

SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 711 987 A2

(51) Int. Cl.: G02B 26/08 (2006.01)
B23K 26/02 (2014.01)

Patentanmeldung für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) **PATENTANMELDUNG**

(21) Anmeldenummer: 01589/16

(22) Anmeldedatum: 05.12.2016

(43) Anmeldung veröffentlicht: 30.06.2017

(30) Priorität: 18.12.2015
DE 102015226083.6

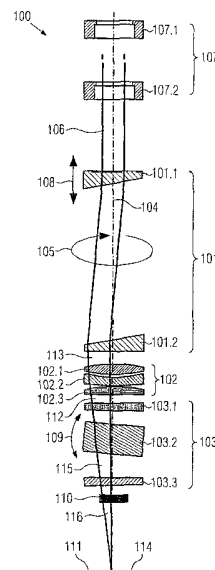
(71) Anmelder:
Steinmeyer Mechatronik GmbH, Fritz-Schreiter-Strasse 32
01259 Dresden (DE)

(72) Erfinder:
Tobias Materne, 01069 Dresden (DE)

(74) Vertreter:
BOVARD AG Patent- und Markenanwälte,
Optingenstrasse 16
3013 Bern (CH)

(54) **Optische Anordnung zum Herstellen feiner Strukturen mittels Laserstrahlung.**

(57) Die Erfindung betrifft eine optische Vorrichtung (100) zur Führung eines Lichtstrahles, insbesondere eines Laserstrahles, zur Bearbeitung von Werkstücken, und mit wenigstens einer Rotationsachse (104), umfassend: wenigstens ein drehbares erstes Mittel (101) konfiguriert für eine erste Parallelversetzung des Lichtstrahles, wenigstens ein zweites Mittel (102) konfiguriert für eine Fokussierung des Lichtstrahles, beispielsweise für eine Fokussierung und Schrägstellung des Lichtstrahles, und wenigstens ein drehbares drittes Mittel (103) konfiguriert für eine zweite Parallelversetzung des Lichtstrahles.



Beschreibung

Stand der Technik

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung der im Oberbegriff des Patentanspruchs 1 angegebenen Art sowie ein Verfahren der im Oberbegriff des Patentanspruchs 15 angegebenen Art.

[0002] Für die Herstellung feiner Strukturen, bzw. für die Bearbeitung von Werkstücken, insbesondere für die Mikrobearbeitung von Werkstücken, beispielsweise zum Bohren und Schneiden von Werkstücken bzw. verschiedenen Substratmaterialien und Blechen von wenigen μm bis etwa 1 mm Dicke, ist der Einsatz von Laserstrahlung bekannt.

[0003] Dabei werden unter anderem Schnitte mit senkrechten Kanten und breite senkrechte oder sich weitende Bohrungen gefordert, wie sie z.B. in der Uhrenindustrie oder zur Fertigung von Einspritz-, Spinn- oder Kühlbohrungen angewendet werden.

[0004] Eine herkömmliche optische Laserstrahlführungsvorrichtung zur Führung des Laserstrahls auf ein Werkstück ist beispielsweise in der DE 20 2008 017 745 U1 beschrieben.

[0005] Nachteilig bei bekannten Vorrichtungen und Verfahren zur Laserstrahlführung sind jedoch unter anderem ihre hohen Anforderungen an die Präzision und Güte der verwendeten optischen Bauelemente und deren Verstellmechaniken und die damit verbundene hohe Anfälligkeit für selbst geringste Fehler in der Steuerung und/oder der Güte der optischen Bauelemente, was zu hohen Betriebsausfallzeiten und hohen Produktausschussraten führen kann.

[0006] Ebenso nachteilig an bekannten Vorrichtungen und Verfahren, welche mitunter eine Vielzahl von Komponenten zur Manipulation und/oder Aufweitung des Laserstrahls beinhalten, kann auch ihr relativ grosser Raumbedarf sein.

Aufgabe

[0007] Es ist somit Aufgabe der Erfindung eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Führung eines Lichtstrahles, insbesondere eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Führung eines Laserstrahles zur Bearbeitung von Werkstücken, zu verbessern. Beispielsweise kann besagte Vorrichtung unter anderem hinsichtlich der Kompaktheit und Effizienz der Vorrichtung verbessert werden, sowie hinsichtlich der Vielfältigkeit, Präzision und Qualität mit der Werkstücke bearbeitet werden können.

Lösung

[0008] Dies wird erfindungsgemäss durch eine optische Vorrichtung nach Anspruch 1 und ein Verfahren nach Anspruch 15 erreicht. Vorteilhafte Ausführungsformen und Weiterbildungen sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0009] Eine optische Vorrichtung zur Führung eines Lichtstrahles, insbesondere eines Laserstrahles zur Bearbeitung von Werkstücken, und mit wenigstens einer Rotationsachse, kann beispielsweise folgende Mittel zur Führung des Lichtstrahles aufweisen.

[0010] Unter dem Begriff des Laserstrahls kann z.B. sowohl eine kontinuierliche als auch eine gepulste Laserstrahlung verstanden werden.

[0011] Die optische Vorrichtung kann wenigstens ein drehbares erstes Mittel aufweisen, welches konfiguriert für eine erste Parallelversetzung des Lichtstrahles sein kann, sowie wenigstens ein zweites Mittel, welches für eine Fokussierung des Lichtstrahles, beispielsweise für eine Fokussierung und Schrägstellung des Lichtstrahles, konfiguriert sein kann.

[0012] Zudem kann die optische Vorrichtung wenigstens ein drehbares drittes Mittel aufweisen, welches für eine zweite Parallelversetzung des Lichtstrahles konfiguriert sein kann.

[0013] Beispielsweise können dabei bevorzugterweise die besagten Mittel der optischen Vorrichtung derart entlang des Strahlengangs des Lichtstrahls angeordnet sein, dass die erste Parallelversetzung des Lichtstrahls durch das erste Mittel vor einer Fokussierung des Lichtstrahles durch das zweite Mittel erfolgt, sowie, dass die zweite Parallelversetzung des Lichtstrahls durch das dritte Mittel nach einer Fokussierung des Lichtstrahles durch das zweite Mittel erfolgt.

[0014] Unter dem Begriff Mittel kann dabei eine optische Anordnung oder optische Baugruppe verstanden werden, die wenigstens eine Komponente, ein optisches Mittel, bzw. ein optisches Element, oder eine Gruppe von Komponenten, optischen Mitteln bzw. optischen Elementen zur Modifikation und/oder Umlenkung bzw. Führung eines Lichtstrahls, beispielsweise eines Laserstrahls, umfasst.

[0015] Unter dem Begriff der Fokussierung des Lichtstrahles kann z.B. auch eine Fokussierung und Schrägstellung des Lichtstrahles verstanden werden, worin die Schrägstellung des Lichtstrahles bezüglich bzw. in Richtung zu einer optischen Achse erfolgen kann.

[0016] Unter der wenigstens einen Rotationsachse der optischen Vorrichtung kann beispielsweise die optische Achse der optischen Vorrichtung verstanden werden.

[0017] Die wenigstens eine Rotationsachse der optischen Vorrichtung und die möglichen Rotationsachsen der Mittel zur Führung des Lichtstrahles können miteinander übereinstimmen. Dies kann z.B. vorteilhaft sein für eine Kompatibilität der optischen Vorrichtung für hohe Drehzahlen bzw. für hohe Rotationsfrequenzen der optischen Vorrichtung.

[0018] Es ist aber auch denkbar, dass die Mittel zur Führung des Lichtstrahles eigene Rotationsachsen aufweisen können, die verschieden sein können von der wenigstens einen Rotationsachse der optischen Vorrichtung.

[0019] Insbesondere kann z.B. das erste Mittel drehbar um die wenigstens eine Rotationsachse sein, und auch das dritte Mittel drehbar um die wenigstens eine Rotationsachse sein.

[0020] Auch kann das zweite Mittel konfiguriert für eine Fokussierung des Lichtstrahles drehbar sein, z.B. ebenfalls drehbar um die wenigstens eine Rotationsachse sein.

[0021] Der synergetische Effekt der genannten Mittel der optischen Vorrichtung sorgt unter anderem dafür, dass sich die Vorrichtung dadurch vorteilhaft gegenüber bekannten Vorrichtungen auszeichnet, dass die Vorrichtung kompakt ist, sowie eine präzise und unabhängige Einstellung der für die Bearbeitung von Werkstücken mittels Licht- bzw. Laserstrahlen relevanten Parameter erlaubt, beispielsweise eine unabhängige Einstellung des Durchmesser einer Kreisbahn entlang der der Lichtstrahl eine Bohrung oder einen Schnitt ausführen kann, sowie eine unabhängige Einstellung des Anstellwinkels mit dem der Lichtstrahl bezüglich einer optischen Achse bzw. einer Werkstückachse auf das Werkstück treffen kann.

[0022] Insbesondere bietet die optische Vorrichtung die Möglichkeit, Bohrungen, beispielsweise Trepanier- und Wendelbohrungen, und Schnitte mit sich weitendem, gleichbleibendem oder verengendem Querschnitt zu fertigen, und es können beispielsweise Bohrungen ab einem Durchmesser von wenigen Mikrometern bis in den kleinen einstelligen Millimeterbereich, hochpräzise, kostengünstig und reproduzierbar gefertigt werden. Auch ermöglicht die optische Vorrichtung ein genaueres Schneiden von dünnen Blechen und Substraten. Es können dabei beispielsweise die erzielbare Rundheit von Bohrungen, sowie die Kantenqualität bei Schnitten von der optischen Vorrichtung profitieren.

[0023] Dabei ist die optische Vorrichtung zudem auch weniger anfällig für Störeinflüsse bzw. weniger anfällig für Ungenauigkeiten in der Verstellmechanik oder der Güte der optischen Elemente, ohne dass dabei die Qualität und Güte der Werkstückbearbeitung beeinträchtigt würde.

[0024] Die durch die Anordnung bzw. Konfiguration erreichbare Kompaktheit der optischen Vorrichtung kann zudem eine platzsparende und einfache Integration in bestehende Bearbeitungsanlagen erlauben.

[0025] Das erste Mittel der Vorrichtung, also das Mittel für eine erste Parallelversetzung des Lichtstrahles, kann dabei als Keilprismenpaar oder als planparallele optische Platte oder als verstellbares Spiegelsystem ausgeführt sein.

[0026] Auch der Einsatz anderer Prismenformen bzw. anderer Prismentypen ist denkbar. Beispielsweise können ebenfalls Dispersionsprismen und/oder Reflexionsprismen, welche Lichtstrahlen z.B. unter anderem durch Totalreflexion umlenken können, eingesetzt werden.

[0027] Beispielsweise kann z.B. das erste Mittel der Vorrichtung für eine erste Parallelversetzung des Lichtstrahles als Keilprismenpaar ausgeführt sein, wobei zudem ein Keilprisma des Keilprismenpaares entlang der wenigstens einen Rotationsachse verschiebbar sein kann, wodurch beispielhafterweise unter anderem die Grösse des ersten Parallelversatzes frei einstellbar sein kann.

[0028] Das dritte Mittel für eine zweite Parallelversetzung des Lichtstrahles kann ebenfalls als Keilprismenpaar oder als planparallele Platte oder als verstellbares Spiegelsystem ausgeführt sein.

[0029] Beispielsweise kann das dritte Mittel für eine zweite Parallelversetzung des Lichtstrahles als verkippbare planparallele Platte ausgeführt sein.

[0030] Auch hier ist jedoch der Einsatz anderer Prismenformen bzw. anderer Prismentypen denkbar. Beispielsweise können ebenfalls Dispersionsprismen und/oder Reflexionsprismen, welche Lichtstrahlen z.B. unter anderem durch Totalreflexion umlenken können, eingesetzt werden.

[0031] Durch die Fokussierung mit Hilfe des zweiten Mittels, kann der Lichtstrahl schräg angestellt werden, beispielsweise schräg angestellt werden gegenüber einer Rotationsachse der Vorrichtung, und beispielsweise schräg angestellt werden in Bezug auf eine Rotationsachse, welche mit der optischen Achse der Vorrichtung übereinstimmen kann.

[0032] Die mögliche Schrägstellung, d.h. z.B. der Anstellwinkel, des Lichtstrahls bzgl. der wenigstens einen Rotationsachse kann dabei direkt durch den vorherigen Parallelversatz durch das erste Mittel bestimmt bzw. verändert und kontrolliert werden.

[0033] Die Schrägstellung/der Anstellwinkel des Lichtstrahls bzgl. der Rotationsachse kann also wie die Grösse des ersten Parallelversatzes mit einer Verschiebbewegung eines beispielhaften ersten Keilprismas des ersten Mittels frei einstellbar sein.

[0034] Zudem kann das dritte Mittel für eine zweite Parallelversetzung des Lichtstrahles ein zusätzliches Keilprismenpaar umfassen, welches unter anderem dazu dienen kann, Lichtstrahlführungsfehler, die beim Durchlaufen des beispielhaft als planparallele Platte ausgeführten dritten Mittels entstehen können, zu kompensieren.

[0035] Darüber hinaus können die optionalen zusätzlichen Keilprismen auch dazu dienen, eine zweite, beispielsweise wohl definierte und konstante Schrägstellung des Lichtstrahls zu bewirken, deren Richtung entgegengesetzt zur Richtung der veränderlichen Schrägstellung des Lichtstrahls, bewirkt durch die beschriebenen vorgeordneten Mittel zur Fokussierung, sein kann.

[0036] Die optionalen zusätzlichen Keilprismen können beispielsweise dadurch auch eine Führung bzw. eine Bahnführung des Lichtstrahls in Richtung einer Rotationsachse, beispielsweise einer Rotationsachse die mit der optischen Achse der Vorrichtung übereinstimmt, ermöglichen, wobei z.B. dadurch auch eine zentrale Führung des Lichtstrahls entlang der Rotationsachse ermöglicht werden kann.

[0037] Die optische Vorrichtung kann zudem dazu konfiguriert sein, dass das erste Mittel für eine erste Parallelversetzung des Lichtstrahles und das dritte Mittel für eine zweite Parallelversetzung des Lichtstrahles mit der gleichen Rotationsfrequenz drehbar sind.

[0038] Beispielsweise können alle Mittel der optischen Vorrichtung sich eine gemeinsame Rotationsachse teilen, welche beispielsweise die optische Achse sein kann, und um die sich die optische Vorrichtung selbst und ihre Mittel drehen kann/drehen können.

[0039] Vorteilhafterweise können so unnötige Bewegungen der Mittel und Komponenten der optischen Vorrichtungen ausserhalb der/einer Rotationsachse, z.B. ausserhalb einer gemeinsamen Rotationsachse, minimiert werden, wodurch hohe Rotationsfrequenzen, bzw. hohe Drehzahlen, bzw. hohe Rotationsgeschwindigkeiten erreicht werden können.

[0040] Beispielsweise können so hohe Drehzahlen, zum Beispiel Drehzahlen grösser 10 000 Umdrehungen (U)/min, erreicht werden. Für einen optimalen Betrieb der optischen Vorrichtung können Drehzahlen beispielsweise im Drehzahlbereich von etwa 15 000–20 000 U/min liegen.

[0041] Damit kann unter anderem erreicht werden, dass die Überlappung der einzelnen Schüsse bzw. der einzelnen Laserstrahlpulse geringer ist und so eine bessere Qualität bzw. ein stressfreies Bearbeiten von z.B. Glas ermöglicht werden kann.

[0042] Es ist jedoch auch denkbar, dass die optische Vorrichtung so konfiguriert sein kann, dass das erste Mittel für eine erste Parallelversetzung des Lichtstrahles mit einer ersten Rotationsfrequenz drehbar ist und das dritte Mittel für eine zweite Parallelversetzung des Lichtstrahles mit einer zweiten Rotationsfrequenz drehbar ist, wobei die beiden Rotationsfrequenzen verschieden voneinander sein können.

[0043] Dies kann ein Werkstückbearbeitungsverfahren ermöglichen, bei dem der Lichtstrahl schnell stets um einen fixierten Punkt (z.B. den Fokuspunkt) taumeln kann und dieser Taumelpunkt z.B. entlang einer Schneidbahn geführt werden kann. Dies kann z.B. ein präziseres Ausschneiden kleiner Bohrungen ermöglichen.

[0044] Die optische Vorrichtung kann ferner so ausgeführt sein, dass das zweite Mittel für eine Fokussierung des Lichtstrahles wenigstens eine Linse umfassen kann.

[0045] Zudem kann das zweite Mittel konfiguriert für eine Fokussierung des Lichtstrahles entlang der wenigstens einen Rotationsachse verschiebbar sein.

[0046] Vorzugsweise kann das zweite Mittel konfiguriert für eine Fokussierung des Lichtstrahles eine Mehrzahl von Linsen umfassen, wobei die Linsen individuell verschiebbar entlang der oder parallel zu der wenigstens einen Rotationsachse positionierbar sein können.

[0047] Die Verschiebbarkeit der Komponenten der optischen Vorrichtung, beispielsweise von Linsen des zweiten Mittels zur Fokussierung des Lichtstrahls, kann dazu beitragen, die Unempfindlichkeit und Fehlertoleranz der Vorrichtung gegenüber Abweichungen der Optikhersteller zu kompensieren. Die Positionen der Komponenten, beispielsweise von Linsen und Keilprismen, sind in der optischen Vorrichtung unkritisch und es können daher gröbere Einbautoleranzen verwendet werden.

[0048] Beispielsweise kann ein Fahrweg bzw. ein Stellweg des ersten Mittels der Vorrichtung für eine erste Parallelversetzung des Lichtstrahls, z.B. ein Fahrweg eines Keilprismas des ersten Mittels, beispielsweise mit einer Fahrweglänge von bis 70 mm liegen. Bei einer möglichen Verwendung eines grösseren verfahrbaren Keilprismas, kann der beispielhafte Fahrweg allerdings auch verkürzt werden, um Bauraum zu sparen.

[0049] Vor allem jedoch kann die beispielhafte Anordnung, Drehbarkeit und Positionierbarkeit der Mittel der optischen Vorrichtung eine verbesserte Fokusqualität erlauben.

[0050] Zudem erlaubt es die optische Vorrichtung, dass kleine Veränderungen der Lichtstrahlführung durch grosse Verstellbewegungen der Mittel zur Lichtstrahlführung erreicht werden, was ebenfalls die Robustheit und Fehlertoleranz der Vorrichtung verbessern kann.

[0051] Die beispielhafte Verwendung von Linsen für das zweite Mittel zur Fokussierung und beispielsweise gleichzeitigen Schrägstellung des Lichtstrahls in beispielhafter Kombination mit der Parallelversetzung des ersten Mittels erlaubt es, die Schrägstellung des Lichtstrahls bzw. den Anstellwinkel des Lichtstrahls mit grösseren Toleranzen in der Verstellmechanik einzustellen, als dies z.B. durch Keile oder Spiegel realisiert werden könnte. Für eine beispielhafte Strahlwinkelseinstellung bzw. für beispielhafte Anstellwinkel von 0–10° können grössere zulässige Positioniertoleranzen für Komponenten des ersten Mittels erreicht werden. Nimmt man z.B. eine Positioniertoleranz in der beispielhaften Verschiebung eines Keilprisma des ersten Mittels für eine erste Lichtstrahlparallelversetzung von 10 µm, wobei die zwei Keilprismen des ersten Mittels einen z.B. Abstand von 70 000 µm zueinander haben, so läge die Positioniertoleranz für den Lichtstrahl bei einem daraus resultierenden Anstellwinkel von ca. 8° bei etwa $8/70\,000 \mu\text{m} \cdot 10 \mu\text{m} = 0,0011^\circ$.

[0052] Durch eine Anordnung des dritten Mittels für eine zweite Parallelversetzung des Lichtstrahls nach einer Fokussierung, bzw. nach einer Fokussierung und Schrägstellung des Lichtstrahls, kann durch den zweiten Parallelversatz der Bohrungsdurchmesser unabhängig vom Anstellwinkel eingestellt werden.

[0053] Weiterhin ermöglicht die beispielhafte Anordnung des dritten Mittels für eine zweite Parallelversetzung des Lichtstrahls nach einer Fokussierung, bzw. nach einer Fokussierung und Schrägstellung des Lichtstrahls, einen deutlich geringeren notwendigen Parallelversatz zum Einstellen eines Bohrungsdurchmessers, als z.B. eine Anordnung, bei der sich das Mittel für den Parallelversatz zum Einstellen eines Bohrungsdurchmessers vor dem Mittel zum Einstellen der Schrägstellung des Lichtstrahls befindet.

[0054] Diese beispielhafte Anordnung erlaubt es zudem, bei einem beispielhaften Einsatz einer planparallelen Platte als drittes Mittel, die erforderliche Auslenkung und den notwendigen Brechungsindex des Materials der planparallelen Platte zu optimieren.

[0055] Beispielsweise können so für Kippwinkel einer planparallelen Platte des dritten Mittels von 0 bis $\pm 10^\circ$ z.B. Bohrungsdurchmesser von bis zu 1,3 mm eingestellt werden. Es sind jedoch auch grössere Kippwinkelbereiche denkbar, beispielsweise von 0 bis $\pm 20^\circ$ oder mehr, sowie Bohrungsdurchmesser grösser als 1,3 mm.

[0056] Durch die beschriebene beispielhafte Anordnung und beispielhaften Verfahrenswege der Komponenten der Mittel der Vorrichtung kann auch für eine derartige kippbare planparallele Platte des dritten Mittels, welche beispielsweise über eine Hebelanbindung von z.B. etwa 15 mm verfügen kann, zulässige Positionstoleranzen von etwa 8 bis 10 μm oder mehr erreicht werden.

[0057] Derartige zulässige Positionstoleranzen sind unkritisch für eine beispielhafte Kugel- oder Luftlagerung der beispielhaften planparallelen Platte des dritten Mittels. Wie erwähnt, wirken sich diese im Vergleich zu herkömmlichen Vorrichtungen hohen zulässigen Positionstoleranzen vorteilig auf die Qualität der Werkstückbearbeitung aus, so dass beispielsweise Bohrungen mit geforderten Rundheitsabweichungen kleiner 2 μm zuverlässig und leicht zu realisieren sind.

[0058] Die optische Vorrichtung kann zudem ein zusätzliches Mittel zur Drehung der Polarisationssebene des Lichtstrahls aufweisen, worin z.B. das zusätzliche Mittel ein Paar aus Lambda/4-Platten umfassen kann, und wobei das zusätzliche Mittel drehbar ist, z.B. um die wenigstens eine Rotationsachse der Vorrichtung drehbar sein kann.

[0059] Durch dieses optionale Mitdrehen einer Polarisationssebene des Lichtstrahls kann eine verbesserte Absorption des Lichtstrahls im Werkstück, d.h. ein verbessertes Eindringen des Lichtstrahls in das Werkstück, erreicht werden.

[0060] Ein Verfahren zur Führung eines Lichtstrahles, insbesondere eines Laserstrahles zur Bearbeitung von Werkstücken mittels einer optischen Vorrichtung, kann dabei z.B. folgende Schritte enthalten:

- eine erste Parallelversetzung eines in die optische Vorrichtung eingekoppelten Lichtstrahles, z.B. mittels eines um eine Rotationsachse der optischen Vorrichtung drehbaren ersten Mittels,
- eine Fokussierung des Lichtstrahles, beispielsweise eine Fokussierung und Schrägstellung des Lichtstrahles, z.B. mittels eines um eine Rotationsachse der optischen Vorrichtung drehbaren zweiten Mittels,
- und wenigstens eine zweite Parallelversetzung des in die optische Vorrichtung eingekoppelten Lichtstrahles, z.B. mittels eines um eine Rotationsachse der optischen Vorrichtung drehbaren dritten Mittels.

[0061] Es ist dabei also auch denkbar, dass nach der Fokussierung des Lichtstrahles und nach einer zweiten Parallelversetzung des in die optische Vorrichtung eingekoppelten Lichtstrahles, weitere Parallelversetzungen des in die optische Vorrichtung eingekoppelten Lichtstrahles durchgeführt werden können.

[0062] Folgende Figuren stellen beispielhaft dar:

Fig. 1: Beispielhafte schematische Darstellung einer optischen Vorrichtung zur Führung eines Lichtstrahles.

Fig. 2: Beispielhafter vergrößerter Ausschnitt der Fig. 1.

Fig. 3: Beispielhafte Lichtstrahlgeometrie.

Fig. 4a, 4b, 4c, 4d, 4e, 4f: Beispielhafte Bohrungen.

[0063] Die Fig. 1 zeigt schematisch eine beispielhafte Darstellung einer optischen Vorrichtung 100 zur Führung eines Lichtstrahles, insbesondere zur Führung eines Laserstrahles zur Bearbeitung von Werkstücken.

[0064] Die Vorrichtung 100 kann dabei beispielsweise drehbar um eine Rotationsachse 104 sein, wobei besagte Rotationsachse 104 beispielsweise mit der optischen Achse der Vorrichtung übereinstimmen kann.

[0065] Die Vorrichtung 100 kann zudem ein oder mehrere Mittel 107, 107.1, 107.2, 101, 101.1, 101.2, 102, 102.1, 102.2, 102.3, 103, 103.1, 103.2, 103.3 zur optischen Manipulation eines in die Vorrichtung eingekoppelten Lichtstrahls 106 umfassen, beispielsweise Mittel 101, 101.1, 101.2, konfiguriert für eine erste Parallelversetzung des Lichtstrahls 106, Mittel

103, 103.1, 103.2, 103.3 konfiguriert für eine zweite Parallelversetzung des Lichtstrahls 106, sowie Mittel 102, 102.1, 102.2 für eine Fokussierung des Lichtstrahls.

[0066] Die besagten beispielhaften Mittel 107, 107.1, 107.2, 101, 101.1, 101.2, 102, 102.1, 102.2, 102.3, 103, 103.1, 103.2, 103.3 können dabei beispielsweise drehbar um die Rotationsachse 104 der Vorrichtung sein, bzw. können sich beispielsweise gemeinsam mit der Vorrichtung 100 um die Rotationsachse 104 drehen.

[0067] Denkbar ist jedoch auch, dass besagte beispielhafte Mittel 107, 107.1, 107.2, 101, 101.1, 101.2, 102, 102.1, 102.2, 102.3, 103, 103.1, 103.2, 103.3 jeweils einzeln oder gruppenweise um eigene Rotationsachsen (nicht dargestellt) drehbar sein können, welche nicht mit der dargestellten Rotationsachse 104 oder der optischen Achse der Vorrichtung übereinstimmen müssen. Dabei können besagte den besagten Mitteln einzeln oder gruppenweise zuordbaren Rotationsachsen (nicht dargestellt) beispielsweise parallel oder schräg zur der dargestellten Rotationsachse 104 sein.

[0068] Zudem können die beispielhaften Mittel 107, 107.1, 107.2, 101, 101.1, 101.2, 102, 102.1, 102.2, 102.3, 103, 103.1, 103.2, 103.3 der Vorrichtung 100 verschiebbar sein, z.B. beispielsweise verschiebbar sein entlang der dargestellten Rotationsachse 104, bzw. z.B. verschiebbar sein entlang einer den Mitteln einzeln oder gruppenweise zugeordneten eigenen Rotationsachse (nicht dargestellt).

[0069] Eine Verschiebbarkeit der beispielhaften Mittel 107, 107.1, 107.2, 101, 101.1, 101.2, 102, 102.1, 102.2, 102.3, 103, 103.1, 103.2, 103.3 nicht parallel zur beispielhaften Rotationsachse 104 ist jedoch auch denkbar.

[0070] Auch können die beispielhaften Mittel 107, 107.1, 107.2, 101, 101.1, 101.2, 102, 102.1, 102.2, 102.3, 103, 103.1, 103.2, 103.3 der Vorrichtung 100 verkipptbar sein, z.B. verkipptbar sein um eine Kippachse/Kippachsen (nicht dargestellt), welche parallel oder nicht parallel zu der dargestellten Rotationsachse 104 sein kann/können, wobei die Kippachse(n) beispielsweise orthogonal zu einer/der Rotationsachse 104 der Vorrichtung 100 sein kann/sein können.

[0071] Die beispielhaften Mittel der Vorrichtung 100 können dabei z.B. wie folgt angeordnet, konfiguriert und verwendet werden.

[0072] Ein in die Vorrichtung 100 eingekoppelter Lichtstrahl 106 kann beispielsweise zunächst über ein erstes Mittel 101 parallel versetzt werden.

[0073] Das erste Mittel 101 für eine erste Parallelversetzung des Lichtstrahls kann dabei beispielsweise (wie dargestellt) aus zwei Komponenten bestehen, beispielsweise aus einem Keilprismenpaar mit einem ersten Keilprisma 101.1 und einem zweitem Keilprisma 101.2.

[0074] Die beiden Komponenten, d.h. beispielsweise die Keilprismen 101.1 und 101.2, können dabei verschiebbar sein, beispielsweise zur optimalen Regulierung und Steuerung der Grösse der (ersten) Parallelversetzung des Lichtstrahls.

[0075] Dargestellt ist beispielsweise eine mögliche Verschiebbarkeit 108 des Keilprismas 101.1 entlang der bzw. parallel zu einer Rotationsachse 104 der optischen Vorrichtung 100.

[0076] Alternativ ist auch denkbar, dass das erste Mittel 101 als verkipptbare Planplatte oder eine bewegliche Spiegelanordnung ausgeführt sein kann.

[0077] Im Anschluss, d.h. nach Durchgang des ersten Mittels 101, kann der (erstmalig) parallel versetzte Lichtstrahl 113 auf ein zweites Mittel 102 treffen, welches dazu konfiguriert sein kann den Lichtstrahl zu fokussieren.

[0078] Dieses zweite Mittel 102 zur Fokussierung des Lichtstrahls kann eine oder mehrere Komponenten, beispielsweise wie dargestellt drei Komponenten 102.1, 102.2, 102.3, umfassen, wobei die Komponenten beispielsweise Linsen sind und beispielsweise wenigstens eine Fokussierlinse bzw. Sammellinse umfassen. Das zweite Mittel 102 zur Fokussierung des Lichtstrahls kann dabei beispielsweise so ausgeführt sein, dass die Bauform und Anordnung seiner Komponenten bzw. seiner Linsen so ausgewählt ist, dass Fehlereinflüsse auf die Fokusqualität minimiert werden.

[0079] Dies kann es ermöglichen, dass der parallel versetzte Lichtstrahl dezentral durch das zweite Mittel 102, bzw. dezentral durch die Komponenten 102.1, 102.2, 102.3 des zweiten Mittels 102 laufen kann, ohne dass dabei die Strahlqualität im Fokuspunkt auf einer Werkstückebene 114, z.B. durch Astigmatismus oder sphärische Aberrationen, beeinträchtigt wird.

[0080] Beispielhafterweise kann, wie dargestellt, eine erste Komponente 102.1 des Fokussiermittels 102 als bi-konvexe Sammellinse 102.1, eine zweite Komponente 102.2 des Fokussiermittels 102 als negative Meniskuslinse 102.2, und eine dritte Komponente 102.3 des Fokussiermittels 102 als positive Meniskuslinse 102.3 ausgeführt sein, wobei die nach innen gewölbte Seite der negativen Meniskuslinse 102.2 beispielsweise der bi-konvexen Sammellinse 102.1 zugewandt sein kann, und die nach aussen gewölbte Seite der negativen Meniskuslinse 102.2 der nach aussen gewölbten Seite der positiven Meniskuslinse 102.3 zugewandt sein kann.

[0081] Dabei können die Komponenten 102.1, 102.2, 102.3 zudem verschiebbar, z.B. verschiebbar entlang einer/der Rotationsachse 104 sein, so dass der Fokuspunkt des Lichtstrahls, beispielsweise der Fokuspunkt des Lichtstrahls entlang der Rotationsachse 104, verstellt werden kann und so optimal für die Werkstückbearbeitung eingestellt werden kann.

[0082] Auch kann das zweite Mittel 102, bzw. können die Komponenten 102.1, 102.2, 102.3, drehbar sein, beispielsweise drehbar um die Rotationsachse 104 sein.

[0083] Durch die Fokussierung mit Hilfe des Mittels 102, beispielsweise durch den beschriebenen Linsenverbund mit den Linsenkomponenten 102.1, 102.2, 102.3, kann der Lichtstrahl 113 schräg angestellt werden, beispielsweise schräg gegenüber einer Rotationsachse der Vorrichtung 100, z.B., wie dargestellt, schräg angestellt werden in Bezug auf die Rotationsachse 104, welche mit der optischen Achse der Vorrichtung übereinstimmen kann.

[0084] Die mögliche Schrägstellung, d.h. der Anstellwinkel, des Lichtstrahls bzgl. der Rotationsachse 104 kann direkt durch den vorherigen Parallelversatz durch das erste Mittel 101 bestimmt bzw. verändert und kontrolliert werden, wobei beispielsweise in dem dargestellten Fall, die Schrägstellung/der Anstellwinkel des Lichtstrahls bzgl. der Rotationsachse 104 mit einer Verschiebbewegung 108 des ersten Keilprismas 101.1, z.B. einer linearen Bewegung des ersten Keilprismas 101.1, frei einstellbar sein kann. Besagte Verschiebbewegung 108 des ersten Keilprismas 101.1 kann dabei beispielsweise entlang oder parallel zur der Rotationsachse 104 erfolgen.

[0085] Der Verschieb- bzw. Verfahrbereich des ersten Keilprismas 101.1 kann beispielsweise beim Kontakt mit dem zweiten Keilprisma 101.2 beginnen (in dieser Position würde z.B. kein Parallelversatz erfolgen) und kann beispielsweise enden, wenn der Lichtstrahl weitestgehend zum Rand des zweiten Mittels 102, beispielsweise zum Rand der ersten Komponente 102.1, versetzt wurde. Ein beispielhafter Verfahrbereich kann z.B. eine Verfahrwegslänge von bis zu 70 mm aufweisen.

[0086] Damit können beispielsweise Strahlwinkel bzw. Anstellwinkel des Lichtstrahls von ca. 0–10° erreicht werden.

[0087] Die Keilwinkel der Keilprismen 101.1, 101.2 können beispielsweise bis zu 10° betragen; jedoch sind auch grössere Keilwinkel von bis zu 200 oder bis zu 30° oder mehr möglich und können vorteilhaft sein, da dadurch z.B. der Verfahrbereich noch kompakter gestaltet werden kann.

[0088] Wie erwähnt, kann das zweite Mittel 102 zur Fokussierung verschiebbar und/oder drehbar sein, beispielsweise können auch seine Komponenten 102.1, 102.2, 102.3 einzeln oder gruppenweise verschiebbar und/oder drehbar sein, beispielsweise verschiebbar und/oder drehbar sein um der Rotationsachse 104 der Vorrichtung oder um eine oder mehrere Rotationsachsen (nicht dargestellt) parallel zur dargestellten Rotationsachse 104 der Vorrichtung 100.

[0089] Durch eine dargestellte beispielhafte Rotation 105 der optischen Vorrichtung 100, bzw. der Mittel der optischen Vorrichtung, um die Rotationsachse 104 und die beschriebene beispielhafte Fokussierung bzw. Schrägstellung des Lichtstrahls, kann der das Mittel 102 zur Fokussierung durchlaufene Lichtstrahl 113 um einen festen Punkt in der Fokusebene 114 bzw. um einen festen Punkt auf/in/unter/über einem Werkstück 111 taumeln.

[0090] Der Fokuspunkt der Vorrichtung 100 muss also nicht zwingend auf der Oberfläche des Werkstücks liegen.

[0091] Eine gewünschte Bahnführung des Lichtstrahls, beispielsweise für Trepanations- bzw. Wendelbohrungen, kann durch eine weitere, eine zweite, Parallelversetzung des Lichtstrahles erfolgen.

[0092] Mit anderen Worten kann durch den zweiten Parallelversatz des Lichtstrahls der Radius bzw. der Durchmesser einer Kreisbahn, die der Lichtstrahl durch die beispielhafte Rotation 105 beschreiben kann, frei und unabhängig vom Anstellwinkel des Lichtstrahls eingestellt werden, z.B. frei und unabhängig vom Anstellwinkel des Lichtstrahls bezüglich der Rotationsachse 104 bzw. der optischen Achse.

[0093] So kann z.B. auch während eines Bohrprozesses der Bohrdurchmesser bzw. der Bohrwandwinkel verstellt werden.

[0094] Dieser zweite Parallelversatz des Lichtstrahls kann beispielsweise durch ein drittes Mittel 103 realisiert werden, wobei das dritte Mittel 103 beispielsweise eine verkippbare planparallele Platte 103.2 zur Durchführung des zweiten Parallelversatzes umfassen kann. Dabei kann der Kippwinkelbereich für eine verkippbare planparallele Platte 103.2 zur Durchführung des zweiten Parallelversatzes beispielsweise bei $\pm 10^\circ$ liegen, jedoch sind auch grössere Kippwinkelbereiche denkbar.

[0095] Alternativ kann das dritte Mittel 103 zur Umsetzung des zweiten Parallelversatzes auch eine Keilprismen- oder Spiegelanordnung (nicht dargestellt) umfassen.

[0096] Optional kann das dritte Mittel 103 wie dargestellt auch zwei zusätzliche Keilprismen 103.1, 103.3 umfassen, welche unter anderem dazu dienen können Lichtstrahlführungsfehler, die beim Durchlaufen der beispielhaften planparallelen Platte 103.2 entstehen können, zu kompensieren.

[0097] Darüber hinaus können die optionalen zusätzlichen Keilprismen 103.1, 103.3 auch dazu dienen, eine zweite, beispielsweise wohl definierte und konstante Schrägstellung des Lichtstrahls zu bewirken, deren Richtung entgegengesetzt zur Richtung der veränderlichen Schrägstellung des Lichtstrahls, bewirkt durch die beschriebenen vorgeordneten Mittel 102 zur Fokussierung, ist.

[0098] Die optionalen zusätzlichen Keilprismen 103.1, 103.3 können beispielsweise dadurch auch eine Führung bzw. eine Bahnführung des Lichtstrahls in Richtung einer Rotationsachse, beispielsweise einer Rotationsachse 104 die mit der optischen Achse der Vorrichtung übereinstimmt, ermöglichen, wobei dadurch auch eine zentrale Führung des Lichtstrahls entlang der Rotationsachse 104 ermöglicht werden kann.

[0099] Besagte optionale zusätzliche Keilprismen 103.1, 103.3 können drehbar und/oder verschiebbar und/oder kippbar sein und so durch ihre justierbare Positionierung beispielsweise einen möglichen Astigmatismus, der beispielsweise unerwünschterweise durch die beispielhafte planparallele Platte 103.2 verursacht werden kann, ausgleichen.

[0100] Dabei kann der fokussiert auf das Werkstück 111 treffende Lichtstrahl einen wohldefinierten Anstellwinkel aufweisen sowie durch die Rotation 105, also beispielsweise durch eine Rotation der Vorrichtung und/oder durch eine Rotation eines oder mehrerer seiner Mittel 107, 107.1, 107.2, 101, 101.1, 101.2, 102, 102.1, 102.2, 102.3, 103, 103.1, 103.2, 103.3, eine Kreisbahn mit wohldefiniertem Durchmesser auf dem Werkstück 111 beschreiben, wobei der Anstellwinkel des Lichtstrahls und der Durchmesser der Kreisbahn, die der Lichtstrahl auf dem Werkstück beschreiben kann, frei und unabhängig voneinander durch die optische Vorrichtung 100 einstellbar sein können.

[0101] Optional kann vor einer ersten Parallelversetzung des Lichtstrahls 106 eine Polarisationssebene des Lichtstrahls durch ein optionales Mittel 107 mit einer Rotation der Vorrichtung 100 mitgedreht werden, bzw. mitgedreht werden mit einer Rotation von Komponenten/Mitteln der Vorrichtung, beispielsweise mit einer Rotation 105 um die Rotationsachse 104 mitgedreht werden.

[0102] Das optionale Mittel 107 kann beispielsweise ein Wellenplattenpaar umfassen, beispielsweise ein Lambda/4-Plattenpaar, z.B. gebildet aus den Lambda/4-Platten 107.1 und 107.2.

[0103] Durch dieses optionale Mitdrehen einer Polarisationssebene des Lichtstrahls 106 durch das Mittel 107, kann eine verbesserte Absorption des Lichtstrahls im Werkstück, d.h. ein verbessertes Eindringen des Lichtstrahls in das Werkstück erreicht werden.

[0104] Während wie dargestellt sich die beispielhaften Mittel 107, 107.1, 107.2, 101, 101.1, 101.2, 102, 102.1, 102.2, 102.3, 103, 103.1, 103.2, 103.3 der Vorrichtung 100 beispielsweise eine gemeinsame Rotationsachse 104 teilen, welche mit der optischen Achse der Vorrichtung 100 übereinstimmen kann, ist es auch denkbar, dass die beispielhaften Mittel 107, 107.1, 107.2, 101, 101.1, 101.2, 102, 102.1, 102.2, 102.3, 103, 103.1, 103.2, 103.3 der Vorrichtung 100 verschiedene eigene Rotationsachsen (nicht dargestellt) aufweisen können.

[0105] Darüber hinaus kann die optische Vorrichtung 100 beispielsweise so ausgeführt sein, dass sich die optische Vorrichtung 100 bzw. alle beispielhaften Mittel 107, 107.1, 107.2, 101, 101.1, 101.2, 102, 102.1, 102.2, 102.3, 103, 103.1, 103.2, 103.3 mit der gleichen Rotationsfrequenz um eine gemeinsame Rotationsachse 104, welche beispielsweise mit der optischen Achse der Vorrichtung 100 übereinstimmt, drehen können.

[0106] Es ist jedoch auch denkbar, dass sich die beispielhaften Mittel 107, 107.1, 107.2, 101, 101.1, 101.2, 102, 102.1, 102.2, 102.3, 103, 103.1, 103.2, 103.3 der Vorrichtung 100 mit eigenen voneinander verschiedenen Rotationsfrequenzen um eine gemeinsame Rotationsachse 104, welche beispielsweise mit der optischen Achse der Vorrichtung 100 übereinstimmt, drehen können.

[0107] Insbesondere ist es möglich, dass sich die Mittel 101, 101.1, 101.2, 102, 102.1, 102.2, 102.3, 103, 103.1, 103.2, 103.3 zwar um eine gemeinsame Rotationsachse 104, welche beispielsweise mit der optischen Achse der Vorrichtung 100 übereinstimmt, drehen können, jedoch z.B. sich das Mittel 103, bzw. 103.1, 103.2, 103.3, konfiguriert für eine zweite Parallelversetzung des Lichtstrahles, mit einer eigenen Rotationsfrequenz drehen kann, welche verschieden sein kann von einer Rotationsfrequenz mit der sich das Mittel 101, bzw. 101.1, 101.2, konfiguriert für eine erste Parallelversetzung des Lichtstrahles, und das Mittel 102, bzw. 102.1, 102.2, 102.3, konfiguriert für eine Fokussierung des Lichtstrahls, drehen kann/drehen können.

[0108] Dies kann ein Werkstückbearbeitungsverfahren ermöglichen, bei dem der Lichtstrahl schnell stets um einen fixierten Punkt (z.B. den Fokuspunkt) taumeln kann und dieser Taumelpunkt z.B. entlang einer Schneidbahn geführt werden kann. Dies kann z.B. ein präziseres Ausschneiden kleiner Bohrungen ermöglichen.

[0109] Ein beispielhafter Drehzahlbereich für Drehungen der optischen Vorrichtung bzw. für Drehungen von Mitteln der optischen Vorrichtungen kann dabei z.B. bei etwa 15 000–20 000 U/min liegen. Es sind jedoch auch deutlich kleinere oder deutlich grössere Drehzahlen denkbar. Zudem kann es, z.B. unter anderem aus Gründen der Betriebssicherheit, von Vorteil sein, eine Drehzahlobergrenze von etwa 40 000 U/min festzulegen.

[0110] Die Fig. 2 stellt beispielhaft zum besseren Verständnis einen vergrößerten Ausschnitt der Fig. 1 dar, worin der beispielhafte Strahlengang 113 des Lichtstrahls in der beispielhaften optischen Vorrichtung 100 nach Durchgang eines ersten Mittels (nicht dargestellt) konfiguriert für eine erste Parallelversetzung des Lichtstrahles dargestellt wird.

[0111] Der bereits erstmalig parallel versetzte Lichtstrahl 113 trifft also hier zunächst auf ein zweites Mittel 102 zur Fokussierung des Lichtstrahls, welches eine oder mehrere Komponenten, beispielsweise wie dargestellt drei Komponenten 102.1, 102.2, 102.3, umfassen kann.

[0112] Beispielhafterweise kann, wie dargestellt, eine erste Komponente 102.1 des Fokussiermittels 102 als bi-konvexe Sammellinse 102.1, eine zweite Komponente 102.2 des Fokussiermittels 102 als negative Meniskuslinse 102.2, und eine dritte Komponente 102.3 des Fokussiermittels 102 als positive Meniskuslinse ausgeführt sein, wobei die nach innen gewölbte Seite der negativen Meniskuslinse 102.2 beispielsweise der bi-konvexen Sammellinse 102.1 zugewandt sein kann, und die nach aussen gewölbte Seite der negativen Meniskuslinse 102.2 der nach aussen gewölbten Seite der positiven Meniskuslinse 102.3 zugewandt sein kann.

[0113] Der durch das zweite Mittel 102 zur Fokussierung des Lichtstrahls beispielhafterweise fokussierte und beispielhafterweise schräg angestellte Lichtstrahl 112 kann auf ein drittes Mittel 103, konfiguriert für eine (zweite) Parallelversetzung des Lichtstrahls, treffen. Die zweite Parallelversetzung des Lichtstrahls kann dabei beispielsweise durch eine verkippbare

planparallele Platte 103.2 ausgeführt werden. Somit kann ein gegenüber dem Eingangslichtstrahl 106 (siehe Fig. 1) wenigstens zweifach parallel versetzter Lichtstrahl 115 erzeugt werden.

[0114] Optional kann das dritte Mittel 103 wie dargestellt auch zwei zusätzliche Keilprismen 103.1, 103.3 umfassen, welche unter anderem dazu dienen können Lichtstrahlführungsfehler, die beim Durchlaufen der beispielhaften planparallelen Platte 103.2 entstehen können, zu kompensieren.

[0115] Die durch die beispielhafte planparallele Platte 103.2 realisierte zweite Parallelversetzung kann unter anderem somit durch die beispielhaften zusätzliche Keilprismen 103.1, 103.3 feinjustiert und korrigiert werden.

[0116] Darüber hinaus können die optionalen zusätzlichen Keilprismen 103.1, 103.3 auch dazu dienen, eine zweite, beispielsweise wohl definierte und konstante Schrägstellung des Lichtstrahls zu bewirken, deren Richtung entgegengesetzt zur Richtung der veränderlichen Schrägstellung des Lichtstrahls, bewirkt durch die beschriebenen vorgeordneten Mittel 102 zur Fokussierung, ist.

[0117] Der gegenüber dem Eingangslichtstrahl 106 beispielsweise fokussierte und schräg gestellte, sowie wenigstens zweifach parallel versetzte Lichtstrahl 116 kann aus der optische Vorrichtung z.B. über ein Schutzfenster 110 austreten und für die Bearbeitung eines Werkstücks 111 in einer Werkstückbearbeitungsebene eingesetzt werden.

[0118] Die Fig. 3 stellt beispielhaft schematisch die Geometrie eines Lichtstrahls 202, z.B. nach Austritt aus einer beispielhaften optischen Vorrichtung, dar.

[0119] Der Lichtstrahl 202 kann also beispielhafterweise dem Lichtstrahl 116 der Fig. 1 und der Fig. 2 entsprechen, d.h. beispielsweise kann gegenüber einem Eingangslichtstrahl (nicht dargestellt) beispielsweise fokussiert und schräg gestellt, sowie wenigstens zweifach parallel versetzt sein.

[0120] Mit anderen Worten kann der Lichtstrahl 202 beispielsweise auf einen Fokuspunkt 204 fokussiert sein, bzw. auf eine Kaustik 208 (auf Grund der endlichen räumlichen Ausdehnung des Lichtstrahls) fokussiert sein, für eine Bearbeitung eines Werkstückes (nicht dargestellt).

[0121] Der Fokuspunkt 204 kann dabei im Übrigen oberhalb, in oder unterhalb einer Werkstückbearbeitungsebene (nicht dargestellt) liegen, bzw. über, in oder unter dem Werkstück liegen.

[0122] Durch eine Rotation der optischen Vorrichtung (nicht dargestellt), bzw. durch die Rotation von einigen oder allen Mitteln der optischen Vorrichtung, z.B. der nicht dargestellten beispielhaften Mittel 107, 107.1, 107.2, 101, 101.1, 101.2, 102, 102.1, 102.2, 102.3, 103, 103.1, 103.2, 103.3, z.B. um eine Rotationsachse 201, welche mit der optischen Achse der Vorrichtung übereinstimmen kann, kann sich der Lichtstrahlfokus auf einer Bahn 206 bewegen, beispielsweise auf einer Trepanierkreisbahn mit einem Durchmesser 207, welcher z.B. durch einen (nicht dargestellten) zweiten Parallelversatz des Lichtstrahls (z.B. über ein nicht dargestelltes drittes Mittel 103) frei eingestellt werden kann.

[0123] Dargestellt ist zudem ein beispielhafter Anstellwinkel 205 des Lichtstrahls 202, welcher beispielsweise als Winkel zwischen der Mittellinie 203 des Lichtstrahls 202 und der Rotationsachse 201 (welche mit der optischen Achse der Vorrichtung übereinstimmen kann) definiert werden kann. Die Grösse des Anstellwinkels kann z.B. durch den ersten Parallelversatz, z.B. ausgeführt durch ein erstes Mittel 101 der Vorrichtung (nicht dargestellt), eingestellt werden.

[0124] Die Fig. 4a, 4b, 4c, 4d, 4e und 4f zeigen beispielhaft einen Ausschnitt der Vielfalt an Bearbeitungsmöglichkeiten von Werkstücken 311, 411, 511, 611, 711, 811, welche mit einer beispielhaften optischen Vorrichtung, z.B. der optischen Vorrichtung 100, realisierbar sind.

[0125] Insbesondere sind beispielhafte Bohrungen 312, 412, 512, 612, 712, 812 dargestellt, welche durch die beispielhaften Strahlungsgeometrie 300, 400, 500, 600, 700, 800 eines Lichtstrahls 307, 407, 507, 607, 707, 807 nach Austritt aus einer beispielhaften optischen Vorrichtung (nicht dargestellt) realisiert werden können.

[0126] Beispielhaft sind schematisch Randstrahlen 308, 309, 408, 409, 508, 509, 608, 609, 708, 709, 808, 809, welche den zugehörigen Lichtstrahl 307, 407, 507, 607, 707, 807 begrenzen, und wobei jeweils einer der Randstrahlen, z.B. 308, 408, 508, 608, 708, 808, die Geometrie der Bohrungswand 313, 413, 513, 613, 713, 813, bestimmt.

[0127] Der Fokuspunkt 305, 405, 505, 605, 705, 805 des aus einer beispielhaften optischen Vorrichtung auftretenden Lichtstrahls 307, 407, 507, 607, 707, 807, kann dabei sowohl oberhalb, innerhalb, oder unterhalb eines zu bearbeitenden Werkstücks liegen. Beispielsweise liegt der Fokuspunkt 305, 405, 505 der Strahlungsgeometrie 300, 400, 500 auf dem Werkstück 311, 411, 511, bzw. z.B. auf einer Werkstückoberseite 301, 401, 501, und der Fokuspunkt 605, 705, 805 der Strahlungsgeometrie 600, 700, 800 für das Werkstück 611, 711, 811 z.B. auf einer Werkstückunterseite 602, 702, 802.

[0128] Die Fig. 4a, 4b, 4c, 4d, 4e und 4f zeigen ebenfalls beispielhafte Anstellwinkel 310, 410, 510, 610, 710, 810, welche die Schrägstellung des Lichtstrahls beschreiben und welche beispielsweise als Winkel zwischen der Mittellinie des Lichtstrahls 307, 407, 507, 607, 707, 807 und einer Rotationsachse 303, 403, 503, 603, 703, 803 der optischen Vorrichtung (welche z.B. mit der optischen Achse der optischen Vorrichtung übereinstimmen kann) festgelegt werden können.

[0129] Die Fig. 4a, 4b, 4c, 4d, 4e und 4f zeigen ebenfalls beispielhafte Parallelversetzungen 304, 404, 504, 604, 704, 804 der Lichtstrahlen 307, 407, 507, 607, 707, 807, beispielsweise gemessen bezüglich einer Rotationsachse 303, 403, 503, 603, 703, 803 der optischen Vorrichtung. Besagte beispielhafte Parallelversetzungen 304, 404, 504, 604, 704, 804 können beispielsweise als ein möglicher Bahnradius für eine Bahn aufgefasst werden welcher ein Lichtstrahl zu Bearbeitung des

Werkstücks beschreibt. Beispielsweise können die Parallelversetzungen 304, 404, 504, 604, 704, 804 auch Bohrungsdurchmesser definieren.

[0130] Die Parallelversetzungen 304, 404, 504, 604, 704, 804 und somit besagte Bahnradialen oder Bohrungsdurchmesser sind durch die Mittel einer optischen Vorrichtung (nicht dargestellt), z.B. durch einen Parallelversatz ausgeführt von einem dritten Mittel der optischen Vorrichtung (nicht dargestellt, siehe z.B. das dritte Mittel 103), frei einstellbar.

[0131] Die Wandwinkel der Bohrungen, welche z.B. als Winkel zwischen den Bohrwänden 313, 413, 513, 613, 713, 813 und der Rotationsachse 303, 403, 503, 603, 703, 803 der optischen Vorrichtung beschreibbar sind, können durch besagte Anstellwinkel 310, 410, 510, 610, 710, 810, und die Strahlkaustik (nicht dargestellt) bestimmt werden.

[0132] Je nach relativer Position und Orientierung des Werkstücks zum Lichtstrahl 307, 407, 507, 607, 707, 807 können verschiedene Bohrungsgeometrien erzielt werden.

[0133] Zur Unterscheidung der dargestellten Bohrungsgeometrien sei im Folgenden beispielsweise der Einfachheit halber angenommen, dass die Rotationsachse 303, 403, 503, 603, 703, 803 eine Z-Achse eines orthogonalen Bezugssystems und dessen X-, Y-Achsen eine mögliche Ebene parallel zu einer möglichen Werkstückbearbeitungsebene definieren, und wobei beispielsweise ein positiver Parallelversatz eines Lichtstrahls als Parallelversatz entlang der positiven X-Achse relativ zu einer Rotation der optischen Vorrichtung erfolgen kann und ein negativer Parallelversatz eines Lichtstrahls als Parallelversatz entlang der negativen X-Achse relativ zu einer Rotation der optischen Vorrichtung erfolgen kann.

[0134] Der Übersicht halber sind beispielhafte X-, Y-Achsen nur in Fig. 4a und 4d als Achsen 314, 315 und 614, 615 dargestellt.

[0135] Nachfolgend kann unter dem Ausdruck eines Anstellwinkels von $> 0^\circ$, beispielsweise ein Anstellwinkel verstanden werden, welcher sich nur geringfügig von Null unterscheidet, z.B. ein Anstellwinkel grösser Null aber kleiner 3° , oder z.B. ein Anstellwinkel welcher der Divergenz eines in die optische Vorrichtung eingekoppelten Lichtstrahls entsprechen kann.

[0136] Ferner kann unter dem Ausdruck eines Anstellwinkels $\gg 0^\circ$ ein Anstellwinkel verstanden werden, welcher z.B. grösser als 3° sein kann, oder z.B. ein Anstellwinkel welcher grösser als die Divergenz eines in die optische Vorrichtung eingekoppelten Lichtstrahls sein kann.

[0137] Dieser beispielhaften Konvention folgend, weist die Bohrungsgeometrie 300 z.B. einen negativen Parallelversatz 304 und einen Anstellwinkel 310 $\gg 0^\circ$ auf und beschreibt eine beispielhafte Bohrung mit positiver Bohrungsöffnung (positiver Wandwinkel, positiver Taper). Eine positive Bohrungsöffnung kann dabei z.B. so definiert sein, dass der dem optischen System zugewandte, bzw. der optischen Achse zugewandte, Bohrungsdurchmesser grösser ist, als der dem optischen System, bzw. der optischen Achse, abgewandte Bohrungsdurchmesser.

[0138] Die Bohrungsgeometrie 400 weist hingegen zum Beispiel einen positiven Parallelversatz 404 und einen Anstellwinkel 410 $\gg 0^\circ$ auf und beschreibt eine beispielhafte Bohrung mit negativer Bohrungsöffnung (negativer Wandwinkel, negativer Taper). Eine negative Bohrungsöffnung kann dabei z.B. so definiert sein, dass der dem optischen System zugewandte, bzw. der optischen Achse zugewandte, Bohrungsdurchmesser kleiner ist, als der dem optischen System, bzw. der optischen Achse, abgewandte Bohrungsdurchmesser.

[0139] Die Bohrungsgeometrie 500 weist einen negativen Parallelversatz 504 und einen Anstellwinkel 510 $> 0^\circ$ (d.h. geringfügig von Null verschieden) auf und beschreibt eine beispielhafte zylindrische Bohrung.

[0140] Die Bohrungsgeometrie 600 weist z.B. einen negativen Parallelversatz 604 und einen Anstellwinkel 610 $\gg 0^\circ$ auf und beschreibt eine weitere beispielhafte Bohrung mit positiver Bohrungsöffnung (positiver Wandwinkel, positiver Taper).

[0141] Die Bohrungsgeometrie 700 weist z.B. einen positiven Parallelversatz 704 und einen Anstellwinkel 710 $\gg 0^\circ$ auf und beschreibt eine weitere beispielhafte Bohrung mit negativer Bohrungsöffnung (negativer Wandwinkel, negativer Taper).

[0142] Die Bohrungsgeometrie 800 weist z.B. einen positiven Parallelversatz 804 und einen Anstellwinkel 810 $> 0^\circ$ (d.h. geringfügig von Null verschieden) auf und beschreibt eine weitere beispielhafte zylindrische Bohrung.

[0143] Während bei den Bohrungsgeometrien 300, 400, 500 der Fokuspunkt 305, 405, 505 auf dem Werkstück 311, 411, 511 liegt, liegt der Fokuspunkt 605, 705, 805 für die Bohrungsgeometrien 600, 700, 800 beispielsweise auf einer Werkstückunterseite 602, 702, 802 der Werkstücke 611, 711, 811.

[0144] Mit dem Fokuspunkt 605 auf der Werkstückunterseite 602 lassen sich beispielsweise grössere positive Wandwinkel erreichen, wie z.B. in der Bohrungsgeometrie 600, mit negativem Parallelversatz 604 und Anstellwinkel 610 $\gg 0^\circ$, dargestellt, als mit einem Fokuspunkt 305 auf der Werkstückoberseite 301, wie z.B. in der Bohrungsgeometrie 300, mit negativem Parallelversatz 304 und Anstellwinkel 310 $\gg 0^\circ$, dargestellt.

[0145] Mit dem Fokuspunkt 405 auf der Werkstückoberseite 401 lassen sich beispielsweise grössere negative Wandwinkel erreichen, wie z.B. in der Bohrungsgeometrie 400, mit positiven Parallelversatz 404 und Anstellwinkel 410 $\gg 0^\circ$, dargestellt, als mit einem Fokuspunkt 705 auf der Werkstückunterseite 702, wie z.B. in der Bohrungsgeometrie 700, mit positiven Parallelversatz 704 und Anstellwinkel 710 $\gg 0^\circ$, dargestellt.

[0146] Es ist im Übrigen auch denkbar, dass sich während der Bearbeitung des Werkstücks durch den Lichtstrahl der einer beispielhaften optischen Vorrichtung der Fokuspunkt entlang der Rotationsachse 303, 403, 503, 603, 703, 803 der Rotationsachse innerhalb des Werkstückes 311, 411, 511, 611, 711, 811 bewegen kann.

[0147] Es folgen fünf Blätter mit den Figuren Fig. 1, Fig.2, Fig.3, Fig.4a, 4b, 4c, 4d, 4e, und Fig. 4f.

[0148] Die Bezugszeichen sind dabei wie folgt belegt.

100	Beispielhafte optische Vorrichtung zur Führung eines Lichtstrahles
101	(erstes) Mittel konfiguriert für eine (erste) Parallelversetzung eines Lichtstrahles
101.1	(erste) mögliche Komponente des (ersten) Mittels für eine (erste) Parallelversetzung eines Lichtstrahles, z.B. (erstes) Keilprisma
101.2	(zweite) mögliche Komponente des (ersten) Mittels für eine (erste) Parallelversetzung eines Lichtstrahles, z.B. (zweites) Keilprisma
102	(zweites) Mittel konfiguriert für eine Fokussierung eines Lichtstrahles, bzw. z.B. für eine Fokussierung und Schrägstellung eines Lichtstrahles
102.1	(erste) mögliche Komponente des (zweiten) Mittels für eine Fokussierung eines Lichtstrahles
102.2	(zweite) mögliche Komponente des (zweiten) Mittels für eine Fokussierung eines Lichtstrahles
102.3	(dritte) mögliche Komponente des (zweiten) Mittels für eine Fokussierung eines Lichtstrahles
103	(drittes) Mittel konfiguriert für eine (zweite) Parallelversetzung eines Lichtstrahles
103.1	(erste) mögliche Komponente des (dritten) Mittels für eine Parallelversetzung eines Lichtstrahles, z.B. Keilprisma
103.2	(zweite) mögliche Komponente des (dritten) Mittels für eine Parallelversetzung eines Lichtstrahles, beispielsweise eine planparallele Platte, beispielsweise eine verkippbare planparallele Platte
103.3	(dritte) mögliche Komponente des (dritten) Mittels für eine Parallelversetzung eines Lichtstrahls, z.B. Keilprisma
104	Beispielhafte mögliche Rotationsachse der optischen Vorrichtung, kann vorzugsweise mit der optischen Achse der optischen Vorrichtung zur Führung eines Lichtstrahles übereinstimmen.
105	Beispielhafte mögliche Rotation bzw. Drehbewegung der optische Vorrichtung zur Führung eines Lichtstrahles, bzw. der Mittel bzw. Komponenten der optische Vorrichtung
106	Lichtstrahl, z.B. Laserstrahl, beispielsweise kollimierter Laserstrahl, Eingangslichtstrahl
107	(viertes) Mittel konfiguriert für eine Drehung der Polarisationsebene eines Lichtstrahls, beispielsweise mittels eines Wellenplattenpaares, beispielsweise mittels eines Lambda/4-Plattenpaares
107.1	(erste) mögliche Komponente des (vierten) Mittels für eine Drehung der Polarisationsebene eines Lichtstrahls, z.B. (erste) Lambda/4-Platte
107.2	(zweite) mögliche Komponente des (vierten) Mittels für eine Drehung der Polarisationsebene eines Lichtstrahls, z.B. (zweite) Lambda/4-Platte
108	Beispielhafte Verschiebbarkeit/Verschiebbewegung eines Mittels bzw. einer Komponente eines Mittels der optischen Vorrichtung, z.B. Verschiebbarkeit entlang der bzw. parallel zu einer Rotationsachse der optischen Vorrichtung, beispielsweise Verschieb-

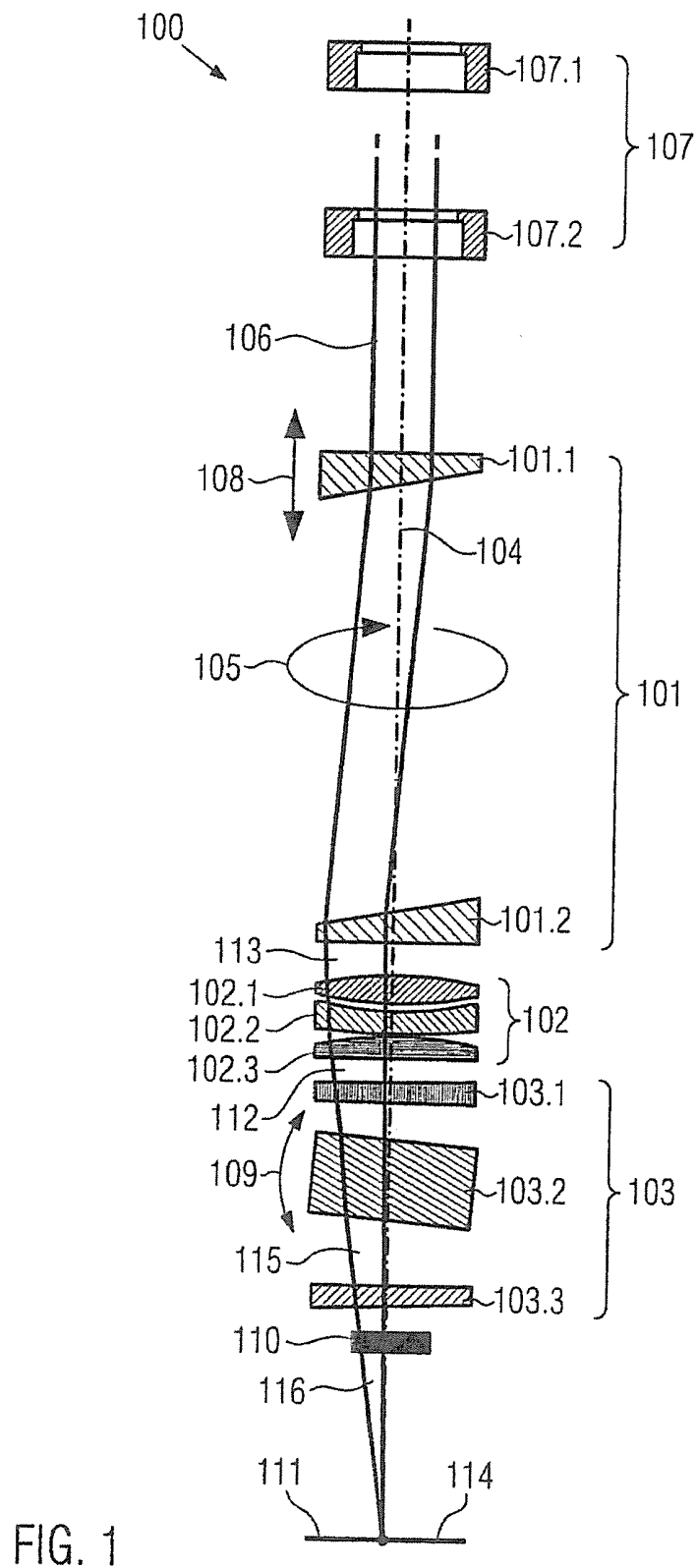
	barkeit eines Keilprismas des (ersten) Mittels für eine (erste) Parallelversetzung eines Lichtstrahles
109	Beispielhafte Verkippbarkeit eines Mittels bzw. einer Komponente eines Mittels der optischen Vorrichtung, z.B. Verkippbarkeit um eine Achse orthogonal zu einer Rotationsachse der optischen Vorrichtung, beispielsweise Verkippbarkeit eines (dritten) Mittels zur (zweiten) Parallelversetzung eines Lichtstrahles, beispielsweise Verkippbarkeit einer planparallelen Platte
110	Optionales beispielhaftes Schutzfenster durch das der Lichtstrahl aus der optischen Vorrichtung austreten kann und fokussiert auf ein Werkstück treffen kann
111	Beispielhaftes zu bearbeitendes Werkstück in der Werkstückbearbeitungsebene, z.B. ein Blech
112	Lichtstrahl, z.B. Laserstrahl, nach Durchgang des (zweiten) Mittels konfiguriert für eine Fokussierung eines Lichtstrahles, bzw. z.B. für eine Fokussierung und Schrägstellung eines Lichtstrahles
113	Beispielhafter (erstmalig) parallel versetzter Lichtstrahl nach Durchgang des (ersten) Mittels konfiguriert für eine (erste) Parallelversetzung des Lichtstrahles
114	Fokusebene, die in diesem Fall der Werkstückbearbeitungsebene entspricht
115	Lichtstrahl, z.B. Laserstrahl, nach Durchgang des (dritten) Mittels konfiguriert für eine (zweite bzw. für eine weitere) Parallelversetzung eines Lichtstrahles
116	Ausgangslichtstrahl
200	Beispielhafter Strahlengang eines Lichtstrahls nach Austritt aus einer beispielhaften optischen Vorrichtung
201	Rotationsachse einer beispielhaften optischen Vorrichtung, z.B. optische Achse
202	Ausgangslichtstrahl, Lichtstrahl nach Austritt aus einer beispielhaften optischen Vorrichtung
203	Mittellinie
204	Fokuspunkt
205	Anstellwinkel, Strahlwinkel
206	Trepanierkreis bzw. Bahn auf dem der Laserfokus verläuft
207	Durchmesser des Trepanierkreises
208	Lichtstrahlkaustik, Bereich der Lichtstrahlfokussierung
300 , 400, 500, 600, 700, 800	Beispielhafte Strahlungsgeometrie, Bohrungsgeometrie
301 , 401, 501, 601, 701, 801	Werkstückseite, z.B. Oberseite
302 , 402, 502, 602, 702, 802	Werkstückseite, z.B. Unterseite
303 , 403, 503, 603, 703, 803	Rotationsachse, optische Achse
304 , 404, 504, 604, 704, 804	Parallelversatz in Bezug auf Rotationachse bzw. optische Achse
305 , 405, 505, 605, 705, 805	Fokuspunkt
306 , 406, 506, 606, 706, 806	Mittellinie
307 , 407, 507, 607, 707, 807	Lichtstrahl, z.B. Laserstrahl, beispielhafter Lichtstrahl nach Austritt aus einer beispielhaften optischen Vorrichtung
308 , 408, 508, 608, 708, 808	(erster) Randstrahl
309 , 409, 509, 609, 709, 809	(zweiter) Randstrahl

310 , 410, 510, 610, 710, 810	Anstellwinkel
311 , 411, 511, 611, 711, 811	Werkstück
312 , 412, 512, 612, 712, 812	Beispielhafte Bohrung
313 , 413, 513, 613, 713, 813	Bohrungswand
314, 614	Beispielhafte X-Achse eines beispielhaften orthogonalen Bezugssystems
315, 615	Beispielhafte Y-Achse eines beispielhaften orthogonalen Bezugssystems

Patentansprüche

- Optische Vorrichtung (100) zur Führung eines Lichtstrahles, insbesondere eines Laserstrahles zur Bearbeitung von Werkstücken, und mit wenigstens einer Rotationsachse (104), umfassend:
wenigstens ein drehbares erstes Mittel (101) konfiguriert für eine erste Parallelversetzung des Lichtstrahles,
wenigstens ein zweites Mittel (102) konfiguriert für eine Fokussierung des Lichtstrahles,
und wenigstens ein drehbares drittes Mittel (103) konfiguriert für eine zweite Parallelversetzung des Lichtstrahles.
- Optische Vorrichtung (100) nach Anspruch 1, wobei das erste Mittel (101) drehbar um die wenigstens eine Rotationsachse (104) ist, und wobei das dritte Mittel (103) drehbar um die wenigstens eine Rotationsachse (104) ist.
- Optische Vorrichtung (100) nach Anspruch 1 oder 2, worin das zweite Mittel (102) konfiguriert für eine Fokussierung des Lichtstrahles drehbar ist, z.B. drehbar um die wenigstens eine Rotationsachse (104) ist.
- Optische Vorrichtung (100) nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das erste Mittel (101) für eine erste Parallelversetzung des Lichtstrahles als Keilprismenpaar oder als planparallele optische Platte oder als verstellbares Spiegelsystem ausgeführt ist.
- Optische Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das erste Mittel (101) für eine erste Parallelversetzung des Lichtstrahles als Keilprismenpaar ausgeführt ist und wobei ein Keilprisma des Keilprismenpaars entlang der wenigstens einen Rotationsachse (104) verschiebbar ist.
- Optische Vorrichtung (100) nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das dritte Mittel (103) für eine zweite Parallelversetzung des Lichtstrahles als Keilprismenpaar oder als planparallele Platte oder als verstellbares Spiegelsystem ausgeführt ist.
- Optische Vorrichtung (100) nach Anspruch 6, wobei das dritte Mittel (103) für eine zweite Parallelversetzung des Lichtstrahles als verkippbare planparallele Platte ausgeführt ist.
- Optische Vorrichtung (100) nach Anspruch 6 oder 7, wobei das dritte Mittel (103) für eine zweite Parallelversetzung des Lichtstrahles ein zusätzliches Keilprismenpaar umfasst.
- Optische Vorrichtung (100) nach einem der vorherigen Ansprüche, dazu konfiguriert, dass das erste Mittel (101) für eine erste Parallelversetzung des Lichtstrahles und das dritte Mittel (103) für eine zweite Parallel Versetzung des Lichtstrahles mit der gleichen Rotationsfrequenz drehbar sind.
- Optische Vorrichtung (100) nach einem der vorherigen Ansprüche 1 bis 8, dazu konfiguriert, dass das erste Mittel (101) für eine erste Parallelversetzung des Lichtstrahles mit einer ersten Rotationsfrequenz drehbar ist und das dritte Mittel (103) für eine zweite Parallelversetzung des Lichtstrahles mit einer zweiten Rotationsfrequenz drehbar ist, wobei die beiden Rotationsfrequenzen verschieden voneinander sind.
- Optische Vorrichtung (100) nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das zweite Mittel (102) konfiguriert für eine Fokussierung des Lichtstrahles wenigstens eine Linse umfasst.
- Optische Vorrichtung (100) nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das zweite Mittel (102) konfiguriert für eine Fokussierung des Lichtstrahles entlang der wenigstens einen Rotationsachse (104) verschiebbar ist.
- Optische Vorrichtung (100) nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das zweite Mittel (102) konfiguriert für eine Fokussierung des Lichtstrahles eine Mehrzahl von Linsen umfasst, wobei die Linsen individuell verschiebbar entlang der oder parallel zu der wenigstens einen Rotationsachse (104) positionierbar sind.
- Optische Vorrichtung (100) nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Vorrichtung wenigstens ein zusätzliches Mittel (107) zur Drehung der Polarisationssebene des Lichtstrahles aufweist, worin z.B. das zusätzliche Mittel (107) ein Paar aus Lambda/4-Platten umfasst, und wobei das zusätzliche Mittel (107) drehbar ist, z.B. um die wenigstens eine Rotationsachse (104) der Vorrichtung drehbar ist.
- Verfahren zur Führung eines Lichtstrahles, insbesondere eines Laserstrahles zur Bearbeitung von Werkstücken mittels einer optischen Vorrichtung, umfassend folgende Schritte:

eine erste Parallelversetzung eines in die optische Vorrichtung eingekoppelten Lichtstrahles, z.B. mittels eines um eine Rotationsachse (104) der optischen Vorrichtung drehbaren ersten Mittels (101),
eine Fokussierung des Lichtstrahles, beispielsweise eine Fokussierung und Schrägstellung des Lichtstrahles, z.B. mittels eines um eine Rotationsachse (104) der optischen Vorrichtung drehbaren zweiten Mittels (102),
und zweite Parallelversetzung des in die optische Vorrichtung eingekoppelten Lichtstrahles, z.B. mittels eines um eine Rotationsachse (104) der optischen Vorrichtung drehbaren dritten Mittels (103).



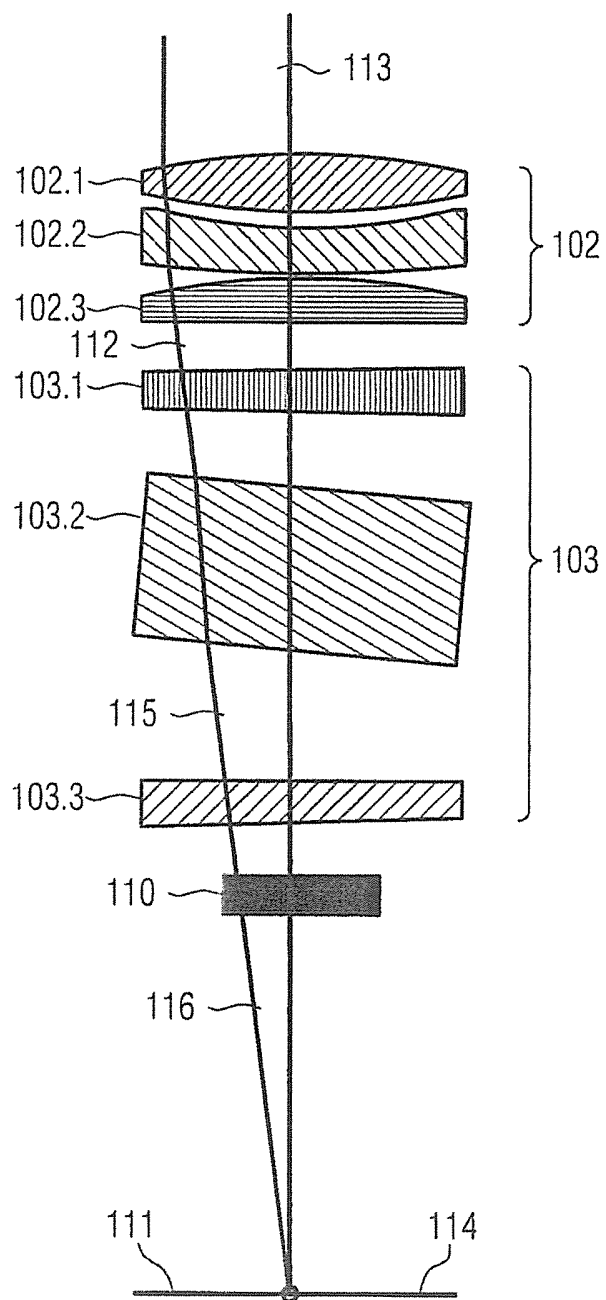


FIG. 2

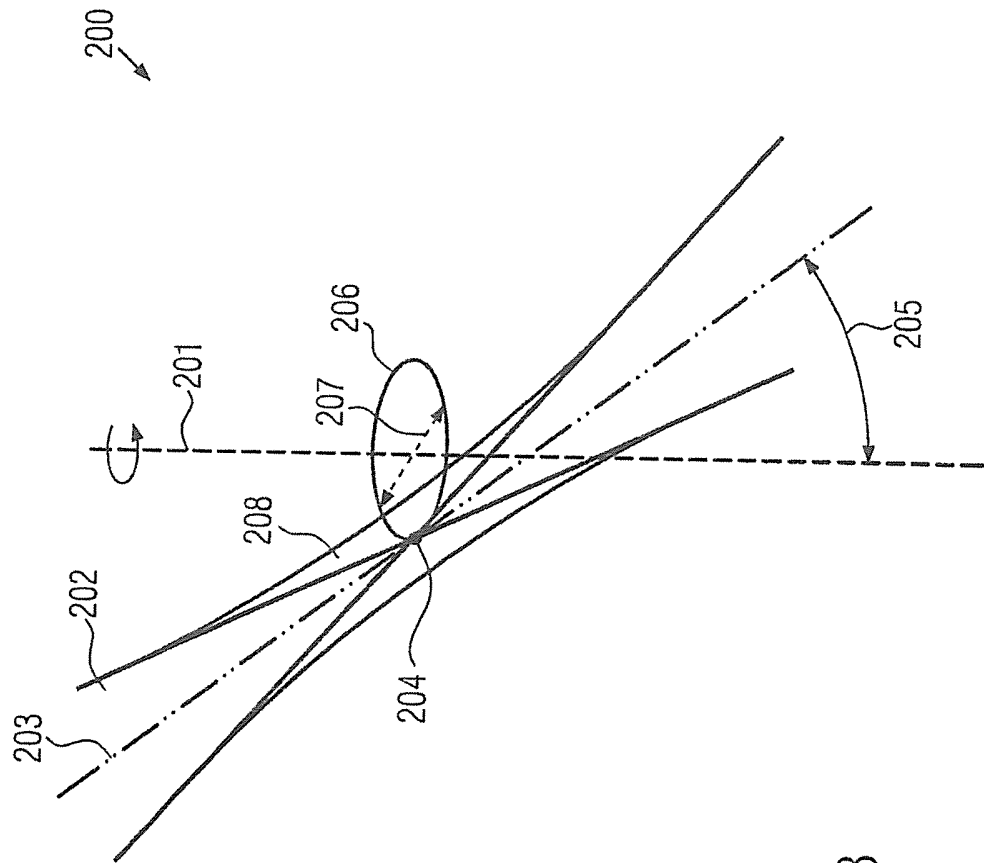


FIG. 3

