteilen durch selektives Laserschmelzen der Schichten bewirkt werden. Dies dient der Verminderung von Spannungen in dem jeweiligen Bauteil beim selektiven Laserschmelzen.

[0003] Nachteilig weisen die Bauteile, die mit aus dem Stand der Technik bekannten Vorrichtungen hergestellt sind, häufig eine vergleichsweise niedrige Temperaturbeständigkeit auf. Ferner weisen die so gefertigten Bauteile weiterhin erhöhte Eigenspannungen auf, welche bei vielen Materialien zu einer erhöhten Rissneigung führen.

Aufgabe der Erfindung

[0004] Es ist Aufgabe der Erfindung, eine Vorrichtung zum selektiven Laserschmelzen bereitzustellen, mit der Bauteile hergestellt werden können, die in einem großen Temperaturbereich mechanisch stabil sind. Es ist weiter Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zum selektiven Laserschmelzen anzugeben, mit dem derartige Bauteile hergestellt werden können.

Beschreibung der Erfindung

[0005] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Vorrichtung nach Anspruch 1 gelöst. Ein erfindungsgemäßes Verfahren weist die Merkmale gemäß Anspruch 6 auf. Vorteilhafte Ausführungsformen ergeben sich aus den rückbezogenen Unteransprüchen.

[0006] Die erfindungsgemäße Vorrichtung ist zum selektiven Laserschmelzen einer Ti-Near- α -Legierung ausgebildet und weist die folgenden Merkmale auf:

- eine Substratplatte;
- eine Beschichtungseinrichtung zum Auftragen von Schichten der Ti-Near- α -Legierung auf der Substratplatte in einer Schichtenanordnung, wobei die Schichten aufeinander angeordnet werden;
- zumindest eine Schicht der Schichtenanordnung mit der Ti-Near- α -Legierung;

- eine Laserstrahlquelle zum Verschmelzen von wenigstens Teilen der Schichten mit einem Laserstrahl;

- eine Heizeinrichtung, die dazu eingerichtet ist, eine oberste Schicht der Schichtenanordnung in Richtung von der Substratplatte zu der Schichtenanordnung nach dem Auftragen der obersten Schicht und vor dem Bestrahlen der obersten Schicht mit dem Laserstrahl auf eine Temperatur in einem Temperaturbereich von 250°C bis 600°C zu erhitzen.

[0007] Die wenigstens eine Schicht mit der Ti-Near- α -Legierung in der Schichtenanordnung bewirkt, dass Bauteile, die aus der Schichtenanordnung durch ein selektives Laserschmelzen geformt werden, eine vergleichsweise hohe Bruchfestigkeit und Kriechfestigkeit bei Raumtemperatur wie auch bei Temperaturen von mehreren hundert Grad Celsius aufweisen. Darüber hinaus verleiht die Ti-Near- α -Legierung solchen Bauteilen eine hohe Korrosionsbeständigkeit.

[0008] Die Vorrichtung ist dazu ausgebildet, die jeweils oberste Schicht der Schichtenanordnung nach dem Auftragen vor dem Bestrahlen mit dem Laserstrahl zu erhitzen, um Spannungen in dem Bauteil während der Ausformung des Bauteils zu vermeiden, die zum Beispiel zu Rissen in dem Bauteil führen können. Das Vermeiden solcher Spannungen erhöht die Bruchfestigkeit und Formbeständigkeit der durch das erfindungsgemäße Verfahren hergestellten Bauteile. Auch werden vergleichsweise hohe Wachstumsraten/Bauraten und große Schichtdicken/Schichtstärken während des selektiven Laserschmelzens ermöglicht. Vorzugsweise werden hierbei Bauraten größer gleich 20 cm³/h und Schichtstärken größer gleich 40 μ m ermöglicht.

[0009] Ti-Near- α -Legierungen bestehen insbesondere zu einem überwiegenden Teil aus einer hexagonalen Alpha-Phase und zu einem kleineren Teil aus einer kubischraumzentrierten Beta-Phase. Bevorzugt weisen Ti-Near- α -Legierungen außer Titan auch 1 % bis 2 % der Beta stabilisierenden Legierungselemente Vanadium, Molybdän, Niob, Tantal, Eisen, Mangan, Chrom, Nickel, Kupfer, Silizium und/oder Wasserstoff als Material auf. Beispiele für Ti-Near- α -Legierungen sind Ti-6Al-4V, Ti-6Al-4V-ELI, Ti-6Al-6V-2Sn und/oder Ti-6Al-7Nb.

[0010] Die Heizeinrichtung ist bei einer bevorzugten Ausführungsform der Vorrichtung dazu eingerichtet, die Schichtenanordnung in einem Temperaturbereich von 250°C bis 600°C zu erhitzen. Dadurch werden Spannungen zwischen den Schichten der Schichtenanordnung verringert, um so die mechanische Stabilität der im erfindungsgemäßen Verfahren ausgeformten Bauteile zu erhöhen.

[0011] Die Heizeinrichtung ist bei einer vorteilhaften Variante der Vorrichtung dazu eingerichtet, die oberste Schicht auf eine Temperatur in einem Temperaturbereich von 300°C bis 500°C, insbesondere 350°C bis 475°C, zu erhitzen. Ein Aufheizen der jeweiligen obersten Schicht der Schichtenanordnung auf eine Temperatur in diesem Temperaturbereich bewirkt besonders geringe Spannungen in der betreffenden obersten Schicht beim selektiven Laserschmelzen. In den Rahmen der erfindungsgemäßen Vorrichtung fällt auch eine Ausgestaltung, die dazu ausgebildet ist, die gesamte Schichtenanordnung auf eine Temperatur in diesem Temperaturbereich zu erhitzen.

[0012] Die Heizeinrichtung ist bei einer weiteren Ausgestaltung der Vorrichtung in Form einer elektrischen Heizung der Substratplatte, insbesondere in Form einer Widerstandsheizung, ausgebildet. Eine Integration der Heizeinrichtung in die Substratplatte bewirkt eine kompakte Ausgestaltung der Vorrichtung. Eine elektrische Heizeinrichtung kann schnell und genau auf eine gewünschte Heiztemperatur eingestellt werden.

[0013] In den Rahmen der Erfindung fällt auch eine Ausführungsform der Vorrichtung, bei der die Ti-Near-a-Legierung in Form von Ti6242 vorliegt. Ti6242 zeichnet sich bei einer vergleichsweise einfachen Zusammensetzung nach einer Vorerhitzung in dem erfindungsgemäßen Temperaturbereich durch eine relativ gute Schweißbarkeit und eine vergleichsweise hohe Duktilität aus.

[0014] Ein erfindungsgemäßes Verfahren zum selektiven Laserschmelzen einer Ti-Near-o-Legierung weist die folgenden Schritte auf:

- a) Beschichten einer Substratplatte mit einer Schichtenanordnung, wobei die Schichten der Schichtenanordnung eine Ti-Near-o-Legierung als Material aufweisen und aufeinander angeordnet werden und die Schichtenanordnung in Richtung von der Substratplatte zu der Schichtenanordnung eine oberste Schicht aufweist;
- b) Aufheizen der obersten Schicht der Schichtenanordnung auf eine Temperatur in einem Temperaturbereich von 250°C bis 600°C;
- c) Verschmelzen von wenigstens Teilen der obersten Schicht mit einem Laserstrahl.

[0015] Bauteile, die nach einem solchen Verfahren hergestellt werden, zeichnen sich durch eine hohe Bruchfestigkeit und Kriechfestigkeit auch bei Temperaturen von mehreren hundert Grad Celsius aus. Diese Eigenschaften werden durch die wenigstens eine Schicht, welche eine Ti-Near-a-Legierung als Material aufweist, und durch das Vermeiden von mechanischen Spannungen in der jeweiligen obersten Schicht der Schichtenanordnung vor dem

Bestrahlen mit dem Laserstrahl bewirkt. Bevorzugt wird die gesamte Schichtenanordnung vor dem jeweiligen Bestrahlen mit dem Laserstrahl auf eine Temperatur zwischen 250°C und 600°C aufgeheizt.

[0016] Bei einer vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens wird die oberste Schicht der Schichtenanordnung auf eine Temperatur in einem Temperaturbereich von 300°C bis 500°C, insbesondere 350°C bis 475°C, aufgeheizt. Dadurch werden die Spannungen in der obersten Schicht beim selektiven Laserschmelzen auf einem besonders niedrigen Niveau gehalten. In den Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens fällt auch eine Variante, bei der die gesamte Schichtenanordnung während des erfindungsgemäßen Verfahrens auf eine Temperatur in diesem Temperaturbereich erhitzt wird.

[0017] Weitere Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und der Zeichnung. Ebenso können die vorstehend genannten und die noch weiter ausgeführten Merkmale erfindungsgemäß jeweils einzeln für sich oder zu mehreren in beliebigen Kombinationen Verwendung finden. Die gezeigten und beschriebenen Ausführungsformen sind nicht als abschließende Aufzählung zu verstehen, sondern haben vielmehr beispielhaften Charakter für die Schilderung der Erfindung.

Detaillierte Beschreibung der Erfindung und Zeichnung

Fig. 1 zeigt schematisch eine Vorrichtung zum selektiven Laserschmelzen.

[0018] **Fig. 1** zeigt schematisch eine Schnittansicht einer Vorrichtung 10 zum selektiven Laserschmelzen. Die Vorrichtung 10 weist eine Substratplatte 12 auf, auf der Schichten 14a, 14b von Werkstoffpulver (nicht gezeigt) in einer Schichtenanordnung 16 aufeinander aufgetragen werden. Nach dem Auftragen wird eine in Richtung SR von der Substratplatte 12 zu der Schichtenanordnung 16 jeweils oberste Schicht 18 der Schichtenanordnung 16 durch eine Heizeinrichtung 20 auf eine Temperatur in einem Temperaturbereich zwischen 250°C und 600°C erhitzt. Die Heizeinrichtung 20 ist als elektrische Heizung 22 ausgebildet, die in die Substratplatte 12 integriert ist, wodurch eine kompakte Ausgestaltung der Vorrichtung 10 und eine genaue Kontrolle der Heiztemperatur durch eine Steuerung 36 der elektrischen Heizung 22 bewirkt wird.

[0019] Die elektrische Heizung 22 erhitzt zusätzlich zu der obersten Schicht 18 auch die anderen Schichten 14a, 14b der Schichtenanordnung 16, wodurch Spannungen zwischen den Schichten 14a, 14b, 18 der Schichtenanordnung 16 vermindert werden.

[0020] Um die oberste Schicht 18 nach dem Erhitzen wenigstens teilweise zu schmelzen, ggf. unter einem Verschmelzen mit den weiteren Schichten 14a, 14b der Schichtenanordnung 16, weist die Vorrichtung 10 eine Laserstrahlquelle 24 auf, aus der ein Laserstrahl 26 emittiert wird, der die oberste Schicht 18 bestrahlt. Dadurch wird aus der Schichtenanordnung 16 ein Bauteil 28 (hier beispielhaft kegelstumpfförmig) ausgeformt. Durch die Erhitzung der obersten Schicht 18 vor der Bestrahlung werden Spannungen in dem Bauteil 28 während der Ausformung durch das selektive Laserschmelzen der jeweils obersten Schicht 18 abgebaut. Nach dem selektiven Laserschmelzen der jeweiligen obersten Schicht 18 wird die Substratplatte 12 durch eine Hubeinrichtung 30 der Vorrichtung 10 abgesenkt, um durch einen Beschichter 32 auf bekannte Weise eine neue Schicht von Werkstoffpulver auf die Schichtenanordnung 16 aufzutragen (nicht gezeigt).

[0021] Wenigstens eine der Schichten, hier beispielhaft die Schicht 14a, weist eine Ti-Near-o-Legierung 34 als Material auf (symbolisch durch einen schwarz ausgefüllten Kasten dargestellt), um dem Bauteil 28 eine höhere Formbeständigkeit bei Temperaturen von mehreren hundert Grad Celsius zu verleihen. Insbesondere weisen alle Schichten 14a, 14b, 18 der Schichtenanordnung 16 die Ti-Near-o-Legierung 34 als Material auf. Bevorzugt ist wenigstens eine der Schichten 14a, 14b, 18, insbesondere sind alle Schichten 14a, 14b, 18, aus einer Ti-Near-o-Legierung 34 ausgebildet.

[0022] Fig. 1 zeigt auch ein erfindungsgemäßes Verfahren 50, bei dem das Bauteil 28 durch Laserschmelzen der Ti-Near-a-Legierung 34 gefertigt wird, wobei die oberste Schicht 18 vor dem Laserschmelzen auf mehr als 250°C, aber weniger als 600°C erhitzt wird.

[0023] Unter Betrachtung der Figur der Zeichnung betrifft die Erfindung eine Vorrichtung 10 zum selektiven Laserschmelzen einer Ti-Near-a-Legierung 34. Die Vorrichtung 10 weist eine Schichtenanordnung 16 mit aufeinander aufgetragenen Schichten 14a, 14b, 18 auf, wobei zumindest eine der Schichten 14a die Ti-Near-a-Legierung 34 aufweist. Die Schichtenanordnung 16 ist auf einer Substratplatte 12 der Vorrichtung 10 angeordnet. Eine Laserstrahlquelle 24 ist dazu ausgebildet, die Schichten 14a, 14b, 18 selektiv mit einem Laserstrahl 26 zu schmelzen. Eine Heizeinrichtung 20 der Vorrichtung 10 kann Wärmeenergie in eine in Richtung SR von der Substratplatte 12 zu der Schichtenanordnung 16 oberste Schicht 18 der Schichtenanordnung 16 einleiten, um die oberste Schicht 18 auf eine Temperatur zwischen 250°C und 600°C zu heizen, bevor die oberste Schicht mit dem Laserstrahl 26 bestrahlt wird. Die oberste Schicht 18 ist insbesondere die Schicht der Schichtenanord-

nung 16 mit dem größten Abstand zu der Substratplatte 12.

Bezugszeichenliste

10	Vorrichtung
12	Substratplatte
14a, 14b	Schichten der Schichtenanordnung 16
16	Schichtenanordnung
18	oberste Schicht
20	Heizeinrichtung
22	elektrische Heizung
24	Laserstrahlquelle
26	Laserstrahl
28	Bauteil
30	Hubeinrichtung
32	Beschichter
34	Ti-Near-o-Legierung
36	Steuerung der elektrischen Heizung
50	Verfahren
SR	Richtung von der Substratplatte zu der Schichtenanordnung

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- EP 1355760 B1 [0002]

Patentansprüche

1. Vorrichtung (10) zum selektiven Laserschmelzen einer Ti-Near-o-Legierung (34), aufweisend:

- eine Substratplatte (12);
- eine Beschichtungseinrichtung (32) zum Auftragen von Schichten (14a, 14b, 18) der Ti-Near-o-Legierung (34) auf der Substratplatte (12) in einer Schichtenanordnung (16), wobei die Schichten (14a, 14b, 18) aufeinander angeordnet werden;
- zumindest eine Schicht (14a) der Schichtenanordnung mit der Ti-Near-o-Legierung (34);
- eine Laserstrahlquelle (24) zum Verschmelzen von wenigstens Teilen der Schichten (14a, 14b, 18) mit einem Laserstrahl (26);
- eine Heizeinrichtung (20), die dazu eingerichtet ist, eine oberste Schicht (18) der Schichtenanordnung (16) in Richtung (SR) von der Substratplatte (12) zu der Schichtenanordnung (16) nach dem Auftragen der obersten Schicht (18) und vor dem Bestrahlen der obersten Schicht (18) mit dem Laserstrahl (26) auf eine Temperatur in einem Temperaturbereich von 250°C bis 600°C zu erhitzen.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Heizeinrichtung (20) dazu eingerichtet ist, die Schichtenanordnung (16) in einem Temperaturbereich von 250°C bis 600°C zu erhitzen.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Heizeinrichtung (20) dazu eingerichtet ist, die oberste Schicht (18) auf eine Temperatur in einem Temperaturbereich von 300°C bis 500°C, insbesondere 350°C bis 475°C, zu erhitzen.

4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Heizeinrichtung (20) in Form einer elektrischen Heizung (22) der Substratplatte (12) ausgebildet ist.

5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Ti-Near-o-Legierung (34) in Form von Ti6242 vorliegt.

6. Verfahren (50) zum selektiven Laserschmelzen einer Ti-Near-o-Legierung (34), aufweisend die Schritte:

- a) Beschichten einer Substratplatte (12) mit einer Schichtenanordnung (16), wobei die Schichten (14a, 14b, 18) der Schichtenanordnung (16) eine Ti-Near-o-Legierung (34) als Material aufweisen und aufeinander angeordnet werden und die Schichtenanordnung (16) in Richtung (SR) von der Substratplatte (12) zu der Schichtenanordnung (16) eine oberste Schicht (18) aufweist;
- b) Aufheizen der obersten Schicht (18) der Schichtenanordnung (16) auf eine Temperatur in einem Temperaturbereich von 250°C bis 600°C;
- c) Verschmelzen von wenigstens Teilen der obersten Schicht (18) mit einem Laserstrahl (26).

7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei die oberste Schicht (18) der Schichtenanordnung (16) auf eine Temperatur in einem Temperaturbereich von 300°C bis 500°C, insbesondere 350°C bis 475°C, aufgeheizt wird.

Es folgt eine Seite Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

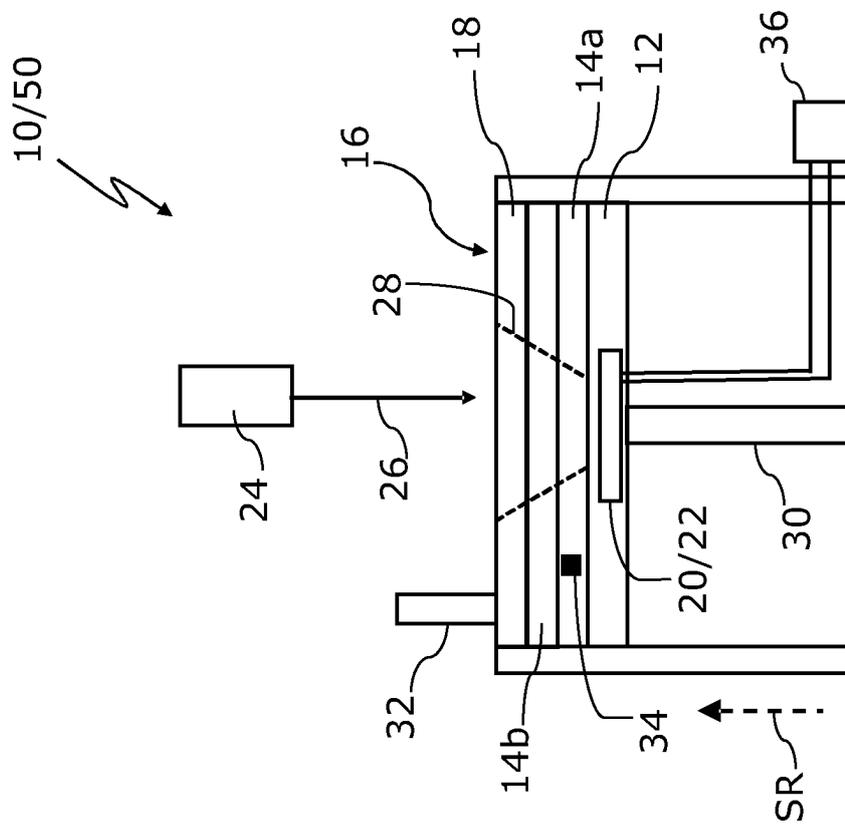


Fig. 1