

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
16. November 2023 (16.11.2023)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2023/218031 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G02B 19/00 (2006.01) B23K 26/067 (2006.01)
B23K 26/06 (2014.01) B23K 26/364 (2014.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2023/062756

(22) Internationales Anmeldedatum:
12. Mai 2023 (12.05.2023)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2022 204 685.4
13. Mai 2022 (13.05.2022) DE

(71) Anmelder: **FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V.** [DE/DE]; Hansastraße 27c, 80686 München (DE). **RHEINISCH-WESTFÄLISCHE TECHNISCHE HOCHSCHULE (RWTH) AACHEN** [DE/DE]; Templergraben 55, 52062 Aachen (DE).

(72) Erfinder: **KÖNIG, Georg**; c/o RWTH Aachen, Templergraben 55, 52062 Aachen (DE). **HOFMANN, Oskar**; c/o RWTH Aachen, Templergraben 55, 52062 Aachen (DE). **PROCHNAU, Marcel**; c/o RWTH Aachen, Temp-

lergraben 55, 52062 Aachen (DE). **HOFMANN, Jörg**; c/o RWTH Aachen, Templergraben 55, 52062 Aachen (DE). **FU, Cailing**; c/o RWTH Aachen, Templergraben 55, 52062 Aachen (DE). **HESKER, Mario**; c/o RWTH Aachen, Templergraben 55, 52062 Aachen (DE). **GRUBERT, Nicole**; c/o RWTH Aachen, Templergraben 55, 52062 Aachen (DE).

(74) Anwalt: **PFENNING, MEINIG & PARTNER MBB**; Theresienhöhe 11a, 80339 München (DE).

(81) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

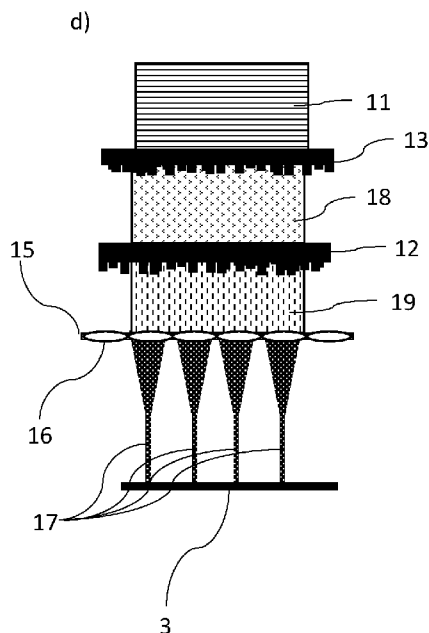
(84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,

(54) Title: OPTICAL SYSTEM, DEVICE AND METHOD FOR MACHINING A WORKPIECE

(54) Bezeichnung: OPTIK, VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR BEARBEITUNG EINES WERKSTÜCKS

(57) **Abstract:** The present invention relates to an optical system for generating a linear focus, and to a device and a method for machining a workpiece.

(57) **Zusammenfassung:** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Optik zur Erzeugung eines linearen Fokus, sowie eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Bearbeitung eines Werkstücks.



CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*
- *vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)*

Optik, Vorrichtung und Verfahren zur Bearbeitung eines Werkstücks

5 Die vorliegende Erfindung betrifft eine Optik zur Erzeugung eines linearen Fokus, sowie eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Bearbeitung eines Werkstücks.

10 Oberflächen können durch Materialabtrag mit Hilfe von Licht strukturiert werden. Konventionelle Aufbauten bedienen sich dafür gepulster Laserstrahlung, die mit einem fokussierenden optischen Element auf das zu bearbeitende Objekt fokussiert wird.

Das Auflösungsvermögen einer Abbildung mittels eines fokussierenden optischen Elements wird unter anderem durch den Arbeitsabstand und die Größe der Apertur bestimmt. Um hinreichend kleine Strukturen erzeugen zu können, müssen kurze Arbeitsabstände eingehalten werden. Das beschränkt das Sichtfeld eines entsprechenden optischen Elements. In diesem Fall ist auch die Fläche, die mit den optischen Elementen bearbeitbar ist, dem Sichtfeld entsprechende eingeschränkt und oft nur wenige Quadratmillimeter groß.

Des Weiteren ist die Schärfentiefe durch eine große numerische Apertur, die zur Erzeugung kleinster Strukturen nötig ist, vergleichsweise gering. Das macht die Bearbeitung einer Oberfläche empfindlich gegenüber Änderungen des Arbeitsabstands.

Großflächige feinstrukturierte Oberflächen lassen sich also nur erschwert herstellen.

Aufgabe der Erfindung ist es, Kleinststrukturen mit einer Größe von wenigen Mikrometer auf großen Bearbeitungsflächen in der Größenordnung mehrerer Quadratdezimeter zu erzeugen. Diese Aufgabe wird gelöst durch eine Optik zur Erzeugung eines linearen Fokus nach Anspruch 1, eine Vorrichtung zum Bearbeiten eines Werkstücks nach Anspruch 13 und ein Verfahren zur Bearbeitung einer Oberfläche nach Anspruch 15. Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den Unteransprüchen angegeben.

Eine erfindungsgemäße Optik weist zumindest ein Strahltransformierungselement auf, das zumindest zwei unterschiedliche effektive Brechkräfte aufweist. Des Weiteren weist die erfindungsgemäße Optik ein Strahlfokussierungsarray auf. Das Strahlfokussierungsarray weist zumindest zwei fokussierende optische Elemente mit jeweils zumindest einer effektiven Brechkraft auf. Durch die erfindungsgemäße Optik ist die Ausbildung eines linearen Fokus zumindest entlang einer optischen Achse jedes fokussierenden optischen Elements des Strahlfokussierungsarrays möglich.

Die Bezeichnung „effektive“ Brechkraft ermöglicht eine anschauliche Beschreibung der erfindungsgemäßen Optik im Bild der geometrischen Optik.

Optische Elemente, die eine effektive Brechkraft aufweisen, können analog zu optischen Elementen, die eine Brechkraft aufweisen, einfallende Lichtstrahlen

so ablenken, dass sie sich in einem Fokuspunkt treffen. In Analogie zur Brechkraft ist auch der Wert der effektiven Brechkraft als Kehrwert einer Brennweite gegeben. Die Brennweite bezeichnet die Distanz zwischen einer Hauptebene, auf die die Brechung der Lichtstrahlen zurückzuführen ist, und dem Fokuspunkt, in dem sich die gebrochenen Lichtstrahlen treffen können. Die Bezeichnung „effektiv“ soll dabei lediglich herausstellen, dass es für die Erfindung unerheblich ist, ob die oben beschriebene Ablenkung durch Refraktion, Diffraktion oder Reflexion bewirkt wird. Ebenso ist davon unbenommen, ob die Lichtstrahlen einen Fokuspunkt tatsächlich erreichen, oder vorher auf ein anderes optisches Element treffen.

Ein Strahlengang bezeichnet den geometrischen Verlauf von Lichtstrahlen durch ein optisches System. Wenn Strahlengänge durch ein Element verlaufen, bedeutet das, dass ein Lichtstrahl an der Stelle des Strahlengangs, an dem sich das Element befindet, eine Veränderung seiner Eigenschaften erfahren kann. Dazu muss der Lichtstrahl nicht durch das betreffende optische Element transmittiert werden, sondern kann beispielsweise auch reflektiert werden.

Lichtstrahlen und damit auch Strahlengänge, die durch das Strahltransformierungselement verlaufen, erfahren jeweils eine der zumindest zwei effektiven Brechkräfte des Strahltransformierungselements. Die fokussierenden optischen Elemente des Strahlfokussierungsarrays sind erfindungsgemäß derart angeordnet, dass durch jedes der fokussierenden optischen Elemente Strahlengänge verlaufen, die zumindest zwei unterschiedliche effektive Brechkräfte des Strahltransformierungselements erfahren haben. Auf diese Weise können hinter jedem fokussierenden optischen Element des Strahlfokussierungsarrays zumindest zwei Fokuspunkte erzeugt werden. Die zumindest zwei Fokuspunkte sind vorteilhafterweise entlang der optischen Achse des jeweiligen fokussierenden optischen Elements angeordnet. Als linearer Fokus, als Fokuslinie oder als longitudinale Fokuslinie wird im Folgenden eine Strecke bezeichnet, die zumindest zwei Fokuspunkte auf einer optischen Achse eines fokussierenden optischen Elements enthält.

Ein optisches Element, das mehrere Brechkräfte aufweisen kann, ist beispielsweise ein Axicon. Ein Axicon ist eine Linse mit einer planen und einer konisch

geformten Oberfläche. Die unterschiedlichen effektiven Brechkräfte der konischen Oberfläche sind dadurch ringförmig um die optische Achse des Axicons angeordnet. Einfallende Lichtstrahlen, die beispielsweise parallel zur optischen Achse des Axicons verlaufen, können zum Beispiel eine umso stärkere Brechkraft erfahren, je kleiner ihr Abstand zur optischen Achse des Axicons ist. Für parallel einfallende Lichtstrahlen weist ein Axicon dadurch mehrere Fokuspunkte entlang seiner optischen Achse auf.

Das Strahltransformierungselement kann vorzugsweise ein diffraktives optisches Element sein. Ein diffraktives optisches Element kann die Wellenfronten einfallender Lichtstrahlen transformieren, wodurch Eigenschaften auslaufender Lichtstrahlen verändert werden können. Die Eigenschaften, die die diffraktiven optischen Elemente dazu aufweisen, können gezielt durch Anwendung analytischer oder iterativer mathematischer Verfahren aus den Eigenschaften der einfallenden und der erwünschten auslaufenden Lichtstrahlen bestimmt werden. Das diffraktive optische Element kann dabei auch so ausgebildet werden, dass es zumindest zwei effektive Brechkräfte aufweist. Das bedeutet, dass die Wellenfronten einfallender Lichtstrahlen derart transformiert werden können, dass sich ausfallende Lichtstrahlen im weiteren Strahlenverlauf potenziell in zumindest zwei unterschiedlichen Fokuspunkten treffen.

Vorteilhafterweise ist das diffraktive optische Element ein transmissives diffraktives optisches Element, sodass transmittierte Lichtstrahlen jeweils eine der zumindest zwei effektiven Brechkräfte erfahren. Eine Transformation der Wellenfronten kann z.B. durch unterschiedliche optische Weglängen, die Licht im Substrat zurücklegt, bewirkt werden. Das Substrat kann dafür beispielsweise ein Höhenprofil aufweisen, das ebenfalls z.B. auf Basis der analytischen oder iterativen mathematischen Verfahren bestimmt werden kann.

In einer optionalen Ausgestaltung kann das Strahltransformierungselement auch ein reflektives diffraktives optisches Element sein, sodass reflektierte Lichtstrahlen jeweils eine der zumindest zwei effektiven Brechkräfte erfahren. Dafür kann eine reflektierende Fläche des reflektiven diffraktiven optischen Elements ein Höhenprofil aufweisen, das eine entsprechende Transformation der reflektierten Wellenfront bewirkt.

In einer vorteilhaften Ausführung der Erfindung kann das Strahltransformierungselement ein variables diffraktives optisches Element sein, das die Wellenfronten zu unterschiedlichen Zeitpunkten unterschiedlich transformieren kann. Dies kann beispielsweise ein transmissiver oder reflektiver spatial light modulator sein.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung des Strahltransformierungselements können die Brechkräfte des Strahltransformierungselements kontinuierlich verteilt sein. Das bedeutet, dass eine kontinuierliche Häufigkeitsverteilung der Brechkräfte vorliegt und Lichtstrahlen, die das Strahlfokussierungselement durchlaufen, jede effektive Brechkraft, die zwischen einer minimalen effektiven Brechkraft und einer maximalen effektiven Brechkraft liegt, erfahren können.

Jede effektive Brechkraft die das Strahltransformierungselement aufweist, kann funktional mit einem Fokuspunkt auf einer longitudinalen Fokuslinie verknüpft werden. Eine kontinuierliche Häufigkeitsverteilung der effektiven Brechkräfte ermöglicht daher eine Ausbildung einer kontinuierlichen longitudinalen Fokuslinie. Bei einer diskreten Häufigkeitsverteilung der effektiven Brechkräfte können die Fokuspunkte an einzelnen Punkten entlang der longitudinalen Fokuslinie vorliegen. Dann können die Brechkräfte beispielsweise so gewählt werden, dass die Fokuspunkte äquidistant zueinander beabstandet sind. Die Intensität des Lichtstrahls kann in einem longitudinal begrenzten Bereich um einen jeweiligen Fokuspunkt derart erhöht sein, dass sich der Bereich zur Bearbeitung von Oberflächen eignet. Der Abstand derartiger Fokuspunkte zueinander kann dann so gewählt werden, dass sich diese Bereiche überlagern und sich selbst bei einer diskreten Häufigkeitsverteilung der effektiven Brechkräfte ein kontinuierlicher Bereich erhöhter Intensität bildet.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung kann das Strahltransformierungselement zumindest zwei Bereiche aufweisen, die jeweils eine unterschiedliche effektive Brechkraft aufweisen. Jeder Bereich kann zumindest zwei unzusammenhängende Teilbereiche auf dem Strahltransformierungselement aufweisen.

In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung können Bereiche unterschiedlicher Brechkraft des Strahltransformierungselements derart ausgebildet und angeordnet sein, dass auf jeden Bereich einer bestimmten Brechkraft die gleiche Strahlleistung trifft. Das kann insbesondere dann von Vorteil sein, wenn die Leistung jedes Fokuspunkts, der Teil einer longitudinalen Fokuslinie ist, gleich sein soll. Die Bereiche des Strahltransformierungselements, die jeweils eine bestimmte Brechkraft aufweisen, können derart angeordnet und ausgebildet sein, dass das Integral der Intensität der Lichtstrahlen über die Fläche des jeweiligen Bereichs, für alle derartigen Bereiche die gleiche Leistung ergibt.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung können die Bereiche gleicher Brechkraft ringförmig und/oder kreisförmig ausgebildet sein. Es kann hier von Vorteil sein, die Bereiche an die Geometrie der Intensitätsverteilung des Lichtbündels auf dem Strahltransformierungselements anzupassen. Die Intensitätsverteilung der Lichtstrahlen auf dem Strahltransformierungselements kann beispielsweise rotationssymmetrisch und/oder Gauß-förmig sein.

Ist das Strahltransformierungselement beispielsweise ein diffraktives optisches Element und es lassen sich keine geometrisch eingrenzenden Bereiche bestimmter Brechkraft definieren, lässt sich das Strahltransformierungselement derart ausbilden, dass die Gesamtleistung aller Lichtstrahlen, die eine bestimmte effektive Brechkraft des Strahltransformierungselements erfahren haben, für jede effektive Brechkraft den gleichen Wert hat. Die Eigenschaften, die zur Erzeugung solcher Lichtstrahlen nötig sind, können in diesem Fall über analytische oder iterative Verfahren bestimmt werden.

Die erfindungsgemäße Optik weist zudem ein Strahlfokussierungsarray auf. Das Strahlfokussierungsarray weist zumindest zwei fokussierende optische Elemente auf. Ein fokussierendes optisches Element kann grundsätzlich jedes optische Element sein, das eine effektive Brechkraft aufweist und einen Lichtstrahl fokussieren kann. Das fokussierende optische Element kann sowohl reflektiv, diffraktiv oder auch refraktiv sein.

Die zumindest zwei fokussierenden optischen Elemente sind derart angeordnet, dass durch jedes der zumindest zwei fokussierenden optischen Elemente Strahlengänge verlaufen, die zumindest zwei unterschiedliche Brechkräfte des Strahltransformierungselements erfahren haben. Dadurch kann bewirkt werden, dass Lichtstrahlen, die die gesamte Optik durchlaufen, von jeweils einem fokussierenden optischen Element zu zumindest zwei Fokuspunkten entlang ihrer Ausbreitungsrichtung abgelenkt werden können.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung können die fokussierenden optischen Elemente des Strahlfokussierungsarrays so entlang einer ersten Anordnungsrichtung nebeneinander angeordnet sein, dass alle Strahlengänge nur einmal durch ein fokussierendes optisches Element verlaufen. Die fokussierenden optischen Elemente können zudem so ausgerichtet sein, dass ihre jeweiligen Hauptebenen parallel zueinander angeordnet sind. Außerdem kann die effektive Brechkraft jedes fokussierenden optischen Elements den gleichen Wert aufweisen. Besonders vorteilhaft ist es, wenn die fokussierenden optischen Elemente so angeordnet sind, dass ihre Hauptebenen in einer Ebene liegen, die parallel zur ersten Anordnungsrichtung ist. Die einzelnen fokussierenden optischen Elemente können außerdem so nebeneinander angeordnet sein, dass sie ihre jeweiligen benachbarten fokussierenden optischen Elemente an zumindest einem Punkt an deren Rändern berühren.

In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung können die fokussierenden optischen Elemente entlang der ersten Anordnungsrichtung und entlang einer zweiten Anordnungsrichtung angeordnet sein. Vorzugsweise können die fokussierenden optischen Elemente in einer Anordnungsebene angeordnet sein, die von der ersten Anordnungsrichtung und der zweiten Anordnungsrichtung aufgespannt wird. Dabei können die fokussierenden optischen Elemente so ausgerichtet sein, dass ihre jeweiligen Hauptebenen parallel zur Anordnungsebene sind.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung können die fokussierenden optischen Elemente in äquidistanten Abständen zueinander angeordnet sein. Vorteilhafterweise können die fokussierenden optischen Elemente des Strahlfokussierungsarrays derart angeordnet sein, dass ihre gemeinsam in der Anordnungsebene eingenommene Fläche im Wesentlichen oval, kreisförmig, rechteckig

oder quadratisch ist.

5 In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung können die fokussierenden optischen Elemente des Strahlfokussierungsarrays derart angeordnet sein, dass die Strahlengänge senkrecht zu Hauptebenen der fokussierenden optischen Element stehen.

10 In einer weiteren optionalen Ausgestaltung der Erfindung kann das Strahlfokussierungsarray ein Mikrolinsenarray sein, wobei die Mikrolinsen konvex, plan-konvex, asphärisch oder als Axicons ausgebildet sein können. Das kann bedeuten, dass das Strahlfokussierungsarrays ein Substrat aufweist, das sich zumindest entlang der ersten Richtung erstreckt und eine Vorder- und eine Rückseite aufweist. Die fokussierenden optischen Elemente können dabei durch Ausformungen an zumindest der Vorder- und/oder der Rückseite ausgebildet sein. Die Ausformungen können dabei derart ausgebildet sein, dass
15 jede Ausformung Eigenschaften einer konvexen Linse, einer plan-konvexen Linse, einer asphärischen Linse oder eines Axicons aufweist.

20 Das Strahlfokussierungsarray kann in einer vorteilhaften Ausgestaltung ein diffraktives optisches Element sein. Die fokussierenden optischen Elemente sind dabei als diffraktive fokussierende optische Elemente ausgebildet, die jeweils eine effektive Brechkraft aufweisen und einfallende Lichtstrahlen gezielt umformen. Diese diffraktiven fokussierenden optischen Elemente können derart ausgebildet sein, dass sie einfallende Wellenfronten lokal in ihrer Phase verzögern. Die Wellenfronten einfallender Lichtstrahlen können dadurch derart
25 transformiert werden, dass ausfallende Lichtstrahlen zu einem Fokuspunkt fokussiert werden. Auch hier können die Eigenschaften der diffraktiven fokussierenden optischen Elemente gezielt über analytische oder iterative mathematische Verfahren bestimmt werden.

30 In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung weist die Optik ein Strahlhomogenisierungselement auf, das eine Veränderung einer Intensitätsverteilung der Lichtstrahlen auf dem Strahltransformierungselement bewirkt. Besonders vorteilhaft ist es, wenn eine homogene Intensitätsverteilung erzeugt werden
35 kann. Je nach Anwendung können Intensitätsverteilungen vorteilhaft sein, die

beispielsweise rechteckig und homogen oder rund und homogen sind. Die Intensitätsverteilung kann beispielsweise auch so angepasst werden, dass erst nach dem Durchgang durch das Strahltransformierungselement eine homogene Intensitätsverteilung vorliegt, sodass auf jedes fokussierende optische Element des Strahlfokussierungsarrays von der gleichen Strahlleistung trifft. Zur Veränderung der Intensitätsverteilung können diffraktive optische Elemente benutzt werden, deren Eigenschaften durch analytische oder iterative Verfahren gezielt berechnet werden können.

In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung weist die Optik einen Scanner auf, der im Strahlengang zumindest vor dem Strahlfokussierungsarray angeordnet ist. Mit dem Scanner sind Lichtstrahlen entlang des Strahlfokussierungsarrays ablenkbar. Indem Lichtstrahlen zu bestimmten fokussierenden optischen Elementen abgelenkt werden, können die Fokuslinien erzeugt werden, die entlang der optischen Achse dieser bestimmten fokussierenden optischen Elemente erzeugbar sind. Zum einen ermöglicht diese Anordnung, einzelne Fokuslinien selektiv zu erzeugen, indem Lichtstrahlen durch den Scanner so abgelenkt werden, dass sie nur ein fokussierendes optisches Element durchlaufen. Außerdem kann der Lichtstrahl durch den Scanner zu verschiedenen Teilbereichen des Strahlfokussierungsarrays, die jeweils mehrere fokussierende optische Elemente aufweisen, abgelenkt werden. Auf diese Weise können an den unterschiedlichen Teilbereichen des Strahlfokussierungsarrays jeweils mehrere Fokuslinien gleichzeitig erzeugt werden. Vorteilhafterweise kann der Scanner ein Galvanometerscanner, ein Polygonscanner oder ein transmissiver optische Deflektor sein. Die genaue Ausgestaltung des Scanners ist aber nicht auf diese Bauformen beschränkt.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung befindet sich im Strahlengang hinter dem Scanner ein Korrekturlement, das bewirkt, dass die Strahlengänge am Strahlfokussierungsarray senkrecht auf einer Hauptebene der fokussierenden optischen Elemente stehen. Das kann durch eine telezentrische Optik erreicht werden oder durch andere optische Elemente oder einer Anordnung optischer Elemente, die bewirken können, dass Strahlengänge senkrecht auf den Hauptebenen der fokussierenden optischen Elemente stehen.

In einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Bearbeitung eines Werkstücks

werden erste Lichtstrahlen von einer Lichtquelle erzeugt. Die Lichtstrahlen können vorteilhafterweise kollimiert sein und/oder gepulst sein. In einer bevorzugten Ausführung ist mindestens eine der Lichtquellen gepulst, ein Laser oder ein gepulster Laser. Die Verwendung eines gepulsten Lasers, beispielsweise in der Form eines Ultra-Kurz-Puls-Lasers, bietet den Vorteil, dass das Werkstück weniger stark thermisch belastet wird. Außerdem können mit diesen Lasern hohe Spitzenintensitäten erzeugt werden, was insgesamt vorteilhaft für die Oberflächenbearbeitung sein kann. Die Wellenlänge des Lichts ist nicht auf einen bestimmten Bereich des elektromagnetischen Spektrums beschränkt. Vorteilhafterweise weist das Licht Wellenlängen im UV-, sichtbaren, oder infraroten Bereich auf.

Es kann zudem von Vorteil sein, wenn weitere Lichtstrahlen von zumindest einer zweiten Lichtquelle erzeugt werden und sich die jeweiligen Strahlgänge zumindest in bestimmten Abschnitten entlang des Strahlengangs überlagern oder in bestimmten Abschnitten entlang des Strahlengangs parallel verlaufen.

Vorteilhaft kann es sein, wenn die Leistung, das Strahlprofil oder die Intensitätsverteilung der von der Lichtquelle erzeugten Strahlenbündel einstellbar ist. Besonders vorteilhaft kann es sein, wenn der Lichtstrahl ein Gauß-Strahlprofil, ein Besselstrahlprofil oder ein homogenes Strahlprofil aufweist bzw. auf ein solches einstellbar ist.

Aus den von der Lichtquelle emittierten Lichtstrahlen wird mit der Optik zur Erzeugung eines linearen Fokus zumindest eine longitudinale Fokuslinie erzeugt, die eine Bearbeitungsebene schneidet. Die Fokuslinie kann hier vorteilhafterweise senkrecht auf der Bearbeitungsebene stehen. Die Bearbeitungsebene kann eben oder gekrümmt sein oder auch unstetige Stellen aufweisen.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Vorrichtung ist eine Oberfläche eines Werkstücks derart in der Bearbeitungsebene angeordnet, dass zumindest eine longitudinale Fokuslinie die Oberfläche schneidet. Vorteilhafterweise können alle Fokuslinien die Oberfläche schneiden. Es ist besonders vorteilhaft für die Vorrichtung, wenn der Schnittpunkt von zumindest einer Fokuslinie und der Oberfläche im Zentrum der zumindest einen Fokuslinie liegt.

In einer besonders vorteilhaften Ausführung kann sich das Werkstück entlang

einer Richtung, die in der Bearbeitungsebene liegt, bewegen. Vorteilhafterweise kann das Werkstück auf einem Förderband bewegt werden oder zum Beispiel ein abgerollter Teil eines Bandes in einem Rolle-zu-Rolle Prozess sein.

5

In einem erfindungsgemäßen Verfahren zur Bearbeitung eines Werkstücks wird ein Lichtstrahl erzeugt, der mit einer erfindungsgemäßen Optik je fokussierendem optischen Element eine longitudinalen Fokuslinie erzeugt, die zumindest zwei Fokuspunkte enthält. Eine Oberfläche des Werkstücks wird im

10 Verfahren von der Fokuslinie in zumindest einem Schnittpunkt geschnitten. Besonders vorteilhaft kann es sein, wenn die Fokuslinie senkrecht auf der Oberfläche steht. Außerdem kann es von Vorteil sein, wenn der Lichtstrahl gepulst wird.

15

Das Verfahren kann vorteilhaft zur Anwendung kommen, wenn sich das Werkstück entlang der longitudinalen Fokuslinie bewegt. Das kann bedeuten, dass der Abstand zwischen dem Schnittpunkt, in dem eine longitudinalen Fokuslinie die Oberfläche des Werkstücks schneidet, und dem fokussierenden optischen Element, das die longitudinale Fokuslinie aus einfallenden Lichtstrahlen erzeugt, sich verändert. Eine Veränderung dieses Abstands kann beispielsweise durch Schwingungen eines Werkstücks entlang der longitudinalen Fokuslinie ausgelöst werden. Es kann vorteilhaft sein, wenn die longitudinale Fokuslinie senkrecht auf die Oberfläche des Werkstücks trifft.

20

25

In einer weiteren vorteilhaften Ausführung des Verfahrens kann die Oberfläche des Werkstücks entlang einer ersten Richtung bewegt werden, wobei die erste Richtung senkrecht zur Fokuslinie steht und parallel zur Oberfläche liegt. Eine Bewegung kann durch Geschwindigkeits- und Beschleunigungswerte des Werkstücks zu verschiedenen Zeitpunkten gekennzeichnet sein. Die Bewegung kann bevorzugt eine konstante Bewegung sein. Optional kann die Bewegung aber auch zu bestimmten Zeitpunkten des Verfahrens eine beschleunigte Bewegung sein. Optional kann die Bewegung auch gestoppt werden oder in ihrer Richtung umgekehrt werden. Optional kann die Bewegung auch zusätzlich oder ausschließlich in Abhängigkeit von anderen Parametern als bestimmten Zeitpunkten gesteuert werden. Als Parameter können beispiels-

30

35

weise eine Position des Werkstücks, eine Geschwindigkeit und/oder Beschleunigung des Werkstücks dienen. Als Parameter können insbesondere auch die Zeitpunkte dienen, zu denen Lichtpulse erzeugt werden.

5 Das Werkstück wird an allen Stellen bearbeitet werden, an denen es Schnittpunkte mit erzeugbaren longitudinalen Fokuslinien aufweist. Der Einfachheit halber wird in der folgenden Beschreibung auf eine Berücksichtigung der transversalen Ausdehnung der Fokuspunkte verzichtet. Wenn das Werkstück ruht, bildet die Menge aller Schnittpunkte der longitudinalen Fokuslinien mit dem Werkstück, longitudinale Schnittlinien. Diese longitudinalen Schnittlinien enthalten alle Punkte des Werkstücks, die bearbeitbar sind, wenn das Werkstück ruht.

15 Wenn das Werkstück beispielsweise entlang der ersten Richtung bewegt wird, dann bildet die Menge aller Schnittpunkte des Werkstücks mit den longitudinalen Fokuslinien mehrere Schnittflächen. Die Schnittflächen werden von je einer longitudinalen Schnittlinie und der ersten Richtung aufgespannt und enthalten je einen Schnittpunkt einer longitudinalen Fokuslinie mit dem Werkstück. Die Schnittflächen enthalten alle Punkte des Werkstücks, die in der vorteilhaften Ausführung des Verfahrens in der sich das Werkstück entlang der ersten Richtung bewegen kann, bearbeitet werden können. Wird eine - im Wesentlichen zweidimensionale – Oberfläche des Werkstücks bearbeitet, ergeben sich aus den Schnittpunkten der Schnittfläche mit der Oberfläche Bearbeitungslinien.

25 In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens ist ein Winkel, der zwischen der ersten Richtung und einer zweiten Richtung eingeschlossen wird, ungleich einem ganzzahligen Vielfachen von 90° . Die zweite Richtung sei hier die Richtung, entlang welcher die fokussierenden optischen Elemente den kürzesten Abstand zueinander haben. Der Winkel, der von der ersten Richtung und der zweiten Richtung eingeschlossen wird, wird nachfolgend auch als Anstellwinkel bezeichnet.

35 In einer vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens kann auf der Oberfläche ein Muster erzeugt werden, das aus Punkten auf der Oberfläche gebildet wird.

Wird die Oberfläche entlang der ersten Richtung bewegt und außerdem Lichtpulse zu Zeitpunkten t_p erzeugt, kann im Verfahren zu zumindest einem der Zeitpunkte t_p der Lichtstrahl so abgelenkt werden, dass eine der Fokuslinien erzeugt wird, die die zu bearbeitende Oberfläche in einem Punkt des Musters schneidet. Es kann also immer genau dann der Lichtstrahl zu einer der Fokuslinien abgelenkt werden, wenn sich ein Punkt des Musters auf dieser Fokuslinie befindet.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung kann das Verfahren derart ausgelegt sein, dass zu zumindest einem der Zeitpunkte t_p der Lichtstrahl so abgelenkt wird, dass zumindest zwei der Fokuslinien gleichzeitig erzeugt werden, die die zu bearbeitende Oberfläche in jeweils einem Punkt des Musters schneiden.

Die Punkte des Musters können vorteilhafterweise als durchgehende Löcher im Werkstück oder als Oberflächenabtrag erzeugt werden. Die Form des Oberflächenabtrags oder der Löcher an den Punkten des Musters ist nicht auf runde Formen beschränkt, sondern kann jede Form aufweisen, die mit der Optik abbildbar ist.

Vorteilhaft kann es sein, wenn der Lichtstrahl periodisch gepulst ist und die Position oder Bewegungsgeschwindigkeit der Oberfläche und die Ablenkung der Lichtstrahlen durch den Scanner so angepasst wird, dass die oben beschriebene Bedingung erfüllt werden kann. Die Bewegung des Werkstücks und der Scanner können in diesem Fall so gesteuert werden, dass zu jedem periodisch auftretenden Pulszeitpunkt zumindest eine Fokuslinie erzeugt wird, die die Oberfläche in einem Punkt schneidet, der ein Element des Musters ist.

In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung kann die Position und Ausbildung der fokussierenden optischen Elemente des Strahlfokussierungsarrays an das zu erzeugende Muster angepasst sein, sodass das Strahlfokussierungsarray von jedem Laserpuls vollflächig oder teilflächig ausgeleuchtet wird, um alle Punkte und/oder Teilmengen der Punkte des Musters zu erzeugen.

Im Folgenden soll die Erfindung beispielhaft anhand von Figuren veranschaulicht werden.

Es zeigt:

5 Figur 1a)-d): beispielhafte Anordnungen von Elementen in erfindungsgemäßen Optiken.

Figur 2: verschiedene Ausgestaltungen erfindungsgemäßer Optiken mit einem Scanner

10

Figur 3: ein Verfahren zur Erzeugung von Punkten eines Musters auf einer Oberfläche.

Figur 4: ein Verfahren zur Erzeugung von Punkten eines Musters auf einer Oberfläche, wobei der eingeschlossene Winkel zwischen erster Richtung und zweiter Richtung ungleich einem ganzzahligen Vielfachen von 90° ist.

15

20 Figur 1 zeigt verschiedene Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Optik. Die Optik ist in ihrer einfachsten Anordnung dargestellt, in der alle Elemente entlang einer Richtung angeordnet sind. In weiteren, nicht dargestellten optionalen Ausführungen können sich Spiegel an jeder Stelle im Strahlengang befinden, solange die zugrundeliegende Anordnung der gezeigten Elemente entlang des Strahlengangs nicht verändert wird. Außerdem können optional strahlformende Elemente, wie beispielsweise Linsensysteme, im Strahlengang angeordnet sein, die einen Lichtstrahls in seinem Querschnitt vergrößern oder verkleinern. Das gezeigte Koordinatensystem 1 dient der Orientierung.

25

30 Figur 1a zeigt ein Strahltransformierungselement 12, das im Strahlengang vor einem Strahlfokussierungsarray 15 angeordnet ist. Im Strahlfokussierungsarray sind fokussierende optische Elemente 16 nebeneinander entlang einer x-Richtung in einer Ebene, die parallel zum Strahltransformierungselement 12 ist, ausgerichtet. In Figur 1a) ist das Strahltransformierungselement 12 schematisch als diffraktives optische Element und das Strahlfokussierungsarray 15 als Mikrolinsenarray dargestellt.

35

Ein Strahlenbündel 11 tritt durch das Strahltransformierungselement 12. Das dadurch erzeugte transformierte Strahlenbündel 14 tritt durch das Strahlfokussierungsarray 15. Für jedes fokussierende optische Element 16, durch das das transformierte Strahlenbündel 14 verläuft, wird ein Teilstrahlenbündel mit einer longitudinalen Fokuslinie 17 erzeugt. Die fokussierenden optischen Elemente 16 des Strahlfokussierungsarrays 15 sind in Figur 1a schematisch als Linsen dargestellt.

Figur 1b) zeigt eine zur Figur 1a ähnliche Anordnung, in dem das Strahlfokussierungsarray 15 allerdings ein diffraktives optisches Element ist. Ansonsten wird auf die Beschreibung zu Fig. 1a) verwiesen. Die diffraktiven optischen Elemente des Strahlfokussierungsarrays 15 haben dabei eine analoge Wirkung wie die fokussierenden optischen Elemente 16 in Fig. 1a).

In Figur 1c) ist im Strahlengang vor dem Strahltransformierungselement 12 ein Strahlhomogenisierungselement 13 angeordnet. Das Strahlenbündel 11 tritt zuerst durch das Strahlhomogenisierungselement 13. Dadurch wird ein geformtes Strahlenbündel 18 mit einer vorteilhaften Intensitätsverteilung erzeugt. Die Intensitätsverteilung des Strahlenbündels kann hierbei beispielsweise homogen sein. Das geformte Strahlenbündel 18 trifft auf das Strahltransformierungselement 12, wodurch ein transformiertes geformtes Strahlenbündel 19 entsteht, das anschließend durch das Strahlfokussierungsarray 15 tritt, um longitudinale Fokuslinien 17 zu erzeugen.

Figur 1d) zeigt die Anordnung aus Figur 1c zusammen mit der Oberfläche eines Werkstücks 3. Die Oberfläche des Werkstücks 3 ist derart angeordnet, dass sie von den longitudinalen Fokuslinien 17 geschnitten wird.

Figur 2a) zeigt einen Teil der Optik zusammen mit einem Scanner 21, der im Strahlengang hinter dem Strahltransformierungselement 12 angeordnet ist, das in Fig. 2a) und b) nicht gezeigt ist. Mit dem Scanner 21 ist das Strahlenbündel 22a,b entlang des Strahlfokussierungsarrays 15 in Richtung der x-Achse ablenkbar. In Fig. 2a) sind die Strahlenbündel unter zwei verschiedenen Ablenkungswinkeln gezeigt. Das erste abgelenkte Strahlenbündel 22a ist so abge-

lenkt, dass es ein erstes Fokuslinienpaar 23a erzeugt. Ein anderes, zweites abgelenktes Strahlenbündel 22b erzeugt ein zweites Fokuslinienpaar 23b beim Durchtreten an einer anderen Stelle des Strahlfokussierungsarrays 15. Da das Strahlfokussierungsarray beliebig groß gewählt werden kann, wird dadurch die Bearbeitung großer Flächen möglich. Die Anzahl der Fokuslinien, die von dem abgelenkten Lichtstrahl gleichzeitig erzeugt werden, ist abhängig von der Strahlgröße des abgelenkten Lichtstrahls auf dem Strahlfokussierungsarray 15, die im Wesentlichen beliebig gewählt werden kann. Der Lichtstrahl 22a kann vorteilhafterweise auch so geformt sein, dass er nur ein fokussierendes optisches Element 16 gleichzeitig ausleuchtet und als Konsequenz nur eine Fokuslinie gleichzeitig erzeugt wird.

In Figur 2b ist eine ähnliche Anordnung von Scanner 21 und Strahlfokussierungsarray 15 wie in Fig. 2a) gezeigt. Zwischen Scanner 21 und Strahlfokussierungsarray 15 ist ein Korrekturalelement 24 angeordnet. Das Korrekturalelement 24 korrigiert den Einfallswinkel des abgelenkten Strahlenbündels 22a derart, dass das korrigierte, abgelenkte Strahlenbündel 25a senkrecht zur Hauptebene des fokussierenden optischen Elements 15 auf das fokussierende optische Element 15 auftrifft. Die korrigierenden Eigenschaften des Korrekturalelements 24 kann auch das Strahltransformierungselement 12 aufweisen.

Figur 2c zeigt eine Anordnung, in der der Scanner 21 im Strahlengang sowohl vor dem Strahlfokussierungsarray 15 als auch vor dem Strahltransformierungselement 12 angeordnet ist. Das Strahlenbündel 26a ist also zuerst über das Strahltransformierungselement 12 und resultierend daraus über das Strahlfokussierungsarray 15 ablenkbar. In der in Figur 2d gezeigten Anordnung weist das Strahltransformierungselement 12 zudem die korrigierenden Eigenschaften des Korrekturalelements 24 auf, die bewirken, dass die abgelenkten Strahlbündel 27b senkrecht zur Hauptebene der fokussierenden optischen Elemente 15 auf die fokussierenden optischen Elemente 15 treffen.

Figur 3 visualisiert ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Erzeugung eines Musters 31 auf der Oberfläche eines Werkstücks 3. Das Muster 31 kann erzeugt werden, indem Energie in Form von Lichtstrahlung an bestimmten Stellen auf der Oberfläche deponiert wird. Die Energiedeposition führt über verschiedene Mechanismen dazu, dass Oberflächenmaterial abgetragen wird.

Der Materialabtrag ist hier nicht nur auf die Oberfläche beschränkt. In vorteilhaften Ausführungen kann an gewünschten Stellen das gesamte Material abgetragen werden, sodass Löcher im Werkstück entstehen.

5 Die Figuren 3a) und 3b) zeigen eine Aufsicht auf die Oberfläche des Werkstücks 3 entlang der z-Richtung. Die beiden Figuren zeigen die Anordnung zu zwei verschiedenen Zeitpunkten während des Verfahrens. Ziel des Verfahrens ist es das Muster 31 zu erzeugen, das eine Vielzahl von Musterpunkten aufweist.

10

Der an den Musterpunkten 31a,b erzeugte Oberflächenabtrag ist nicht auf eine bestimmte Form beschränkt. Beispielhaft ist in Figur 3 ein Loch 36 mit kreisförmigem Umriss gezeigt. Die Vorrichtung erlaubt es unter jedem fokussierendem Element 16 des Strahlfokussierungsarrays 15, entlang der entsprechenden longitudinalen Fokuslinie, ein Punkt des Musters in Form eines Lochs bzw. Oberflächenabtrags zu erzeugen.

15

Die fokussierenden optischen Elemente 16 des Strahlfokussierungsarrays 15 weisen den kürzesten Abstand zueinander entlang einer zweiten Richtung 33 auf. Das Strahlfokussierungsarray 15 ist in diesem Beispiel so angeordnet, dass die zweite Richtung parallel zur x-Achse 4 ist. Die Oberfläche des Werkstücks 3 ist in einer Bearbeitungsebene angeordnet, die von den longitudinalen Fokuslinien geschnitten wird. Das Werkstück kann entlang der ersten Richtung 32 bewegt werden. In Figur 3 erstreckt sich die erste Richtung entlang der y-Achse 5 und ist senkrecht zur zweiten Richtung 33.

20

25

Die Menge aller Punkte, die potentiell erzeugbar sind, kann durch Bearbeitungslinien 34 visualisiert werden. Die Bearbeitungslinien 34 sind parallel zur ersten Richtung 32, die in Figur 3 parallel zu y-Richtung 5 ist. Das bedeutet, dass zu jedem fokussierenden optischen Element 16 eine Bearbeitungslinie 34 existiert. Der Abstand 35 zwischen zwei benachbarten Bearbeitungslinien 34 ist in diesem Fall durch den Abstand der Zentren der zugehörigen optischen Elemente 16 entlang der zweiten Richtung 33 gegeben.

30

35

Zur Erzeugung eines Musters ist die Lichtquelle vorteilhafterweise gepulst und erzeugt zu Zeitpunkten t_p Lichtpulse. Wenn die Oberfläche des Werkstücks 3

entlang der ersten Richtung 32 bewegt wird, wird zum Zeitpunkt t_p eine longitudinale Fokuslinie erzeugt, die die Oberfläche des Werkstücks 3 in einem Musterpunkt 31a schneidet. Zu diesem Zeitpunkt wird der Lichtstrahl auf das fokussierende optische Element 16 abgelenkt, das diese Fokuslinie erzeugt.
5 Diese Fokuslinie schneidet dann die Oberfläche und erzeugt ein Loch 36 oder Oberflächenabtrag

In Figur 3b) und c) ist die Anordnung zu einem Zeitpunkt t_p dargestellt, zu dem eine longitudinale Fokuslinie 38 erzeugt wird, die die Oberfläche in einem
10 Musterpunkt 31a schneidet, um ein Musterelement zu erzeugen. In Figur 3b sind auch bereits erzeugte Löcher 36 oder Oberflächenabträge dargestellt. Der Lichtstrahl kann auch so abgelenkt werden, dass mehrere longitudinale Fokuslinien 34 gleichzeitig erzeugt werden. Auf diese Weise können mehrere Musterpunkte 31b gleichzeitig erzeugt werden, wie in Figur 3a) dargestellt.

15 Figur 4 zeigt das oben beschriebene Verfahren in einer vorteilhaften Ausführungsform. Ein Anstellwinkel 41, der zwischen erster Richtung 32 und zweiter Richtung 33 eingeschlossen wird, ist hier ungleich einem ganzzahligen Vielfachen von 90° . Das hat zur Folge, dass der Abstand 43 der Bearbeitungslinien
20 42 geringer ist, als wenn die erste Richtung 32 senkrecht zu der zweiten Richtung 33 steht. Die Bearbeitungslinien 34 und deren Abstand 35 der Anordnung bei einem Anstellwinkel von 90° sind in Fig. 4 nochmals dargestellt. In diesem Fall ist der Abstand zweier Bearbeitungslinien gleich der Länge der kürzesten Strecke zwischen zwei fokussierenden optischen Elementen 44. Die
25 vorteilhafte Ausführungsform, in der der Anstellwinkel ungleich einem ganzzahligen vielfachen von 90° ist, erlaubt es, Punkte des Musters in beliebigen Abständen 43 auf beliebig großen Flächen zu erzeugen. Der kleinste Abstand zwischen zwei erzeugbaren Punkten des Musters in y-Richtung 5 kann durch die Bewegungsgeschwindigkeit des Werkstücks beliebig bestimmt werden.
30 Der minimale Abstand in x-Richtung 4 wird durch den Abstand 43 zwischen zwei benachbarten Bearbeitungslinien 42 gegeben, der durch den Anstellwinkel 41 eingestellt werden kann. Der Abstand 43 zwischen zwei benachbarten Bearbeitungslinien 42 ergibt sich in diesem Beispiel aus der Projektion der kürzesten Strecke zwischen zwei fokussierenden optischen Elementen 45 auf
35 eine Achse, die senkrecht zur ersten Richtung 32 ausgerichtet ist und in einer Ebene mit den fokussierenden optischen Elementen liegt. Ist die Länge der

kürzesten Strecke zwischen zwei fokussierenden optischen Elementen 44 gleich **a** und ist der Anstellwinkel 41 gleich α , lässt sich der Abstand **b** 43 der Bearbeitungslinien bestimmen mit $b = |a \cdot \sin(\alpha)|$.

5 Dadurch sind mit diesem Verfahren auch Musterelemente in Abständen erzeugbar, die kürzer sind als der kürzeste Abstand zwischen benachbarten longitudinalen Fokuslinien.

10

15

Bezugszeichen:

	1	x-z Koordinatensystem
	2	x-y Koordinatensystem
20	3	Oberfläche eines Werkstücks
	4	X-Achse/X-Richtung
	5	Y-Achse/Y-Richtung
	6	Z-Achse/Z-Richtung
	11	Lichtstrahl
25	12	Strahltransformierungselement
	13	Strahlhomogenisierungselement
	14	transformiertes Strahlbündel
	15	Strahlfokussierungsarray
	16	fokussierendes optisches Element
30	17	longitudinale Fokuslinie
	18	geformtes Strahlbündel
	19	transformiertes geformtes Strahlbündel
	21	Scanner
	22	a), b) abgelenktes transformiertes Strahlbündel
35	23	a), b) longitudinale Fokuslinien aus abgelenkten Strahlbündeln
	24	Korrekturelement

	25	a), b) korrigiertes abgelenktes Strahlbündel
	26	abgelenktes Strahlbündel
	27	a), b) abgelenktes transformiertes Strahlbündel
	31	Muster
5	31a,b	Musterpunkt
	32	erste Richtung und Bewegungsrichtung des Werkstücks
	33	zweite Richtung
	34	Bearbeitungslinien
	35	Abstand zwischen Bearbeitungslinien
10	36	Oberflächenabtrag oder Loch
	37	abgelenktes Strahlbündel
	38	longitudinale Fokuslinie
	41	Anstellwinkel
	42	Bearbeitungslinien
15	43	Abstand zwischen Bearbeitungslinien
	44	Länge einer kürzesten Strecke zwischen zwei fokussierenden optischen Elementen
	45	kürzeste Strecke zwischen zwei fokussierenden optischen Elementen

Patentansprüche

5

1. Optik zur Erzeugung eines linearen Fokus aufweisend

mindestens ein Strahltransformierungselement (12), das zumindest zwei unterschiedliche effektive Brechkräfte aufweist,

10

ein Strahlfokussierungsarray (15), aufweisend mindestens zwei fokussierende optische Elemente (16),

15

wobei die zumindest zwei fokussierenden optischen Elemente (16) so angeordnet sind, dass durch jedes der zumindest zwei fokussierenden optischen Elemente (16) Strahlengänge verlaufen, die zumindest zwei unterschiedliche effektive Brechkräfte des Strahltransformierungselements (12) erfahren haben.

2. Optik zur Erzeugung eines linearen Fokus nach Anspruch 1,

wobei das Strahltransformierungselement (12), zumindest zwei Bereiche unterschiedlicher effektiver Brechkraft aufweist,

20

und die zumindest zwei fokussierenden optischen Elemente (16) so angeordnet sind, dass durch jedes der zumindest zwei fokussierenden optischen Elemente (16) Strahlengänge verlaufen, die durch zumindest zwei der Bereiche unterschiedlicher effektiver Brechkräfte des Strahltransformierungselements (12) verlaufen.

25

3. Optik zur Erzeugung eines linearen Fokus nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die effektiven Brechkräfte des Strahltransformierungselements (12) kontinuierlich verteilt sind.

- 5 4. Optik zur Erzeugung eines linearen Fokus nach einem der Ansprüche 2 oder 3, wobei die mindestens zwei Bereiche unterschiedlicher effektiver Brechkraft derart ausgestaltet und angeordnet sind, dass auf jeden Bereich einer bestimmten effektiven Brechkraft die gleiche bestimmte Strahlleistung trifft.
5. Optik zur Erzeugung eines linearen Fokus nach einem der Ansprüche 2 bis 4, wobei die mindestens zwei Bereiche ringförmig und/oder kreisförmig sind.
- 10 6. Optik zur Erzeugung eines linearen Fokus nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Strahlengänge am Strahlfokussierungsarray (15) senkrecht auf einer Hauptebene der fokussierenden optischen Elemente stehen.
- 15 7. Optik zur Erzeugung eines linearen Fokus nach einem der vorhergehenden Ansprüche, aufweisend ein Strahlhomogenisierungselement (13), das im Strahlengang vor dem Strahltransformierungselement (12) angeordnet ist und mit dem eine Intensitätsverteilung eines Lichtstrahls auf dem Strahltransformierungselement (12) homogenisierbar ist.
- 20 8. Optik zur Erzeugung eines linearen Fokus nach einem der vorhergehenden Ansprüche, aufweisend einen Scanner (21), der entlang des Strahlengangs vor dem Strahlfokussierungsarray (15) angeordnet ist und mit dem ein Lichtstrahl über das Strahlfokussierungsarray (15) ablenkbar ist.
- 25 9. Optik zur Erzeugung eines linearen Fokus nach dem vorhergehenden Anspruch, aufweisend ein Korrekturelement (24), das im Strahlengang nach dem Scanner (21) angeordnet ist, sodass die Strahlengänge am Strahlfokussierungsarray (15) senkrecht auf einer Hauptebene der fokussierenden optischen Elemente (16) stehen.

10. Optik zur Erzeugung eines linearen Fokus nach einem der vorhergehenden Ansprüche 8 oder 9, wobei der Scanner (21) ein Galvanometerscanner, ein Polygonscanner, oder ein transmissiver optischer Deflektor ist.
- 5 11. Optik zur Erzeugung eines linearen Fokus nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Strahltransformierungselement (12) ein diffraktives optisches Element ist.
- 10 12. Optik zur Erzeugung eines linearen Fokus nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Strahlfokussierungsarray (15) ein diffraktives optisches Element oder ein Mikrolinsenarray ist.
- 15 13. Vorrichtung zur Bearbeitung eines Werkstücks, aufweisend mindestens eine Lichtquelle, mit der zumindest ein Lichtstrahl erzeugbar ist, eine Optik zur Erzeugung eines linearen Fokus nach einem der vorhergehenden Ansprüche und eine Bearbeitungsebene, wobei aus dem zumindest einen Lichtstrahl mit der Optik zur Erzeugung eines linearen Fokus ein linearer Fokus erzeugbar ist, der die Bearbeitungsebene schneidet.
- 20 14. Vorrichtung nach dem vorhergehenden Anspruch, aufweisend ein Werkstück, das in der Bearbeitungsebene angeordnet ist, wobei das Werkstück entlang einer Richtung, die in der Bearbeitungsebene liegt, bewegbar ist.
- 25 15. Verfahren zur Bearbeitung einer Oberfläche (3), wobei zumindest ein Lichtstrahl erzeugt wird, wobei aus dem Lichtstrahl mit einer Optik nach einem der Ansprüche 1 bis 12 je fokussierendem optischen Element eine Fokuslinie (17) erzeugt wird, die zumindest zwei Fokuspunkte enthält, wobei die Fokuslinie die Oberfläche (3) schneidet.
- 30 16. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei sich die Oberfläche (3) entlang der Fokuslinien bewegt.

- 5 17. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 16,
wobei die Oberfläche (3) während des Verfahrens entlang einer ersten
Richtung (32) senkrecht zur Fokuslinie (17) bewegt wird,
wobei die erste Richtung (32) in der zu bearbeitenden Oberfläche (3)
liegt.
- 10 18. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch,
wobei ein Winkel (41), der zwischen der ersten Richtung (32) und einer
zweiten Richtung (33), eingeschlossen wird, ungleich einem ganzzahligen
Vielfachen von 90° ist,
wobei die zweite Richtung (33) die Richtung ist, entlang welcher die fo-
kussierenden optischen Elemente (16) den kürzesten Abstand zueinan-
der haben.
- 15 19. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 18,
wobei auf der zu bearbeitenden Oberfläche (3) ein Muster (31) erzeugt
wird, das durch eine Menge M an Punkten (31a, b) auf der zu bearbei-
tenden Oberfläche (3) zusammengesetzt ist,
wobei Lichtpulse zu Zeitpunkten t_p erzeugt werden,
wobei zu zumindest einem der Zeitpunkte t_p der Lichtstrahl (37) so ab-
gelenkt wird, dass eine der Fokuslinien (38) erzeugt wird, die die zu be-
arbeitende Oberfläche (3) in einem Punkt (31a, b), der ein Element der
Menge M ist, schneidet.
- 20 20. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 19,
wobei auf der zu bearbeitenden Oberfläche (3) ein Muster (31) erzeugt
wird, das durch eine Menge M an Punkten (31a, b) auf der zu bearbei-
tenden Oberfläche (3) zusammengesetzt ist,
wobei Lichtpulse zu Zeitpunkten t_p erzeugt werden,
wobei zu zumindest einem der Zeitpunkte t_p der Lichtstrahl so abge-
lenkt wird, dass zumindest zwei Fokuslinien (38) gleichzeitig erzeugt
werden, die beide die zu bearbeitende Oberfläche (3) in jeweils einem
Punkt (31a,b), der ein Element der Menge M ist, schneiden.
- 25 30

Fig. 2

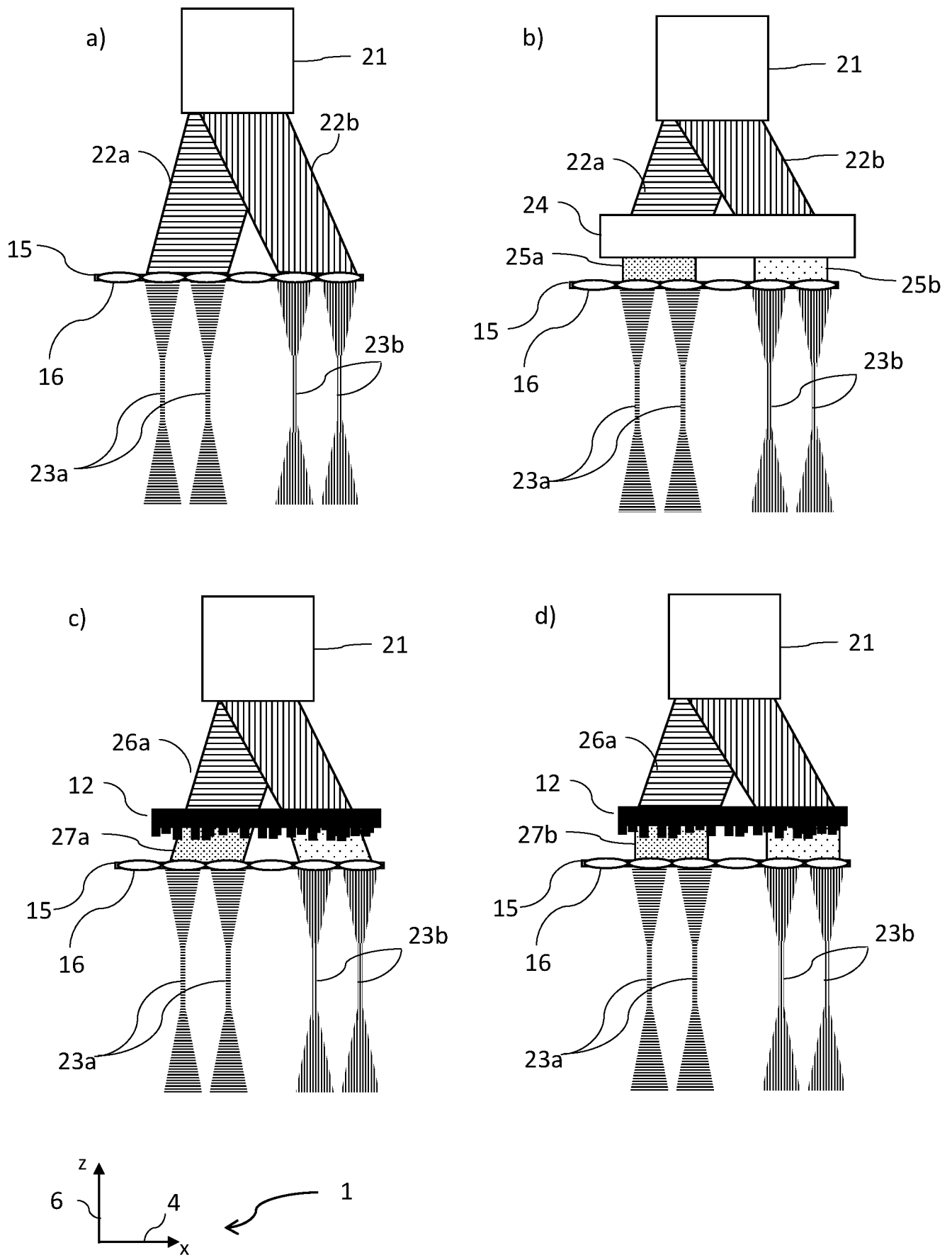


Fig. 3

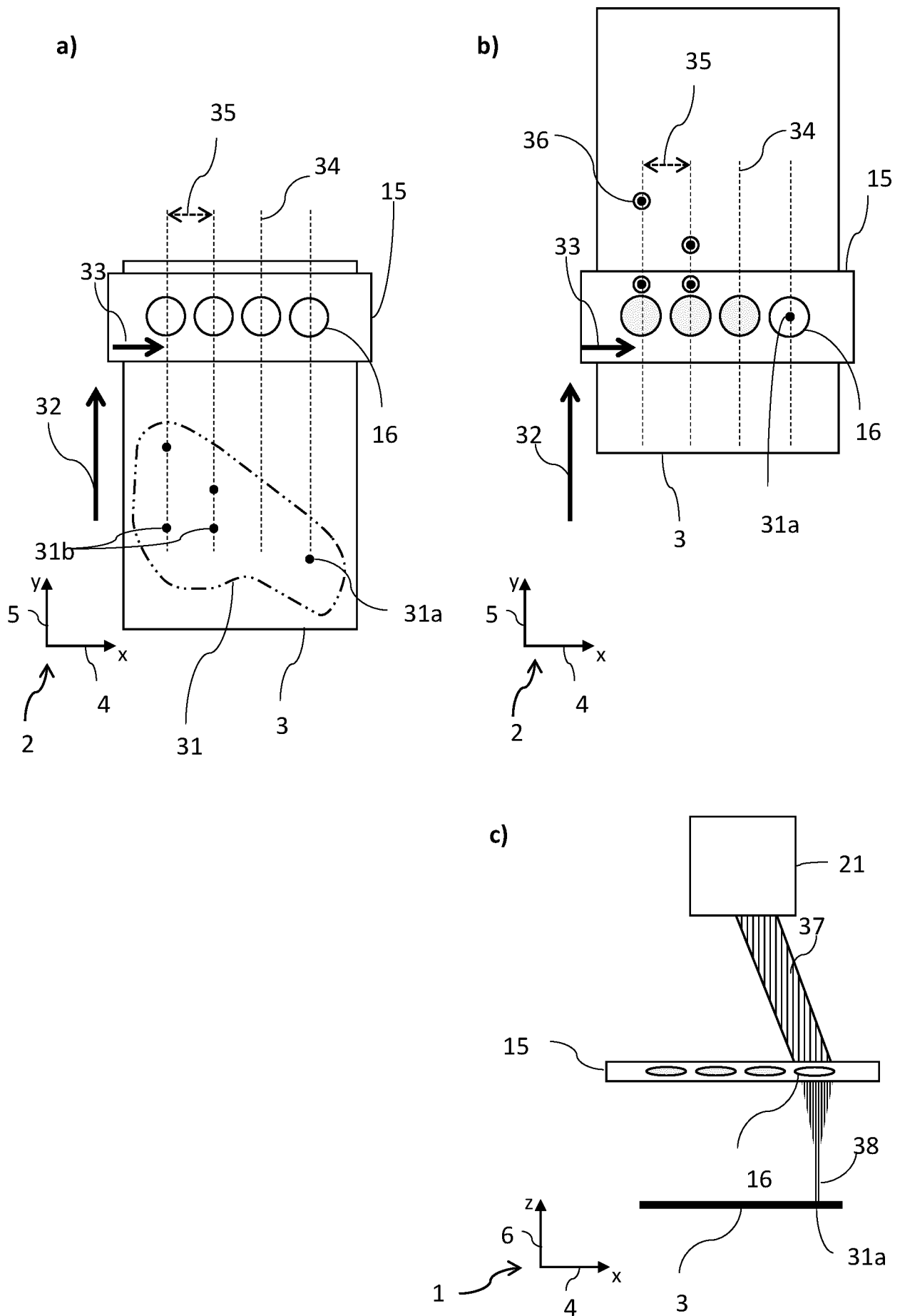
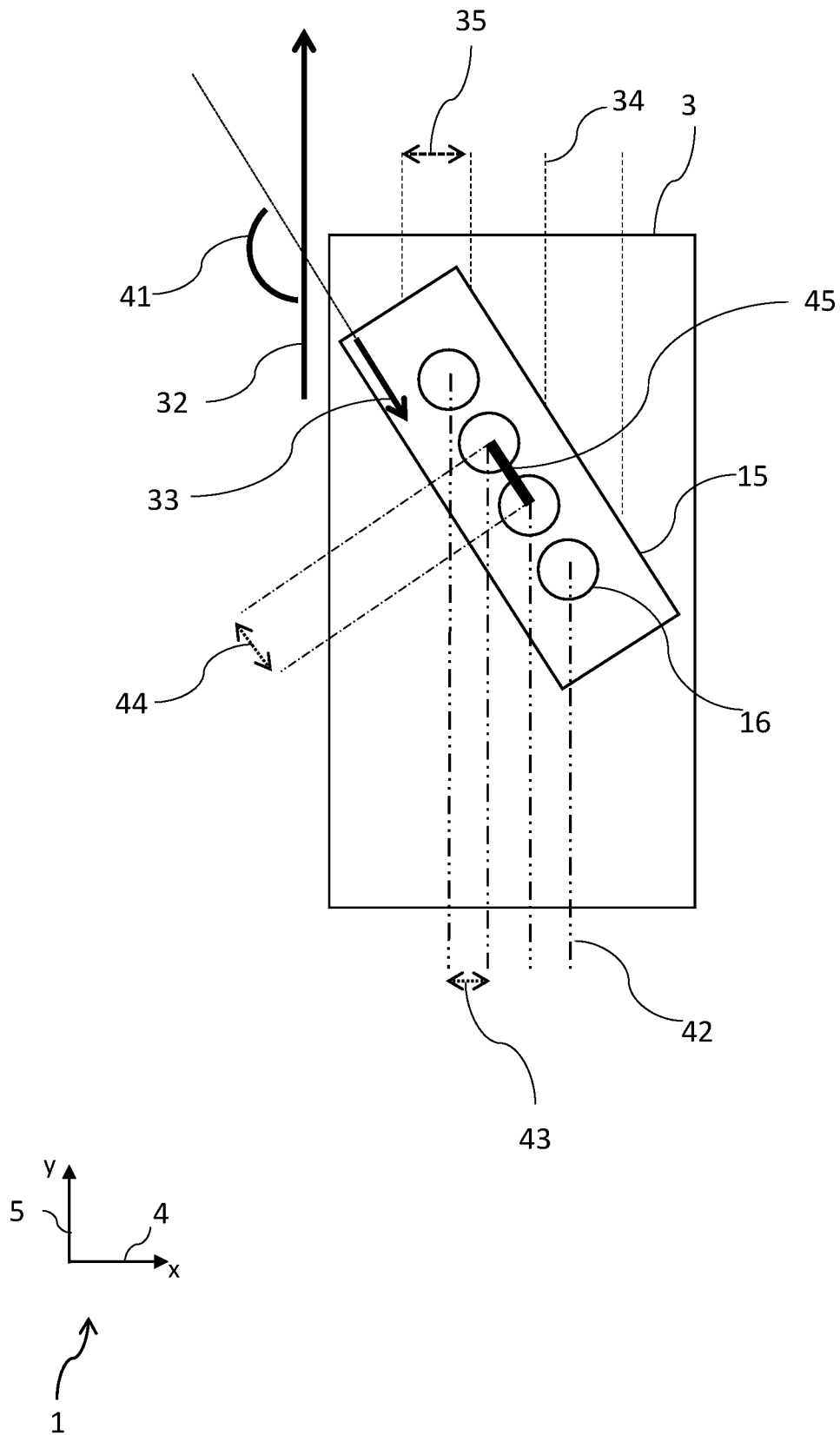


Fig. 4



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2023/062756

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G02B 19/00**(2006.01)i; **B23K 26/06**(2014.01)i; **B23K 26/067**(2006.01)i; **B23K 26/364**(2014.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

B23K; G02B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2017256500 A1 (PARK JUNGRAE [US] ET AL) 07 September 2017 (2017-09-07)	1-7, 11-17
Y	paragraphs [0042] - [0047], [0076]; figures 3, 5	8-10
X	US 2016041397 A1 (LISSOTSCHENKO VITALIJ [DE] ET AL) 11 February 2016 (2016-02-11)	1-7, 12
	paragraphs [0031] - [0041]; figures 1, 2	
X	ZIMMERMANN MAIK ET AL. "Combination of a micro-lens multi-spot generator with a galvanometer scanner for flexible parallel micromachining of silicon" <i>LASER BEAM SHAPING XII, SPIE, 1000 20TH ST. BELLINGHAM WA 98225-6705 USA</i> , Vol. 8130, No. 1, 08 September 2011 (2011-09-08), pages 1-9 DOI: 10.1117/12.892679 XP060018742 the whole document	1-7, 11-20
Y	US 10877243 B2 (SAMSUNG DISPLAY CO LTD [KR]) 29 December 2020 (2020-12-29)	8-10
	column 4, line 56 - column 5, line 12; figure 1	
A	DE 102020123790 A1 (TRUMPF LASER & SYSTEMTECHNIK GMBH [DE]) 17 March 2022 (2022-03-17)	1-20
	paragraphs [0131] - [0145]; figures 5A-5C, 6	



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

08 September 2023

Date of mailing of the international search report

20 September 2023

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Flentje, Farida

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2023/062756

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2017256500	A1	07 September 2017	CN	108701651	A	23 October 2018
				EP	3214012	A1	06 September 2017
				JP	2019512875	A	16 May 2019
				JP	2022191302	A	27 December 2022
				KR	20180114220	A	17 October 2018
				SG	11201806838Y	A	27 September 2018
				TW	201740460	A	16 November 2017
				TW	202141626	A	01 November 2021
				US	2017256500	A1	07 September 2017
				US	2018226355	A1	09 August 2018
				WO	2017151254	A2	08 September 2017
US	2016041397	A1	11 February 2016	CN	105189017	A	23 December 2015
				DE	102013103422	A1	23 October 2014
				EP	2981387	A1	10 February 2016
				JP	6143940	B2	07 June 2017
				JP	2016514621	A	23 May 2016
				KR	20160002739	A	08 January 2016
				RU	2015147381	A	15 May 2017
				US	2016041397	A1	11 February 2016
				WO	2014161710	A1	09 October 2014
US	10877243	B2	29 December 2020	CN	109932808	A	25 June 2019
				KR	20190072701	A	26 June 2019
				US	2019187416	A1	20 June 2019
DE	102020123790	A1	17 March 2022	CN	116390827	A	04 July 2023
				DE	102020123790	A1	17 March 2022
				EP	4210894	A1	19 July 2023
				KR	20230065332	A	11 May 2023
				US	2023241711	A1	03 August 2023
				WO	2022053273	A1	17 March 2022

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2023/062756

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. G02B19/00 B23K26/06 B23K26/067 B23K26/364
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

B23K G02B

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2017/256500 A1 (PARK JUNGRAE [US] ET AL) 7. September 2017 (2017-09-07)	1-7, 11-17
Y	Absätze [0042] - [0047], [0076]; Abbildungen 3, 5	8-10

X	US 2016/041397 A1 (LISSOTSCHENKO VITALIJ [DE] ET AL) 11. Februar 2016 (2016-02-11)	1-7, 12
	Absätze [0031] - [0041]; Abbildungen 1, 2	

	-/--	



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung;; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung;; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

8. September 2023

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

20/09/2023

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Flentje, Farida

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	ZIMMERMANN MAIK ET AL: "Combination of a micro-lens multi-spot generator with a galvanometer scanner for flexible parallel micromachining of silicon", LASER BEAM SHAPING XII, SPIE, 1000 20TH ST. BELLINGHAM WA 98225-6705 USA, Bd. 8130, Nr. 1, 8. September 2011 (2011-09-08), Seiten 1-9, XP060018742, DOI: 10.1117/12.892679 [gefunden am 1901-01-01] das ganze Dokument -----	1-7, 11-20
Y	US 10 877 243 B2 (SAMSUNG DISPLAY CO LTD [KR]) 29. Dezember 2020 (2020-12-29) Spalte 4, Zeile 56 - Spalte 5, Zeile 12; Abbildung 1 -----	8-10
A	DE 10 2020 123790 A1 (TRUMPF LASER & SYSTEMTECHNIK GMBH [DE]) 17. März 2022 (2022-03-17) Absätze [0131] - [0145]; Abbildungen 5A-5C, 6 -----	1-20

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2023/062756

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2017256500 A1	07-09-2017	CN 108701651 A	23-10-2018
		EP 3214012 A1	06-09-2017
		JP 2019512875 A	16-05-2019
		JP 2022191302 A	27-12-2022
		KR 20180114220 A	17-10-2018
		SG 11201806838Y A	27-09-2018
		TW 201740460 A	16-11-2017
		TW 202141626 A	01-11-2021
		US 2017256500 A1	07-09-2017
		US 2018226355 A1	09-08-2018
		WO 2017151254 A2	08-09-2017

US 2016041397 A1	11-02-2016	CN 105189017 A	23-12-2015
		DE 102013103422 A1	23-10-2014
		EP 2981387 A1	10-02-2016
		JP 6143940 B2	07-06-2017
		JP 2016514621 A	23-05-2016
		KR 20160002739 A	08-01-2016
		RU 2015147381 A	15-05-2017
		US 2016041397 A1	11-02-2016
		WO 2014161710 A1	09-10-2014

US 10877243 B2	29-12-2020	CN 109932808 A	25-06-2019
		KR 20190072701 A	26-06-2019
		US 2019187416 A1	20-06-2019

DE 102020123790 A1	17-03-2022	CN 116390827 A	04-07-2023
		DE 102020123790 A1	17-03-2022
		EP 4210894 A1	19-07-2023
		KR 20230065332 A	11-05-2023
		US 2023241711 A1	03-08-2023
		WO 2022053273 A1	17-03-2022
