



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2008 022 014 B3** 2009.11.26

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2008 022 014.0**

(22) Anmeldetag: **02.05.2008**

(43) Offenlegungstag: –

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **26.11.2009**

(51) Int Cl.⁸: **B23K 26/08** (2006.01)
G02B 26/08 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:

**TRUMPF Laser- und Systemtechnik GmbH, 71254
Ditzingen, DE**

(74) Vertreter:

**Kohler Schmid Möbus Patentanwälte, 70565
Stuttgart**

(72) Erfinder:

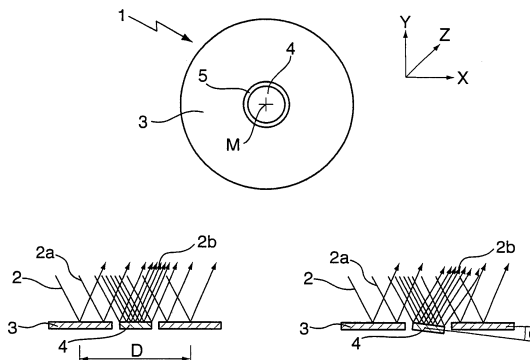
**Andreasch, Wolfgang, 71384 Weinstadt, DE;
Böckmann, Stefan, 26169 Friesoythe, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

US	56 90 845	A
GB	14 33 563	A
EP	08 23 304	A1
DE	102 20 324	A1
DE	10 2004 043895	A1
JP	2005-3 14 198	A
JP	01-2 71 088	A
JP	60-2 40 395	A

(54) Bezeichnung: **Dynamische Strahlumlenkung eines Laserstrahls**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Laserbearbeiten von Werkstücken mittels eines Laserstrahls (2), der an einer ersten Spiegelfläche (3) und an mindestens einer von der ersten Spiegelfläche (3) zumindest teilweise umgebenen zweiten Spiegelfläche (4) eines Umlenkspiegels (1) umgelenkt wird. Während des Laserarbeitens führt hierbei die zweite Spiegelfläche (4) eine Pendelbewegung relativ zur ersten, bevorzugt ortsfesten Spiegelfläche (3) aus. Die Erfindung betrifft auch einen Umlenkspiegel (1) für einen Laserstrahl (2) zur Laserbearbeitung, umfassend: eine erste Spiegelfläche (3) und mindestens eine von der ersten Spiegelfläche (3) zumindest teilweise umgebene zweite Spiegelfläche (4), wobei die zweite Spiegelfläche (4) relativ zur ersten Spiegelfläche (3) pendelbar mit Pendelfrequenzen von mehr als 1000 Hz, bevorzugt von mehr als 2000 Hz, insbesondere von mehr als 3000 Hz gelagert ist. Die Erfindung betrifft weiterhin einen Laserbearbeitungskopf (6) mit einem solchen Umlenkspiegel (1).



Beschreibung

Substrat zu fokussieren.

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Laserbearbeiten von Werkstücken mittels eines Laserstrahls, der an einer ersten Spiegelfläche und an mindestens einer von der ersten Spiegelfläche zumindest teilweise umgebenen zweiten Spiegelfläche eines Umlenkspiegels umgelenkt wird. Die Erfindung betrifft auch einen Umlenkspiegel für einen Laserstrahl zur Laserbearbeitung, umfassend: eine erste Spiegelfläche und mindestens eine von der ersten Spiegelfläche zumindest teilweise umgebene zweite Spiegelfläche, sowie einen Laserbearbeitungskopf mit mindestens einem solchen Umlenkspiegel.

[0002] Die Verwendung von Umlenkspiegeln mit mehreren Spiegelflächen insbesondere für die Laserbearbeitung ist verschiedentlich bekannt, wobei der Verwendungszweck solcher Umlenkspiegel unterschiedlich sein kann.

[0003] So ist beispielsweise in der JP 01271088 A eine Laserbearbeitungsmaschine beschrieben, bei der eine Phasendifferenz zwischen einem äußerem und einem inneren Teilbereich eines Laserstrahls dadurch ausgeglichen wird, dass die Position eines beweglichen, inneren Spiegelements eines Umlenkspiegels mittels eines hierfür vorgesehenen, linear beweglichen Mechanismus relativ zu einem äußeren Spiegelement verändert wird.

[0004] Aus der JP 2005314198 A ist eine Vorrichtung bekannt geworden, bei der zur Optimierung einer Laserschneidmaschine für das Glasschneiden die Querschnittsform und die Intensitätsverteilung des Laserbearbeitungsstrahls eingestellt wird, indem ein Facettenspiegel mit einer Mehrzahl von Spiegelsegmenten, deren Neigung einstellbar ist, oder ein formveränderlicher Spiegel zur Umlenkung des Laserstrahls genutzt werden.

[0005] Auch die GB 1,433,563 beschreibt eine Laserbearbeitungsmaschine zum Glasschneiden, bei der eine kleinere Spiegelfläche vor einer größeren Spiegelfläche im Strahlengang eines Laserstrahls angeordnet ist. Beide Spiegelflächen können durch Servomotoren angetrieben werden, um den Laserstrahl auf zwei unterschiedliche Fokuspunkte entlang einer an der Glasoberfläche gebildeten Schnittrlinie umzulenken.

[0006] Die DE 10 2004 043 895 A1 beschreibt ein Mikrobearbeitungsverfahren, bei dem eine Mehrzahl unabhängig voneinander positionierbarer Strahlsteuerelemente in einer Strahlsteuerelementanordnung empfangene Laserstrahlung auf wählbare Orte auf einem Substrat richtet. Eine Anzahl von Laserstrahl-Fokussierungsmodulen ist den Strahlsteuerelementen zugeordnet, um jeden Teilstrahl auf das

[0007] In der DE 102 20 324 A1 ist ein Konkavspiegel als Pupillenfilter für ein katadioptrisches Projektionsobjektiv beschrieben, der im Bereich einer Pupillenfläche des Objektivs angeordnet ist. Der Konkavspiegel ist in eine Anzahl von ringförmigen oder wellenförmigen Spiegelsegmenten unterteilt, die mit Hilfe piezoelektrischer Antriebselemente unabhängig voneinander relativ zueinander beweglich sind. Der Spiegel kann als phasenschiebender Pupillenfilter verwendet werden, wobei die Filterfunktion durch Relativ-Verschiebung der Spiegelemente gegeneinander eingestellt werden kann, indem diese durch Piezoelemente angehoben oder abgesenkt werden.

[0008] Die Verwendung von segmentierten Umlenkspiegeln beim Laserstrahlschweißen dient in der Regel dazu, einen größeren Dampfkanal (Keyhole) zu erzeugen, wodurch sich ein höheres Schmelzbadvolumen ausbildet. Die Vergrößerung des Dampfkanals kann beispielsweise durch das Doppelfokus- bzw. Tandemschweißen realisiert werden, bei denen der Laserstrahl z. B. durch einen Dachspiegel in zwei Teilstrahlen aufgeteilt wird, die anschließend auf zwei nahe beieinander liegende Fokuspunkte fokussiert werden. Dies ermöglicht, dass die während des Schweißprozesses entstehenden Gase besser an die Oberfläche entweichen können und somit Schwachstellen in der Schweißnaht, die durch Porenbildung entstehen, auf ein Minimum verringert werden.

[0009] Ein optisches System für das Doppelfokusschweißen ist beispielsweise aus der EP 0 823 304 A1 bekannt geworden. Dort wird der Laserstrahl an einem Umlenkspiegel in eine Mehrzahl von Teilstrahlen mit unterschiedlichen optischen Achsen aufgespalten. In einer Ausführung ist der Umlenkspiegel aus einem äußeren und einem inneren Spiegelement aufgebaut, wobei das äußere Spiegelement eine zylindrische, zentrische Bohrung aufweist, in die das innere Spiegelement eingepasst ist, so dass das innere und äußere Spiegelement relativ zueinander drehbar sowie axial verschiebbar sind, wodurch sich die relative Lage eines dem ersten bzw. zweiten Teilstrahl zugeordneten Fokuspunkts auf zwei zusammenzufügenden Werkstücken einstellen lässt. Nach der Einstellung der gewünschten relativen Lage der Fokuspunkte wird diese Einstellung durch Fixierung der Spiegelemente relativ zueinander fest eingestellt.

[0010] Der Nachteil der Vergrößerung des Dampfkanals durch Doppelfokusschweißen liegt in der benötigten größeren Streckenenergie gegenüber dem Laserschweißen mit lediglich einem Fokus. Vom Elektronenstrahlschweißen ist es bekannt, den Strahl hochfrequent, d. h. mit Frequenzen über 2000 Hz und einer Pendelamplitude von weniger als einem Milli-

meter mittels eines Pendelspiegels quer zur Schweißfuge zu pendeln. Auch in der EP 0 823 304 A1 ist bei einer Ausführung ein weiterer Spiegel zur Umlenkung der Teilstrahlen vorgesehen, der eine oszillierende Bewegung ausführt, so dass die beiden Fokuspunkte auf den Werkstücken eine Pendelbewegung in einer Richtung senkrecht zur Schweißlinie ausführen können.

[0011] Auch die US 5,690,845 beschreibt eine optische Anordnung zur Laserbearbeitung, welche einen ersten Umlenkspiegel als Einrichtung zur Aufspaltung eines Laserstrahls in eine Mehrzahl von Teilstrahlen aufweist. Ein zweiter, vom ersten separierter Umlenkspiegel fokussiert die Teilstrahlen auf eine Mehrzahl von Fokuspunkten. In einer Ausführung weist der erste Umlenkspiegel zwei oder mehr plane Spiegelteile auf, die unabhängig voneinander verkippt werden können. In einer weiteren, alternativen Ausführung weist der erste Umlenkspiegel eine Mehrzahl von konzentrisch um die optische Achse des Laserstrahls angeordneten konkaven, konvexen oder planen Spiegelflächen auf. Der erste Umlenkspiegel kann hierbei jeweils als Ganzes in einer vorgegebenen Richtung verkippt oder gedreht werden, um eine pendelnde oder spiralförmige Bewegung der Fokuspunkte auf dem Werkstück zu erzeugen.

[0012] In der JP 60 240 395 A ist eine Anordnung beschrieben, bei der ein Laserstrahl mittels eines halbdurchlässigen Spiegels in einen ersten und einen zweiten Teilstrahl aufgespaltet wird. Der erste Teilstrahl wird auf ein zu bearbeitendes metallisches Werkstück fokussiert, um dieses lokal aufzuschmelzen. Der zweite Teilstrahl wird über einen Konkavspiegel, der mit ca. 10 Hz oszilliert, unmittelbar auf den ersten Teilstrahl folgend auf das geschmolzene metallische Werkstück eingestrahlt.

[0013] Die dynamische Umlenkung und Bewegung des Laserstrahls zum Erzeugen der Pendelbewegung erfolgt üblicherweise – wie in den obigen Beispielen – mit Hilfe von sogenannten Scannerspiegeln, bei denen die gesamte Spiegelfläche mit Hilfe eines Galvanometer-Antriebs um eine Achse rotiert wird. Soll ein solcher Spiegel an einer Stelle im Strahlengang eingesetzt werden, an welcher der Laserstrahl einen großen Durchmesser aufweist, sind dafür große und damit schwere Spiegel notwendig. Dies begrenzt die maximal mögliche Pendelfrequenz auf Werte < 1500 Hz. Kleinere Spiegel und damit höhere Frequenzen lassen sich nur realisieren, wenn sie im konvergenten oder divergenten Teil einer Strahlkaustik in Nähe der Strahltaile angeordnet werden, wie z. B. bei Systemen mit Zwischenfokus oder in der Nähe des Endes eines Lichtleitkabels.

Aufgabe der Erfindung

[0014] Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung,

ein Verfahren, einen Umlenkspiegel und einen Laserbearbeitungskopf mit einem solchen Umlenkspiegel bereitzustellen, welche eine hochdynamische Umlenkung eines Laserstrahls für die Laserbearbeitung auch bei Verwendung großer Strahlquerschnitte ermöglichen.

Gegenstand der Erfindung

[0015] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren der eingangs genannten Art, bei dem während des Laserarbeitens die zweite Spiegelfläche eine Pendelbewegung relativ zur ersten, bevorzugt ortsfesten Spiegelfläche ausführt. Die Erfinder haben erkannt, dass es zur Erzeugung des gewünschten Effekts der Vergrößerung des Dampfkanals (Keyholes) ausreichend ist, wenn nur ein kleiner Ausschnitt (zweite Spiegelfläche) aus der gesamten Spiegelfläche des Umlenkspiegels hochdynamisch gependelt wird, insbesondere wenn auf diesen Ausschnitt ein Großteil der Laserleistung auftrifft. Ein an der pendelnden zweiten Spiegelfläche reflektierter Teil des Laserstrahls wird nachfolgend auf einen Fokuspunkt fokussiert, der um einen ortsfesten Fokuspunkt, der von dem an der ersten Spiegelfläche reflektierten Teil des Laserstrahls erzeugt wird, eine Pendelbewegung ausführt. Es versteht sich, dass die erste Spiegelfläche bevorzugt direkt an die zweite Spiegelfläche anschließt, um möglichst die gesamte Laserleistung umzulenken. Hierbei kann zwischen der ersten und zweiten Spiegelfläche ggf. funktionsbedingt ein kleiner Spalt mit einer Breite von ca. 0,02 mm verbleiben, der die relative Bewegung der zweiten zur ersten Spiegelfläche ermöglicht.

[0016] Es versteht sich, dass auch zwei oder mehr zweite Spiegelflächen, die eine hochdynamische Umlenkung des Laserstrahls ermöglichen, vorgesehen sein können, wobei typischer Weise ein jeweiliger, von einer dynamisch bewegten Spiegelfläche reflektierter Anteil des Laserstrahls auf einen eigenen Fokuspunkt fokussiert wird. Auch die erste Spiegelfläche kann ggf. in mehrere Teilflächen (Facetten) unterteilt sein. Unter einer Pendelbewegung wird im Sinne dieser Anmeldung eine harmonische Schwingungsbewegung um eine Ruhelage verstanden.

[0017] In einer vorteilhaften Variante führt die zweite Spiegelfläche relativ zur ersten Spiegelfläche eine Pendelbewegung mit einer Pendelfrequenz von mehr als 1000 Hz, bevorzugt von mehr als 2000 Hz, insbesondere von mehr als 3000 Hz aus. Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren kann die zweite Spiegelfläche verhältnismäßig klein gewählt werden, z. B. 200 mm² oder darunter, so dass die Masse eines Spiegelements, an dem die Spiegelfläche gebildet ist, klein genug gewählt werden kann, um die oben angegebenen, hohen Pendelfrequenzen zu erreichen.

[0018] In einer weiteren vorteilhaften Variante führt die zweite Spiegelfläche relativ zur ersten Spiegelfläche eine Pendelbewegung in Form einer Kippbewegung, einer Drehbewegung und/oder einer Linearbewegung aus. Insbesondere die Realisierung der Pendelbewegung als Kippbewegung hat sich hierbei als vorteilhaft herausgestellt, wobei das Verkippen typischer Weise um eine oder zwei Achsen erfolgt, die in der Ebene der ersten Spiegelfläche verlaufen. Die Linearbewegung kann senkrecht zur ersten Spiegelfläche erfolgen und ebenso wie die Kippbewegung mit Hilfe von Piezoaktoren umgesetzt werden. Zur Realisierung der Kippbewegung kann die zweite Spiegelfläche bzw. ein Spiegelement, an dem die zweite Spiegelfläche gebildet ist, an einem Festkörpergelenk gelagert sein. Alternativ oder zusätzlich kann auch eine Drehbewegung der zweiten Spiegelfläche relativ zur ersten Spiegelfläche stattfinden, wobei die Drehachse typischer Weise unter einem Winkel (ungleich 90°) zur zweiten Spiegelfläche verläuft, wie in der eingangs zitierten EP 0 823 304 A1 für eine feste Einstellung des Drehwinkels dargestellt ist. Ist beispielsweise die zweite Spiegelfläche zur ersten verkippt angeordnet und wird um eine Achse senkrecht zur ersten Spiegelfläche rotiert, so führt der Laserstrahl auf dem Werkstück eine kreisförmige Bewegung aus. Zur Erzeugung der Drehbewegung kann beim erfindungsgemäßen Verfahren z. B. ein Elektromotor dienen.

[0019] In einer besonders bevorzugten Variante werden die erste, bevorzugt ringförmige Spiegelfläche und die zweite, bevorzugt kreisförmige Spiegelfläche konzentrisch angeordnet. Die innere Spiegelfläche, auf die ein Großteil der Laserleistung (z. B. 86%) auftrifft, wird hierbei gependelt, um bei der Laserbearbeitung einen pendelnden Fokuspunkt mit hoher Strahlleistung zu erzeugen. Die äußere, ringförmige Spiegelfläche bleibt ortsfest und bewirkt eine konstante Umlenkung des Laserstrahls (z. B. um 45°) auf einen ortsfesten Fokuspunkt geringerer Laserleistung (z. B. 14%). Es versteht sich, dass nicht nur kreisförmige Spiegelflächen, sondern auch andere, insbesondere elliptische Formen der Spiegelflächen günstig sein können.

[0020] Bei einer vorteilhaften Variante ist die erste Spiegelfläche an einem ersten Spiegelement und die zweite Spiegelfläche an einem zweiten Spiegelement gebildet, wobei das erste Spiegelement bevorzugt flüssigkeitsgeköhlt und das zweite Spiegelement bevorzugt gasgeköhlt wird. Bei den in der Laserbearbeitung typischer Weise auftretenden, hohen Laserleistungen ist eine Kühlung der Spiegelemente vorteilhaft, um diese vor Zerstörung und/oder vor Deformationen durch zu starke Temperaturveränderungen zu schützen. Insbesondere das zweite Spiegelement sollte hierbei gasgeköhlt werden (z. B. mit Stickstoff oder Luft), da eine Kühlung mit einer Flüssigkeit aufgrund der zusätzlichen Masse die Pendel-

frequenz verringern würde.

[0021] In einer besonders bevorzugten Variante wird an der zweiten Spiegelfläche ein Anteil von mehr als 50%, bevorzugt von mehr als 70%, insbesondere von mehr als 80% der Intensität des Laserstrahls umgelenkt. Bei der anschließenden Fokussierung der von der ersten und der zweiten Spiegelfläche reflektierten Strahlanteile wird auf diese Weise ein leistungsstarker, pendelnder Fokuspunkt erzeugt, der um einen festen Fokuspunkt mit geringerer Strahlintensität pendelt, was sich als besonders günstig für die Laserbearbeitung herausgestellt hat. Es versteht sich, dass sich die relativen Anteile der Laserleistung, die auf die erste bzw. zweite Spiegelfläche auftreffen, durch eine Veränderung des Strahldurchmessers des auf den Umlenkspiegel auftreffenden Laserstrahls einstellen lassen.

[0022] Ein weiterer Aspekt der Erfindung ist realisiert in einem Umlenkspiegel der eingangs genannten Art, bei dem die zweite Spiegelfläche relativ zur ersten Spiegelfläche pendelbar mit Pendelfrequenzen von mehr als 1000 Hz, bevorzugt von mehr als 2000 Hz, insbesondere von mehr als 3000 Hz gelagert ist. Vorzugsweise weist der Umlenkspiegel eine Antriebseinrichtung zur Erzeugung der Pendelbewegung der zweiten Spiegelfläche relativ zur ersten Spiegelfläche auf. Der erfindungsgemäße Umlenkspiegel kann insbesondere für die Laserbearbeitung verwendet werden, um eine Pendelbewegung eines Laserstrahlfokus auf dem/den zu bearbeitenden Werkstück(en) mit hoher Frequenz zu ermöglichen.

[0023] Bei einer bevorzugten Ausführungsform ist die Antriebseinrichtung zum Erzeugen einer Pendelbewegung in Form einer Kippbewegung, Drehbewegung und/oder Linearbewegung der zweiten Spiegelfläche relativ zur ersten Spiegelfläche ausgelegt. Wie oben dargestellt kann die Pendelbewegung auf verschiedene Weise realisiert werden, wobei ggf. auch zwei Pendelbewegungen überlagert werden können, z. B. indem eine überlagerte Kippbewegung um zwei zueinander senkrechte Kippachsen vorgenommen wird, beispielsweise um eine spiralförmige Bewegung des Fokuspunkts zu erreichen, wie in der eingangs zitierten US 5,690,845 dargestellt ist, die bezüglich dieses Aspekts durch Bezugnahme zum Inhalt dieser Anmeldung gemacht wird.

[0024] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform weist die Antriebseinrichtung mindestens einen Piezoaktor zum Erzeugen der Pendelbewegung auf. Mit Hilfe von Piezoaktoren kann insbesondere eine Kippbewegung und/oder eine lineare Bewegung der zweiten Spiegelfläche mit hoher Pendelfrequenz realisiert werden.

[0025] In einer vorteilhaften Ausführungsform ist die erste Spiegelfläche an einem ersten, ortsfest gela-

gerten Spiegelement gebildet, das bevorzugt eine Zuführungseinrichtung zum Zuführen eines Kühlgases an ein zweites Spiegelement aufweist, an dem die zweite Spiegelfläche gebildet ist. Als Zuführungseinrichtungen können z. B. Düsen in dem ersten Spiegelement vorgesehen sein.

[0026] Bei einer vorteilhaften Weiterbildung ist die erste Spiegelfläche an einem plattenförmigen Element gebildet und auf einen Grundkörper des ersten Spiegelements aufgesetzt, wobei in dem Grundkörper bevorzugt Kühlkanäle zum Durchleiten einer Kühlflüssigkeit und/oder weitere Kühlkanäle zum Durchleiten eines Kühlgases für das zweite Spiegelement eingebracht sind. Der Grundkörper kann aus einer Stahllegierung gefertigt sein, wodurch eine hohe Stabilität und dadurch eine geringe Verformung der Spiegelfläche erreicht werden kann. Die plattenförmige Spiegelfläche besteht bevorzugt aus Kupfer oder Aluminium. Grundkörper und Spiegelfläche können z. B. durch Löten oder Kleben miteinander verbunden sein. Zur Kühlung des ersten Spiegelements kann Wasser verwendet werden, das z. B. durch eine ringförmige Nut im Grundkörper fließt. Die Zerteilung des ersten Spiegelements in einen Grundkörper und ein plattenförmiges Element mit der Spiegelfläche hat den Vorteil, dass die Kühlmedien nah an der Spiegeloberfläche entlang geleitet werden können.

[0027] In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform ist die zweite Spiegelfläche an einem zweiten, beweglich gelagerten und bevorzugt einteiligen Spiegelement gebildet. Das zweite Spiegelement kann an einem oder mehreren Festkörpergelenken gelagert sein, um die Pendelbewegung zu ermöglichen.

[0028] Bei einer besonders vorteilhaften Weiterbildung sind in dem zweiten, bevorzugt metallischen Spiegelement Nuten für das Durchleiten eines Kühlgases eingebracht. Das zweite Spiegelement besteht bevorzugt aus Kupfer oder Aluminium. Da es einer hohen Strahlungsleistung ausgesetzt ist, wird es gekühlt, wobei bevorzugt ein Gas durch in das zweite Spiegelement gefräste Nuten geführt wird. Zum besseren Wärmeaustausch können die Nuten bananenförmig ausgeführt sein.

[0029] Ein weiterer Aspekt der Erfindung ist realisiert in einem Laserbearbeitungskopf zur Führung eines Laserstrahls auf ein Werkstück, umfassend: mindestens einen Umlenkspiegel wie oben beschrieben, wobei in dem Laserbearbeitungskopf bevorzugt eine Fokussiereinrichtung für den Laserstrahl angeordnet ist. Ein Laserbearbeitungskopf mit einem solchen Umlenkspiegel ist ausgelegt, den Laserstrahl auf zwei oder mehr Fokuspunkte zu fokussieren, von denen mindestens einer während der Laserbearbeitung eine Pendelbewegung ausführt.

[0030] In einer bevorzugten Ausführungsform ist der Umlenkspiegel im Strahlengang vor oder nach der Fokussiereinrichtung angeordnet oder als Fokussiereinrichtung ausgebildet. Bei der Anordnung des Umlenkspiegels im konvergenten Strahlengang nach der Fokussiereinrichtung kann die zu pendelnde zweite Spiegelfläche verkleinert werden, wodurch die Pendelfrequenz größer gewählt werden kann. Der Umlenkspiegel kann aber auch selbst als Fokussiereinrichtung dienen, wenn er z. B. als Hohlspiegel ausgelegt ist.

[0031] Weitere Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und der Zeichnung.

[0032] Es zeigen:

[0033] [Fig. 1a](#), c schematische Darstellungen einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Umlenkspiegels in einer Draufsicht und in einer Seitenansicht,

[0034] [Fig. 2a](#), b schematische Darstellungen von zwei Ausführungsformen eines erfindungsgemäßen Laserbearbeitungskopfs mit einem Umlenkspiegel,

[0035] [Fig. 3a](#), b perspektivische Darstellungen eines inneren Spiegelements des Umlenkspiegels von [Fig. 1](#),

[0036] [Fig. 4](#) eine perspektivische Darstellung eines äußeren Spiegelements des Umlenkspiegels von [Fig. 1](#), und

[0037] [Fig. 5a](#), b schematische Darstellungen von Beispielen für die Lagerung des inneren Spiegelements des erfindungsgemäßen Umlenkspiegels.

[0038] [Fig. 1a–c](#) zeigen einen Umlenkspiegel **1** für einen Laserstrahl **2**, dessen kreisrunde Spiegelfläche in eine erste, äußere Spiegelfläche **3** und in eine zweite, innere Spiegelfläche **4** aufgeteilt ist. Ein Strahldurchmesser D des Laserstrahls **2** ist hierbei so gewählt, dass dieser vollständig an den beiden Spiegelflächen **3**, **4** reflektiert wird. Die erste und zweite Spiegelfläche **3**, **4** sind hierbei konzentrisch angeordnet und nur durch einen schmalen Spalt **5** voneinander getrennt, so dass nahezu 100% der Intensität des Laserstrahls **2** an dem Umlenkspiegel **1** reflektiert werden. Die zweite, kreisförmige Spiegelfläche **4** ist beweglich, die erste, ringförmige Spiegelfläche **3** stationär gelagert, wobei die Lagerung der zweiten Spiegelfläche **4** derart ausgelegt ist, dass diese eine Pendelbewegung in Form einer Kippbewegung entlang einer Achse ausführen kann, die durch den Mittelpunkt M der zweiten Spiegelfläche **4** oder durch einen Punkt auf einer durch den Mittelpunkt M senkrecht zur zweiten Spiegelfläche **4** verlaufenden Achse sowie parallel zur Ebene der ersten Spiegelfläche **3** verläuft. Die Richtung dieser Kippachse entspricht

der Richtung einer X-Achse oder Y-Achse eines in [Fig. 1a](#) gezeigten XYZ-Koordinatensystems.

[0039] Wie in [Fig. 1b](#), c gezeigt, kann die zweite Spiegelfläche **4** aus einer Ausgangslage, in der sie in derselben Ebene wie die erste Spiegelfläche **3** liegt ([Fig. 1b](#)) in eine verkippte Lage bewegt werden ([Fig. 1c](#)), wobei der maximale Kippwinkel α typischer Weise bei $\pm 1,1$ mrad liegt. Der Spalt **5** zwischen der ersten und zweiten Spiegelfläche **3**, **4** weist eine Breite auf, die so gewählt ist, dass die zweite Spiegelfläche **4** um diesen maximalen Kippwinkel relativ zur ersten Spiegelfläche **3** verkippt werden kann. Bei der oben angegebenen Wahl des maximalen Kippwinkels beträgt diese Spaltbreite mindestens ca. 0,02 mm.

[0040] Der Strahlquerschnitt D des einfallenden Laserstrahls **2** ist auf die Größe der Spiegelflächen **3**, **4** abgestimmt und so gestaltet, dass (beispielsweise) ein zweiter Teilstrahl **2b** mit 86% der Laserleistung von der zweiten Spiegelfläche **4** reflektiert wird, um mit diesem eine Pendelbewegung auszuführen. Um die restlichen 14% Laserleistung nutzen zu können, ist die ringförmige erste Spiegelfläche **3** um die zweite Spiegelfläche **4** herum angeordnet. Von der ersten Spiegelfläche **3** wird ein erster Teilstrahl **2a** des Laserstrahls **2** reflektiert, der mit dem einfallenden Laserstrahl **2** einen konstanten Winkel von z. B. 45° in der XY-Ebene (Umlenkebene) einschließt.

[0041] Die oben dargestellte Art der Strahlteilung hat den Vorteil, dass mit der kleinen zweiten Spiegelfläche **4** hohe Pendelfrequenzen realisierbar sind und dass durch das Vorsehen der die zweite Spiegelfläche **4** umgebenden ersten Spiegelfläche **3** fast keine Laserleistung verloren geht. Die zweite Spiegelfläche **4** kann hierbei einen Durchmesser von z. B. weniger als 15,8 mm aufweisen, so dass die gependelte zweite Spiegelfläche **4** klein genug ist, um mit ihr Pendelfrequenzen von mehr als 3000 Hz zu erreichen. Ferner ist es möglich, durch die Veränderung des Durchmessers D des Laserstrahls **1** mehr oder weniger Leistung auf die gependelte zweite Spiegelfläche **4** einzustrahlen. Insbesondere kann mehr als die Hälfte der vorhandenen Laserleistung auch mit einer sehr kleinen zweiten Spiegelfläche **4** gependelt werden, da die Intensitätsverteilung der Laserstrahlung über den Strahlquerschnitt im Wesentlichen einer Gauß-Verteilung entspricht, bei der ein erheblicher Teil der Strahlintensität in der Nähe des Mittelpunkts M der zweiten Spiegelfläche **4** konzentriert ist.

[0042] [Fig. 2a](#) zeigt eine erste Variante eines Laserbearbeitungskopfs **6**, in den der Umlenkspiegel **1** der [Fig. 1a](#)–c eingebaut ist, um einen Laserbearbeitungsprozess zur Verbindung von zwei Werkstückteilen **7a**, **b** entlang einer Bearbeitungsrichtung **8** durchzuführen. Der Laserbearbeitungskopf **6** weist zur Umlenkung des von einer nicht gezeigten Strahlfüh-

rungseinrichtung kommenden, kollimierten Laserstrahls **2** einen ersten Umlenkspiegel **9** auf. Der umgelenkte Laserstrahl **2** trifft nachfolgend auf den Umlenkspiegel **1** der [Fig. 1a](#)–c und wird von diesem in zwei Teilstrahlen **2a**, **b** aufgeteilt, die zur Vereinfachung in [Fig. 2a](#) durch einen einzigen Strahl dargestellt sind. Der Umlenkspiegel **1** ist derart angeordnet, dass sein Mittelpunkt M in der optischen Achse **10** des Laserstrahls **2** zu liegen kommt. Im Strahlengang nach dem Umlenkspiegel **1** ist ein Fokussierspiegel **11** angeordnet, von dem die Teilstrahlen **2a**, **b** auf eine Bearbeitungszone **12** zwischen den Werkstückteilen **7a**, **b** fokussiert werden, hinter der sich in Bearbeitungsrichtung **8** eine Schweißnaht **13** ausbildet.

[0043] Durch die Fokussierung der Teilstrahlen werden zwei Brennpunkte (nicht gezeigt) in der Bearbeitungszone **12** erzeugt. Der leistungsstärkere Fokus (z. B. mit 86% Laserleistung) wird dabei um den festen Fokus (z. B. mit 14% Laserleistung) z. B. mit einer Auslenkung von 0,6 mm senkrecht zur Bearbeitungsrichtung **8** gependelt, wie in [Fig. 2a](#) durch eine gezackte Linie angedeutet ist. Die Pendelfrequenz wird während der Laserbearbeitung hierbei in der Regel konstant gehalten, kann aber gegebenenfalls auch variiert werden.

[0044] Die in [Fig. 2b](#) gezeigte Variante der Anordnung des Umlenkspiegels **1** in dem Laserbearbeitungskopf **6** unterscheidet sich von der im Zusammenhang mit [Fig. 2a](#) beschriebenen Variante lediglich dadurch, dass die Positionen des Umlenkspiegels **1** und des Fokussierspiegels **11**, der den Laserstrahl **2** um 45° umlenkt, vertauscht sind. Der Umlenkspiegel **1** ist daher im teilfokussierten Strahlengang angeordnet und lenkt den teilfokussierten Laserstrahl **2** um weitere 45° zur Bearbeitungszone **12** um.

[0045] Bei dieser Variante kann der Durchmesser des Umlenkspiegels **1** somit geringer gewählt werden als bei der in Zusammenhang mit [Fig. 2a](#) beschriebenen Variante, weshalb bei dieser Variante typischer Weise höhere Pendelfrequenzen erreicht werden können.

[0046] Im Folgenden wird anhand der [Fig. 3](#) bis [5](#) ein Beispiel für den Aufbau des Umlenkspiegels **1** zum Erreichen hoher Pendelfrequenzen dargestellt. [Fig. 3a](#), **b** zeigen hierbei ein zweites Spiegelement **14**, an dessen Oberseite die zweite Spiegelfläche **4** gebildet ist. Das zweite Spiegelement **14** besteht aus einem metallischen Material (Kupfer, Aluminium etc.), das aufgrund der hohen Strahlleistungen gekühlt werden muss. Zu diesem Zweck sind auf der Unterseite des zweiten Spiegelements **14** Nuten als Kühlkanäle **15** eingefräst, die zum besseren Wärmeaustausch bananenförmig ausgeführt sind. Durch die Kühlkanäle **15** wird ein Kühlgas (Luft, Stickstoff

etc.) geleitet, da die Verwendung einer Kühlflüssigkeit aufgrund der zusätzlichen zu bewegendenden Masse und aufgrund der dämpfenden Wirkung von Schläuchen und Anschlüssen negative Auswirkungen auf die Pendelfrequenz des zweiten Spiegelements **14** hätte. Das im Wesentlichen plattenförmig ausgebildete zweite Spiegelement **14** weist hierbei eine Masse von typischer Weise weniger als 5 Gramm auf.

[0047] **Fig. 4** zeigt ein erstes Spiegelement **16**, bei dem auf einem Grundkörper **17** aus einer Stahllegierung ein ringförmiges, plattenförmiges Element **18** aus Kupfer gebildet ist, dessen Oberseite die zweite Spiegelfläche **3** bildet, wobei der Grundkörper **17** und das plattenförmige Element **18** z. B. durch Löten miteinander verbunden sind. Zur Kühlung des zweiten Spiegelements **16** wird Wasser verwendet, das durch eine im Wesentlichen ringförmige Nut als Kühlkanal **19** geleitet wird. Ein weiterer Kühlkanal **20** dient zum Durchleiten eines Kühlgases zu Düsen **21a, b**, welche als Zuführungseinrichtungen zur Zuführung des Kühlgases an die Kühlkanäle **15** des zweiten Spiegelements **14** dienen und welche ebenfalls in den Grundkörper **17** eingefräst sind. Es versteht sich, dass weitere, nicht gezeigte Kühlkanäle zum Abführen des Kühlgases in dem Grundkörper **17** eingebracht sind. Durch die Teilung des ersten Spiegelements **16** in den Grundkörper **17** und das plattenförmige Element **18** wird bewirkt, dass die Kühlmedien nahe an der Spiegeloberfläche **3** entlang geführt werden können.

[0048] Um eine hohe Bewegungsfrequenz der zweiten Spiegelfläche **4** bzw. des zweiten Spiegelements **14** zu erreichen, ist dieses, wie in **Fig. 5a** gezeigt, auf einem Piezo-Kippsystem **22a** als Antriebseinrichtung um eine Achse parallel zur ersten Spiegelfläche **3** kippbar gelagert montiert. Das zweite Spiegelement **14** ist hierbei auf einem Trägerelement **25** angeordnet. Ein Piezoaktor **23** ist in das Kippsystem **22a** integriert und ermöglicht den Antrieb des zweiten Spiegelements **14**, das an einem Festkörpergelenk **24** gelagert ist. In einer alternativen, in **Fig. 5b** gezeigten Ausführung eines Piezo-Kippsystems **22b** als Antriebseinrichtung sind vier Piezoaktoren vorhanden, von denen zwei Piezoaktoren **23a, b** in **Fig. 5b** gezeigt sind, die eine Verkipfung des zweiten Spiegelements **14** in Z-Richtung ermöglichen. Zwei weitere, nicht gezeigte Piezoaktoren ermöglichen die Verkipfung um eine Achse senkrecht zur Zeichenebene (X-Achse, vgl. **Fig. 1a**), so dass das zweite Spiegelement **14** in alle Richtungen verkippt werden kann. Das Festkörpergelenk **24** ist federnd ausgelegt, so dass durch gleichzeitiges Ansteuern aller Piezoaktoren mit derselben Spannung eine Linearbewegung des zweiten Spiegelements **24** erreicht werden kann. Es versteht sich, dass alternativ zu den hier beschriebenen Bewegungsformen z. B. auch eine Drehbewegung der zweiten Spiegelfläche

4 relativ zur ersten Spiegelfläche **3** z. B. mittels eines Elektromotors erfolgen kann.

[0049] Es versteht sich weiterhin, dass der Umlenkspiegel **1** nicht zwingend runde Spiegelflächen **3, 4** aufweisen muss, sondern dass auch eine andere Formgebung, z. B. eine elliptische Form, für die Spiegelflächen gewählt werden kann. Auch ist der Umlenkspiegel nicht zwingend als Planspiegel ausgebildet, vielmehr können die Spiegelflächen **3, 4** auch (z. B. elliptisch, parabolisch) gekrümmt sein. In diesem Fall kann der Umlenkspiegel auch als Fokussierspiegel verwendet werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Laserbearbeiten von Werkstücken (**7a, 7b**) mittels eines Laserstrahls (**2**), der an einer ersten Spiegelfläche (**3**) und an mindestens einer von der ersten Spiegelfläche (**3**) zumindest teilweise umgebenen zweiten Spiegelfläche (**4**) eines Umlenkspiegels (**1**) umgelenkt wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass während des Laserbearbeitens die zweite Spiegelfläche (**4**) eine Pendelbewegung relativ zur ersten, bevorzugt ortsfesten Spiegelfläche (**3**) ausführt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die zweite Spiegelfläche (**4**) relativ zur ersten Spiegelfläche (**3**) eine Pendelbewegung mit einer Pendelfrequenz von mehr als 1000 Hz, bevorzugt von mehr als 2000 Hz, insbesondere von mehr als 3000 Hz ausführt.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die zweite Spiegelfläche (**4**) relativ zur ersten Spiegelfläche (**3**) eine Pendelbewegung in Form einer Kippbewegung, einer Drehbewegung und/oder einer Linearbewegung ausführt.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die erste, bevorzugt ringförmige Spiegelfläche (**3**) und die zweite, bevorzugt kreisförmige Spiegelfläche (**4**) konzentrisch angeordnet werden.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die erste Spiegelfläche (**3**) an einem ersten Spiegelement (**16**) und die zweite Spiegelfläche (**4**) an einem zweiten Spiegelement (**14**) gebildet ist, wobei das erste Spiegelement (**16**) bevorzugt flüssigkeitsgekühlt und das zweite Spiegelement (**14**) bevorzugt gasgekühlt wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem an der zweiten Spiegelfläche (**4**) ein Anteil von mehr als 50%, bevorzugt von mehr als 70%, insbesondere von mehr als 80% der Intensität des Laserstrahls (**2**) umgelenkt wird.

7. Umlenkspiegel (**1**) für einen Laserstrahl (**2**) zur

Laserbearbeitung, umfassend:
 eine erste Spiegelfläche (3),
 mindestens eine von der ersten Spiegelfläche (3) zu-
 mindest teilweise umgebene zweite Spiegelfläche
 (4),
 dadurch gekennzeichnet, dass
 die zweite Spiegelfläche (4) relativ zur ersten Spie-
 gelfläche (3) pendelbar mit Pendelfrequenzen von
 mehr als 1000 Hz, bevorzugt von mehr als 2000 Hz,
 insbesondere von mehr als 3000 Hz gelagert ist.

8. Umlenkspiegel nach Anspruch 7, der eine An-
 triebseinrichtung (22a, 22b) zur Erzeugung einer
 Pendelbewegung der zweiten Spiegelfläche (4) rela-
 tiv zur ersten Spiegelfläche (3) mit einer Pendelfre-
 quenz von mehr als 1000 Hz, bevorzugt von mehr als
 2000 Hz, insbesondere von mehr als 3000 Hz auf-
 weist.

9. Umlenkspiegel nach Anspruch 8, bei dem die
 Antriebseinrichtung (22a, 22b) zum Erzeugen einer
 Pendelbewegung in Form einer Kippbewegung,
 Drehbewegung und/oder Linearbewegung der zwei-
 ten Spiegelfläche (4) relativ zur ersten Spiegelfläche
 (3) ausgelegt ist.

10. Umlenkspiegel nach Anspruch 8 oder 9, bei
 dem die Antriebseinrichtung (22a, 22b) mindestens
 einen Piezoaktor (23; 23a, 23b) zum Erzeugen der
 Pendelbewegung aufweist.

11. Umlenkspiegel nach einem der Ansprüche 7
 bis 10, bei dem die erste Spiegelfläche (3) an einem
 ersten, ortsfest gelagerten Spiegelement (16) gebil-
 det ist, das bevorzugt eine Zuführungseinrichtung
 (21a, 21b) zum Zuführen eines Kühlgases an ein
 zweites Spiegelement (14) aufweist, an dem die
 zweite Spiegelfläche (4) gebildet ist.

12. Umlenkspiegel nach Anspruch 11, bei dem
 die erste Spiegelfläche (3) an einem plattenförmigen
 Element (18) gebildet ist, das auf einen Grundkörper
 (17) des ersten Spiegelements (16) aufgesetzt ist,
 wobei in dem Grundkörper (17) bevorzugt Kühlkanäle
 (19) zum Durchleiten einer Kühlflüssigkeit
 und/oder weitere Kühlkanäle (20) zum Durchleiten ei-
 nes Kühlgases für das zweite Spiegelement (14)
 eingebracht sind.

13. Umlenkspiegel nach einem der Ansprüche 7
 bis 12, bei dem die zweite Spiegelfläche (4) an einem
 zweiten, beweglich gelagerten und bevorzugt einteili-
 gen Spiegelement (14) gebildet ist.

14. Umlenkspiegel nach Anspruch 13, bei dem in
 dem zweiten, bevorzugt metallischen Spiegelele-
 ment (14) Nuten (15) für das Durchleiten eines Kühl-
 gases eingebracht sind.

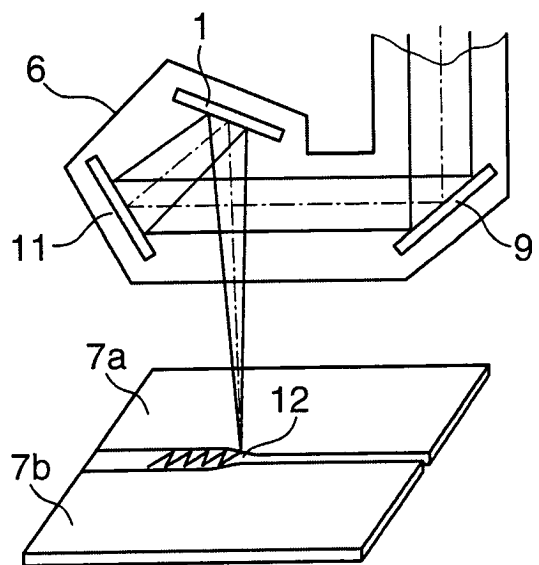
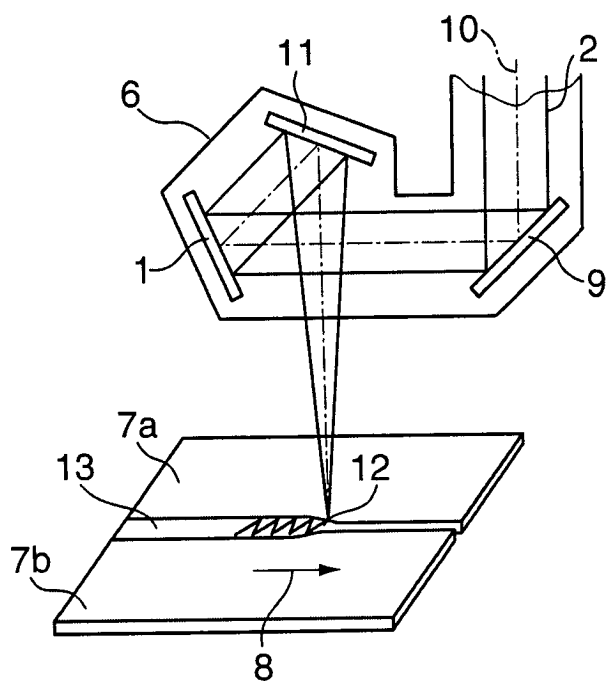
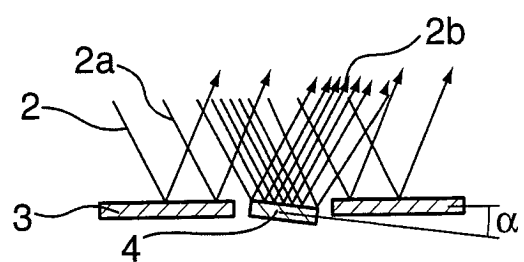
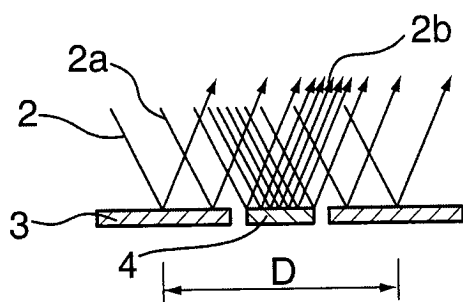
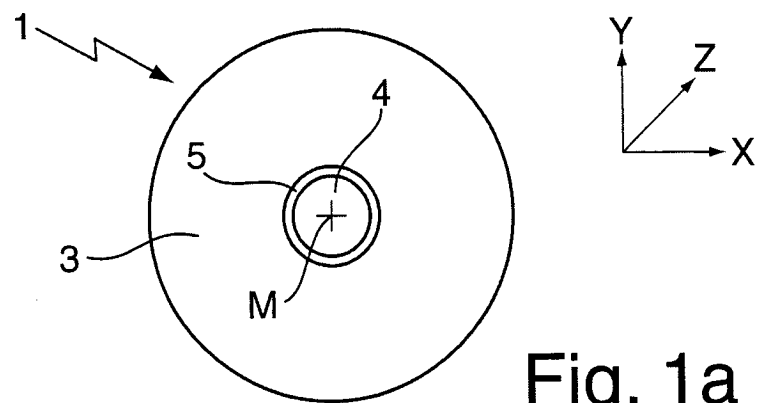
15. Laserbearbeitungskopf (6) zur Führung eines

Laserstrahls (2) auf ein Werkstück (7a, 7b), umfas-
 send: mindestens einen Umlenkspiegel (1) nach ei-
 nem der Ansprüche 7 bis 14, wobei in dem Laserbe-
 arbeitungskopf (6) bevorzugt eine Fokussiereinrich-
 tung (11) für den Laserstrahl (2) angeordnet ist.

16. Laserbearbeitungskopf nach Anspruch 15,
 bei dem der Umlenkspiegel (1) im Strahlengang vor
 oder nach der Fokussiereinrichtung (11) angeordnet
 oder als Fokussiereinrichtung ausgebildet ist.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



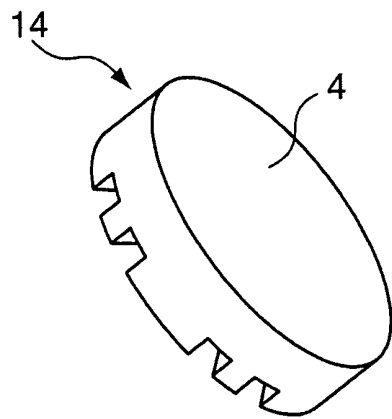


Fig. 3a

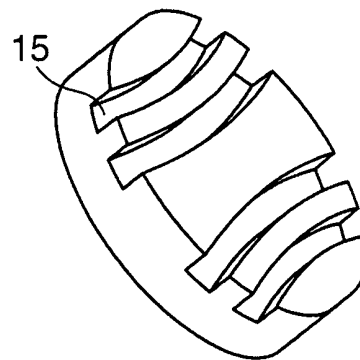


Fig. 3b

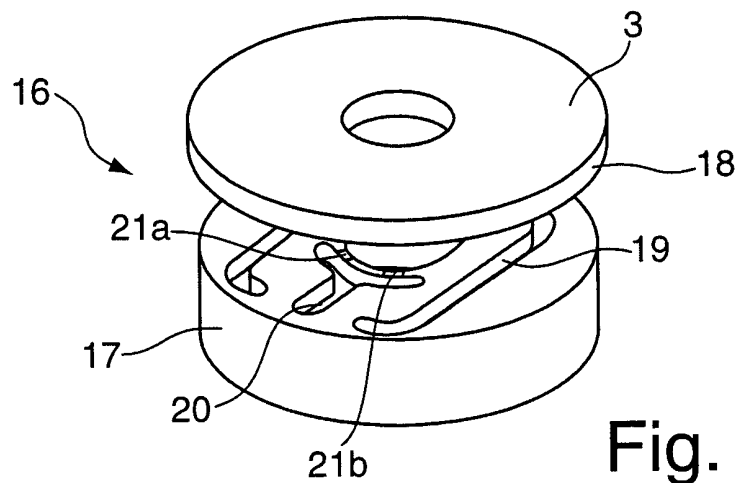


Fig. 4

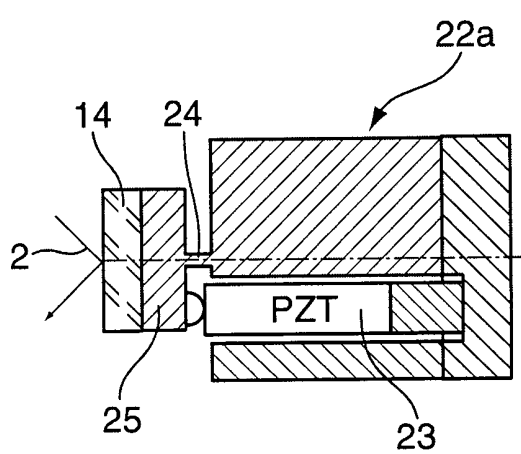


Fig. 5a

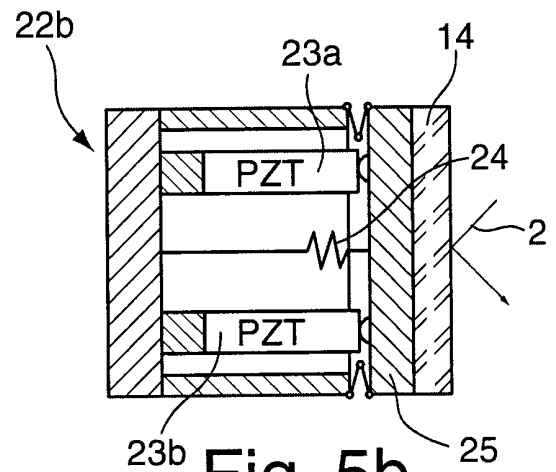


Fig. 5b