

(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
6. Oktober 2016 (06.10.2016)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2016/155690 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
G01J 1/42 (2006.01) *G01J 1/04* (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2016/000114
- (22) Internationales Anmeldedatum:
17. März 2016 (17.03.2016)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2015 004 163.0 1. April 2015 (01.04.2015) DE
- (71) Anmelder: PRIMES GMBH MESSTECHNIK FÜR
DIE PRODUKTION MIT LASERSTRAHLUNG
[DE/DE]; Max-Planck-Str. 2, 64319 Pfungstadt (DE).
- (72) Erfinder: KRAMER, Reinhard; Parkstrasse 31, 64319
Pfungstadt (DE). MÄRTEN, Otto; Elbestrasse 1, 63303
Dreieich (DE). WOLF, Stefan; Weihestrasse 8, 64521
Groß-Gerau (DE).

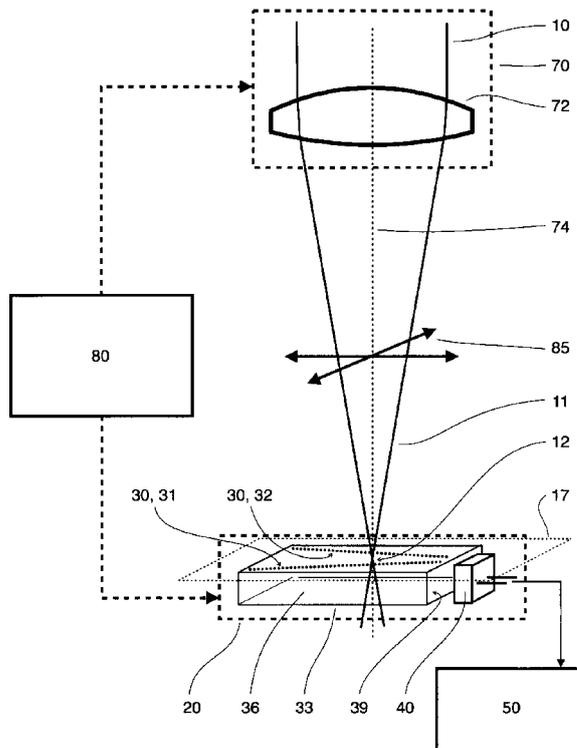
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, 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, 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).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: APPARATUS AND METHOD FOR DETERMINING PROPERTIES OF A LASER BEAM

(54) Bezeichnung : VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR BESTIMMUNG VON EIGENSCHAFTEN EINES LASERSTRAHLS

Figur 1



(57) Abstract: The invention relates to an apparatus for determining properties of a laser beam. The apparatus is suitable for determining geometric parameters of a laser beam, such as, e.g., the beam diameter or the focus diameter. The apparatus includes a device (70) for emitting a laser beam (10, 11) into an effective region (17), a detector arrangement (20) which is positionable in the effective region (17), a device (80) for providing a relative movement between the laser beam (10, 11) and the detector arrangement (20), and a device (50) for registering and evaluating a time-varying signal from the detector arrangement (20). The detector arrangement (20) contains at least one optical waveguide (33), at least two light-scattering structures (30), and at least one light-sensitive sensor (40). The at least one optical waveguide (33) has a light exit surface (39) and a light-guiding region (36), the light-guiding region (36) having an elongate form. The at least two light-scattering structures (30) comprise a first light-scattering structure (31) and a second light-scattering structure (32), which substantially extend in two different directions. The invention also relates to a method for determining properties of a laser beam.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2016/155690 A1

**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)

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Bestimmung von Eigenschaften eines Laserstrahls. Die Vorrichtung ist geeignet zur Bestimmung von geometrischen Parametern eines Laserstrahls, wie beispielsweise des Strahl-Durchmessers oder des Fokus-Durchmessers. Die Vorrichtung schließt eine Einrichtung (70) zur Aussendung eines Laserstrahls (10, 11) in einen Wirk-Bereich (17), eine Detektor-Anordnung (20), die im Wirk-Bereich (17) positionierbar ist, eine Einrichtung (80) zur Bereitstellung einer Relativbewegung zwischen dem Laserstrahl (10, 11) und der Detektor-Anordnung (20), und eine Einrichtung (50) zur Registrierung und Auswertung eines zeitlich veränderlichen Signals von der Detektor-Anordnung (20) ein. Dabei beinhaltet die Detektor-Anordnung (20) mindestens einen Lichtleiter (33), mindestens zwei lichtstreuende Strukturen (30), und mindestens einen lichtempfindlichen Sensor (40). Der mindestens eine Lichtleiter (33) hat eine Lichtaustrittsfläche (39) und einen lichtleitenden Bereich (36), wobei der lichtleitende Bereich (36) eine längliche Form aufweist. Die mindestens zwei lichtstreuenden Strukturen (30) umfassen eine erste lichtstreuende Struktur (31) und eine zweite lichtstreuende Struktur (32), die im Wesentlichen längs zweier unterschiedlicher Richtungen ausgedehnt sind. Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren zur Bestimmung von Eigenschaften eines Laserstrahls.

**Titel: Vorrichtung und Verfahren zur Bestimmung von Eigenschaften eines
Laserstrahls**

5

Beschreibung

GEBIET DER ERFINDUNG

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Bestimmung von
10 Eigenschaften eines Laserstrahls. Die Eigenschaften des Laserstrahls werden durch Abtastung
des Laserstrahls bestimmt. Ein typisches Einsatzgebiet ist die Strahldiagnose oder die
Überprüfung von Eigenschaften eines Laserstrahls an Systemen zur Laser-Material-
bearbeitung. Die Vorrichtung und das Verfahren sind geeignet zur Bestimmung von
15 geometrischen Parametern eines Laserstrahls, wie beispielsweise des Strahl-Durchmessers
oder des Fokus-Durchmessers. Die Bestimmung eines Strahlprofils des Laserstrahls ist
ebenfalls vorgesehen. Die Vorrichtung und das Verfahren sind auch geeignet zur Bestimmung
einer Position des Laserstrahls. Die Vorrichtung und das Verfahren sind auch vorgesehen zur
Strahldiagnose an optischen Systemen zur Remote-Laser-Materialbearbeitung, bei denen die
Fokus-Position mittels einer Scan-Einrichtung in einem Arbeitsbereich frei positioniert und
20 bewegt werden kann.

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

[0002] Die Bestimmung von Eigenschaften eines Laserstrahls ist in vielen technischen
Bereichen von Interesse. Ein typisches Gebiet ist die Messung und Prüfung von
25 Strahleigenschaften in Anlagen zur Laser-Materialbearbeitung zur Sicherstellung einer
gleichbleibend hohen Bearbeitungs-Qualität.

[0003] Zur Erzielung einer hohen Prozess-Qualität in Laser-Materialbearbeitungsanlagen ist
die Einhaltung der Prozess- und Laser-Parameter innerhalb enger Grenzen erforderlich.
30 Insbesondere bei hochdynamischen Bearbeitungsanlagen sind die Prozessfenster sehr klein.
Zur Sicherstellung der Bearbeitungsqualität ist daher eine regelmäßige und genaue
Überprüfung der Eigenschaften des Laserstrahls erforderlich. Dies gilt in besonderem Maße
für Anlagen, bei denen der Laserstrahl mittels einer Scan-Einrichtung in einem zumindest

zweidimensionalen Arbeitsbereich frei positioniert und bewegt werden kann, beispielsweise durch Ablenkung des Strahls über bewegliche Spiegel und einer nachfolgenden Scanner-Optik. Solche Remote-Laserbearbeitungsanlagen haben vielfältige Anwendungen, beispielsweise Beschriften, Schweißen, Schneiden, und anderes. Eine relativ neue Anwendung ist das Selective Laser Melting (SLM). Bei diesem Verfahren können durch lokales Aufschmelzen oder Sintern von aufeinanderfolgenden dünnen Lagen eines pulverförmigen Materials komplexe dreidimensionale Gegenstände hergestellt werden. Da die Produktionszeit der Gegenstände in einem solchen Verfahren naturgemäß lang ist, ist eine Verkürzung der Produktionszeit wünschenswert. Dazu muss der Laserstrahl schneller bewegt werden, wozu wiederum höhere Laser-Leistungen benötigt werden, um das Pulver in kürzerer Zeit aufzuschmelzen. In SLM-Anlagen kommen daher Laserstrahlen mit sehr kleinem Fokus und relativ hoher Leistung zum Einsatz, also Strahlquellen mit hoher Brillanz, bei denen im Fokus des Laserstrahls extrem hohe Leistungsdichten auftreten können.

[0004] Zur Bestimmung von geometrischen Eigenschaften eines Laserstrahls sind viele verschiedene Verfahren und dafür geeignete Vorrichtungen bekannt. Eine erste grobe Einteilung der Verfahren kann danach erfolgen, ob zur Messung ein örtlich auflösender (z.B. Pixel-basierter) Sensor verwendet wird, oder ob der Strahl in einem Verfahren mit raster-ähnlicher Bewegung zeitlich-räumlich abgetastet wird.

[0005] Bei der ersten Gruppe von Verfahren unter Verwendung eines örtlich auflösenden Sensors ist immer das Problem vorhanden, dass übliche Pixel-basierte Sensoren keine hohen Leistungsdichten vertragen und daher immer eine Strahlteilung (bzw. Auskopplung oder Sampling), eine Abschwächung und/oder eine Abbildung des Strahls erforderlich ist, wenn ein Strahl mit hoher Leistungsdichte gemessen werden soll. Durch die Strahlteilung, Abschwächung oder Abbildung wird der Strahl jedoch immer auch in seinen Eigenschaften beeinflusst. Beispielsweise können optische Elemente wie Linsen, Strahlteiler und Abschwächer durch eine auch nur geringe Absorption der Laserstrahlung bereits thermisch induzierte Veränderungen der Abbildung verursachen. Es ist daher kaum sicherzustellen, dass die gemessenen Größen in einem eindeutigen und bekannten Zusammenhang zu den gesuchten Größen direkt im Strahl stehen. Stellvertretend für diese Problematik wird auf die Veröffentlichung Nr. DE 10 2012 106 779 A1 verwiesen. Dort wird eine Optik zur Vermessung von Laserstrahlung offenbart. Bei der offenbarten Vorrichtung kann nur in einem komplexen Zusammenspiel von diversen Strahlteilern und abbildenden Elementen aus

unterschiedlichen Materialien erreicht werden, dass die gemessenen Größen näherungsweise in einem eindeutigen und bekannten Zusammenhang zu den gesuchten Größen direkt im Strahl stehen. Ferner ist die offenbarte Vorrichtung nur zur Vermessung ortsfester Laserstrahlen geeignet.

5

[0006] Weitere Vorrichtungen zur Bestimmung von Eigenschaften eines Laserstrahls, bei denen zur Messung ein örtlich auflösender Sensor eingesetzt wird, werden im folgenden nur der Vollständigkeit halber kurz erwähnt.

10 [0007] Die Veröffentlichungen JP H01 - 107 990 A (Abstract) und JP 2008 - 264 789 A (Abstract) offenbaren beispielsweise Vorrichtungen mit ortsauflösenden Sensoren, die zur geometrischen Kalibration von Remotesystemen vorgesehen sind. Bei diesen Vorrichtungen wird das von einem im Arbeitsfeld angeordneten Substrat gestreute Licht des Laserstrahls
15 mittels eines Objektivs auf eine Kamera abgebildet. Daraus kann die Position des Strahls im Arbeitsfeld ermittelt werden und mit der Soll-Position verglichen werden. Solche Vorrichtungen sind jedoch aufgrund der erreichbaren Ortsauflösung nicht geeignet, den Fokusdurchmesser oder ein Strahlprofil im Fokus des Laserstrahls zu messen.

[0008] Bei den in der DE 10 2007 053 632 A1 und der DE 10 2011 054 941 B3 gezeigten
20 Vorrichtungen wird ein Bruchteil des zu vermessenden Laserstrahls reflektiert und in das optische System, das den Laserstrahl aussendet, zurückgeworfen. Dabei wird der zurückreflektierte Strahl innerhalb des optischen Systems ausgekoppelt und von einem ortsauflösenden Sensor ausgewertet. Die Reflexion des Strahls erfolgt dabei beispielsweise an einer Grenzfläche des abbildenden optischen Systems, typischerweise an der letzten
25 Grenzfläche des Fokussier-Objektivs, oder an einem nachgeordneten Schutzglas. Nachteilig bei diesen Vorrichtungen ist, dass die Rück-Abbildung durch das Fokussier-Objektiv mit teilweise erheblichen Abbildungsfehlern belastet ist, da der rückreflektierte Strahl andere Dimensionen und Tailen-Lagen aufweist und die Korrektion des Fokussier-Objektivs nicht
30 Tailenlagen ausgelegt ist. Die aus dem Stand der Technik bekannten Systeme dieser Art sind daher nicht geeignet für eine präzise Strahlvermessung.

[0009] Die zweite Gruppe von Verfahren zur Bestimmung von Eigenschaften eines Laserstrahls ist gekennzeichnet durch eine räumlich-zeitliche Abtastung des Strahls in einer

raster-ähnlichen Bewegung. Diese Gruppe kann in zwei Untergruppen danach eingeteilt werden, ob der Strahl quasi-punktförmig abgetastet wird, oder ob durch die Art der Abtastung ein Signal generiert wird, welches bereits in einer Raumrichtung integrierte Informationen beinhaltet. Zur letzten Untergruppe gehören Vorrichtungen mit Abtastung durch Spalt- oder
5 Schlitzblenden und Schneiden.

[0010] Vorrichtungen mit quasi-punktförmig abtastenden Systemen, beispielsweise mittels einer Messblende oder einer Messnadel, deren Öffnung klein gegenüber dem Strahldurchmesser ist, sind beispielsweise aus der DE 199 09 595 A1 und der EP 0 461 730
10 A1 bekannt. Dabei wird der Detektor typischerweise in einer zeilenweise abtastenden Bewegung durch den Querschnitt des Strahls geführt. Dabei muss der Strahl in vielen Durchgängen mit zueinander geringfügig versetzten Zeilen abgetastet werden.

[0011] Bei Vorrichtungen zur Strahldiagnose in Remote-Laserbearbeitungsanlagen besteht
15 die Besonderheit, dass der Laserstrahl mittels einer Scanvorrichtung in typischerweise zwei Dimensionen ausgelenkt werden kann, damit der Strahl in einem flächigen oder manchmal auch dreidimensionalen Arbeitsraum frei positioniert werden kann. In diesem Fall ist es also auch möglich, dass der Abtaster ortsfest ist und der Strahl mittels der Scanvorrichtung über den Abtaster geführt wird.

20 [0012] Nach dem letztgenannten Prinzip funktioniert beispielsweise das in der DE 10 2005 038 587 A1 offenbarte Verfahren. Es wird dort ein Messsystem vorgeschlagen, bei dem mittels eines Ablenkensystems ein Laserstrahl in einem vorgebbaren Muster über eine Detektoranordnung verfahrbar ist. Ein ähnliches Verfahren nach diesem Prinzip zeigt die DE
25 10 2011 006 553 A1. Es wird dort ein Verfahren zum Ermitteln der Fokuslage oder des Strahlprofils eines Laserstrahls mittels einer Scanneroptik angegeben, bei dem an mehreren Messpunkten im Arbeitsraum des Laserstrahls eine Lochblende mit nachgeordnetem Detektor angeordnet ist. Dabei wird an jedem der Messpunkte für eine x-y-Fokuslagen- oder Strahlprofilvermessung der Laserstrahl mittels der Scanneroptik einem x-y-Raster über das
30 Messloch der Lochblende bewegt. Eine weitere, ähnliche Vorrichtung der vorgenannten Art ist in der US 6 501 061 B1 offenbart. Dabei wird der Laserstrahl über eine Apertur (Blende) gescannt und durch einen Vergleich der Scanner-Positions-Daten zum Zeitpunkt der Detektion des Laserstrahls kann der Scanner Positions-kalibriert werden.

[0013] Die Veröffentlichung Nr. KR 10 2013 0 121 413 A (Abstract) zeigt ebenfalls ein Kalibrations-System für einen Laserstrahl-Scanner. Dort wird eine Kalibrations-Platte offenbart, in welcher Licht-streuende Bereiche in mehreren Punkten ausgebildet sind. Das von den Licht-streuenden Bereichen der Kalibrations-Platte reflektierte Licht wird von einem
5 Licht-Sensor-Part empfangen, welcher an der Kalibrations-Platte angrenzend angeordnet ist. Die gezeigte Vorrichtung ist damit nicht geeignet zur Bestimmung eines Strahldurchmessers oder eines Strahlprofils des Laserstrahls. Weiterhin kann mit der gezeigten Vorrichtung auch nicht exakt diskriminiert werden, welcher der Licht-streuenden Punkte vom Laserstrahl getroffen wird.

10

[0014] Die Genauigkeit der quasi-punktförmig abtastenden Verfahren ist prinzipiell begrenzt, unter anderem durch die Größe der Messblende, die Genauigkeit der Führungsbewegung, der Synchronisation der einzelnen Zeilen, und nicht zuletzt durch die Reproduzierbarkeit bzw. die zeitliche Konstanz des Laserstrahls. Ein bewegter Laserstrahl kann mittels Verfahren dieser
15 Art daher nicht oder nur unter sehr speziellen Umständen vermessen werden. Zudem sind die Messblenden oder Messnadeln der bekannten Vorrichtungen auch nur für gewisse maximale Leistungsdichten geeignet und können bei hochbrillanter, fokussierter Laserstrahlung zerstört werden.

[0015] Eine Abtastung kann auch mit einem linienförmigen Abtaster erfolgen, beispielsweise mit einem Spalt, einer Schneide oder mit einer Schlitzblende. Bei linienförmiger Abtastung ist die Strahl-Intensität in einer Richtung bereits aufintegriert. Der Vorteil besteht darin, dass der Strahldurchmesser mit einem einzigen Abtast-Durchgang ermittelt werden kann. Die
25 Veröffentlichungen US 5 078 491 A und JP S62 - 2 4117 A (Abstract) offenbaren beispielhaft Vorrichtungen mit linienförmig abtastenden Systemen. Jedoch ist auch bei diesen aus dem Stand der Technik bekannten Vorrichtungen nachteilig, dass die Messblenden oder Schneiden und ebenso die dahinterliegenden Detektoren nur für gewisse maximale Leistungsdichten geeignet sind und bei hochbrillanter, fokussierter Laserstrahlung zerstört werden können, und auch die Vermessung bewegter Laserstrahlen ist nicht sinnvoll möglich.

30

[0016] Die Veröffentlichung Nr. WO 98/ 50 196 A1 offenbart eine Einrichtung zum Detektieren und Berechnen einer Fokus-Punkt-Position, einer Gestalt und einer Leistungsverteilung eines Laserstrahls nach einem Fokussier-Objektiv. Die beschriebene Einrichtung umfasst unter anderem einen Licht-beeinflussenden Körper und einen Licht-

Sensor. Der Laserstrahl und der Licht-beeinflussende Körper sind relativ zueinander bewegbar, um eine Verfolgungs-Bewegung durch den Laserstrahl durchzuführen. Die Licht-beeinflussenden Körper werden als optische Fasern beschrieben; als Alternativen werden reflektierende, z.B. Silber-haltige Körper, oder absorbierende Körper beschrieben. Somit sind

5 auch hier die gezeigten Ausführungsformen einerseits nicht für Laserstrahlung höchster Leistung und Brillanz geeignet, und andererseits ist die beschriebene Vorrichtung nicht zur Erzielung hoher örtlicher Auflösung geeignet, da die Offenbarung keinen Aufschluss gibt über eine exakt definierte Wechselwirkungs-Geometrie an oder in den Licht-beeinflussenden Körpern.

10

[0017] Aus der Veröffentlichung JP 2000 - 310 559 A (Abstract) ist eine Vorrichtung bekannt, bei der ein Strahl, der von einem Polygon-Scanner abgelenkt wird, über optische Gitter mit unterschiedlichen Orientierungen geführt wird. Das Licht, welches das Gitter passiert, wird mit einem photoelektrischen Konverter-Element aufgefangen und das erhaltene

15 Signal ist ein oszillierendes Signal, aus dessen Amplitude ein Strahldurchmesser bestimmt werden kann. Das gezeigte Verfahren ist somit nicht geeignet zur Bestimmung einer Strahlposition und eines Strahlprofils. Auch ist die Verwendung mit Laserstrahlung hoher Leistung begrenzt durch die Leistungsverträglichkeit der eingesetzten Gitter und des photoelektrischen Konverter-Elements.

20

[0018] Die aus dem Stand der Technik bekannten Vorrichtungen mit Linien- oder Schneiden-Abtastung weisen demnach ebenfalls die bereits bekannten Nachteile auf: Die Leistungsverträglichkeit ist begrenzt; die eingesetzten Schneiden, Schlitzblenden oder sonstigen linienförmig detektierenden Elemente können durch einen fokussierten,

25 hochbrillanten Laserstrahl hoher Leistung zerstört werden. Bei der Mehrzahl der bekannten Verfahren können zudem nur Strahl-Abmessungen in der Abtast-Richtung ermittelt werden. Im allgemeinen ist die erreichbare örtliche Auflösung begrenzt, insbesondere bei Abtast-Systemen, die für höhere Leistung geeignet sein sollen. Bei vielen Verfahren ist eine Ermittlung eines Strahlprofils nicht oder nur mit geringer Auflösung möglich. Die

30 Bestimmung einer seitlichen Position des Laserstrahls in einem Arbeitsfeld ist ebenfalls meist nicht möglich. Weiterhin ist die Vermessung eines bewegten Laserstrahls nicht oder nur in speziellen Fällen mit vorgegebener Strahlsteuerung möglich.

[0019] Die aus dem Stand der Technik bekannten Vorrichtungen und Verfahren weisen demnach erhebliche Nachteile auf sowohl im Hinblick auf die erreichbare Genauigkeit und Ortsauflösung, als auch bezüglich der Verträglichkeit mit Laserstrahlen hoher Leistung, und schließlich auch im Hinblick auf die Vermessung von Laserstrahlung in ausgedehnten Arbeitsbereichen oder bei bewegten Laserstrahlen.

KURZE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0020] Der Erfindung liegt somit die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Bestimmung von Eigenschaften eines Laserstrahls zu schaffen, die für die Vermessung von Laserstrahlung mit höchster Leistung und Brillanz geeignet sind und eine genaue Bestimmung mindestens eines geometrischen Strahl-Parameters wie beispielsweise eines Strahl-Durchmessers oder eines Strahl-Profiles ermöglichen, und welche auch in einem ausgedehnten Arbeitsbereich des Laserstrahls oder mit bewegten Laserstrahlen verwendet werden können.

15

[0021] Zur Lösung der Aufgabe wird eine Vorrichtung zur Bestimmung von Eigenschaften eines Laserstrahls vorgeschlagen, welche eine Einrichtung zur Aussendung eines Laserstrahls in einen Wirk-Bereich, eine Detektor-Anordnung, die im Wirk-Bereich positionierbar ist, eine Einrichtung zur Bereitstellung einer Relativbewegung zwischen dem Laserstrahl und der Detektor-Anordnung, und eine Einrichtung zur Registrierung und Auswertung eines zeitlich veränderlichen Signals von der Detektor-Anordnung umfasst. Dabei beinhaltet die Detektor-Anordnung mindestens einen Lichtleiter, mindestens zwei lichtstreuende Strukturen, und mindestens einen lichtempfindlichen Sensor. Der mindestens eine Lichtleiter hat eine Lichtaustrittsfläche und einen lichtleitenden Bereich, wobei der lichtleitende Bereich eine längliche Form aufweist. Die mindestens zwei lichtstreuenden Strukturen umfassen eine erste lichtstreuende Struktur und eine zweite lichtstreuende Struktur. Dabei ist die erste lichtstreuende Struktur im wesentlichen längs einer ersten Richtung ausgedehnt, und ist die zweite lichtstreuende Struktur im wesentlichen längs einer zweiten Richtung ausgedehnt. Die erste Richtung und die zweite Richtung schließen einen von Null verschiedenen Winkel ein. Der mindestens eine lichtempfindliche Sensor ist zum Empfang von Strahlung ausgebildet, die von der Lichtaustrittsfläche des Lichtleiters abgegeben wird. Weiterhin sind die mindestens zwei lichtstreuenden Strukturen ausgebildet, einen Teil des auf die lichtstreuenden Strukturen auftreffenden Laserstrahls in einen Winkelbereich zu streuen, der zum Transport

von gestreuter Laserstrahlung im lichtleitenden Bereich des Lichtleiters zur Lichtaustrittsfläche geeignet ist.

[0022] Es ist in einer Ausführungsform der Erfindung vorgesehen, dass die Einrichtung zur
5 Bereitstellung einer Relativbewegung ausgebildet ist, einen Querschnitt des Laserstrahls
mittels der Detektor-Anordnung abzutasten.

[0023] Die Einrichtung zur Bereitstellung einer Relativbewegung kann auch ausgebildet sein,
einen Querschnitt des Laserstrahls mittels der Detektor-Anordnung in zwei unterschiedlichen
10 Richtungen abzutasten.

[0024] In einer Ausführungsform der Erfindung kann die Relativbewegung im wesentlichen
eine Kreisbewegung oder eine elliptische Bewegung sein.

15 [0025] Die Relativbewegung kann auch im wesentlichen eine Rotationsbewegung sein.

[0026] Es ist in einer weiteren Ausführungsform vorgesehen, dass die Relativbewegung eine
erste und eine zweite Komponente umfasst und die erste Komponente eine zumindest
teilweise periodische schnelle Bewegung ist und die andere Komponente eine langsame
20 Bewegung in einer von der Bewegungsrichtung der ersten Komponente linear unabhängigen
Richtung ist.

[0027] In einer möglichen Ausführungsform der Erfindung sind sowohl die in der ersten
Richtung ausgedehnte erste lichtleitende Struktur als auch die in der zweiten Richtung
25 ausgedehnte zweite lichtleitende Struktur Bestandteile des mindestens einen Lichtleiters.

[0028] In einer weiteren Ausführungsform umfasst die Detektor-Anordnung mindestens zwei
Lichtleiter. Dabei ist die in der ersten Richtung ausgedehnte erste lichtleitende Struktur
Bestandteil eines ersten der mindestens zwei Lichtleiter und die in der zweiten Richtung
30 ausgedehnte zweite lichtleitende Struktur ist Bestandteil eines zweiten der mindestens zwei
Lichtleiter.

[0029] Der mindestens eine Lichtleiter kann aus einem transparenten optischen Material mit
sehr geringer Absorption bestehen.

[0030] Es ist in einer Ausführungsform der Erfindung vorgesehen, dass das transparente optische Material des Lichtleiters eine für die Wellenlänge der Laserstrahlung spezifische Absorption von weniger als 300 ppm/cm aufweist.

5

[0031] In einer möglichen Ausführungsform der Erfindung kann die Einrichtung zur Bereitstellung einer Relativbewegung eine Einrichtung zur Bewegung der Detektor-Anordnung beinhalten.

10 [0032] Die Einrichtung zur Bereitstellung einer Relativbewegung kann auch eine Einrichtung zur Bewegung des Laserstrahls beinhalten.

[0033] Es ist in einer weiteren Ausführungsform vorgesehen, dass die Einrichtung zur Bewegung des Laserstrahls eine Scanner-Optik umfasst.

15

[0034] Zur Lösung der Aufgabe wird auch ein Verfahren zur Bestimmung von Eigenschaften eines Laserstrahls vorgeschlagen, welches die folgenden Verfahrensschritte umfasst. Ein Laserstrahl wird in einen Wirk-Bereich ausgesendet. Eine Detektor-Anordnung wird im Wirk-Bereich positioniert. Dabei beinhaltet die Detektor-Anordnung mindestens einen
20 Lichtleiter, mindestens einen lichtempfindlichen Sensor und mindestens zwei lichtstreuende Strukturen, und eine erste lichtstreuende Struktur der mindestens zwei lichtstreuenden Strukturen ist im wesentlichen längs einer ersten Richtung ausgedehnt und eine zweite lichtstreuende Struktur der mindestens zwei lichtstreuenden Strukturen ist im wesentlichen längs einer zweiten Richtung ausgedehnt. Die erste Richtung und die zweite Richtung
25 schließen einen von Null verschiedenen Winkel ein. Es wird eine Relativbewegung zwischen dem Laserstrahl und der Detektor-Anordnung bereitgestellt. Streustrahlung wird mittels der lichtstreuenden Strukturen aus einem Teil des Laserstrahls erzeugt. Ein Teil der Streustrahlung wird in einem lichtleitenden Bereich des mindestens einen Lichtleiters zu einer Lichtaustrittsfläche des mindestens einen Lichtleiters transportiert. Strahlung, die von der
30 Lichtaustrittsfläche abgegeben wird, wird mittels eines lichtempfindlichen Sensors empfangen, und aus der empfangenen Strahlung wird ein zeitlich veränderliches Signal erzeugt. Schließlich wird das zeitlich veränderliche Signal registriert und ausgewertet.

[0035] In einer Ausführungsform des Verfahrens ist weiterhin ein Abtasten eines Querschnitts des Laserstrahls mittels der Detektor-Anordnung vorgesehen.

5 [0036] Es ist in einer weiteren Ausführungsform der Erfindung auch vorgesehen, dass ein Querschnitt des Laserstrahls mittels der Detektor-Anordnung in zwei unterschiedlichen Richtungen abgetastet wird.

[0037] Der Laserstrahl kann relativ zur Detektor-Anordnung in einer kreisförmigen oder ellipsenförmigen Bahn bewegt werden.

10

[0038] In einer weiteren Ausführungsform des Verfahrens kann die Detektor-Anordnung relativ zum Laserstrahl rotierend bewegt werden.

15 [0039] Es ist in einer weiteren Ausführungsform der Erfindung vorgesehen, dass der Laserstrahl relativ zur Detektor-Anordnung in einer Bewegung mit einer ersten Komponente und mit einer zweiten Komponente bewegt wird. Dabei ist die erste Komponente eine zumindest teilweise periodische schnelle Bewegung und die zweite Komponente ist eine langsame Bewegung in einer von der Bewegungsrichtung der ersten Komponente linear unabhängigen Richtung.

20

KURZE BESCHREIBUNG DER FIGUREN

[0040] Die Erfindung wird anhand der folgenden Figuren näher dargestellt, ohne auf die gezeigten Ausführungsformen beschränkt zu sein. Es zeigt:

25 [0041] Figur 1: Eine schematische Darstellung der Erfindung in einer grundlegenden Ausführungsform.

[0042] Figur 2: Eine erste mögliche Ausführungsform der Detektor-Anordnung der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit einem Lichtleiter und zwei lichtstreuenden
30 Strukturen.

[0043] Figur 3: Eine zweite mögliche Ausführungsform der Detektor-Anordnung mit einem Lichtleiter und zwei lichtstreuenden Strukturen.

- [0044] Figur 4: Eine dritte mögliche Ausführungsform der Detektor-Anordnung der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit zwei Lichtleitern, die jeweils eine lichtstreuende Struktur beinhalten.
- 5 [0045] Figur 5: Eine vierte mögliche Ausführungsform der Detektor-Anordnung mit zwei Lichtleitern, die jeweils eine lichtstreuende Struktur beinhalten.
- [0046] Figur 6: Eine weitere mögliche Ausführungsform der Detektor-Anordnung der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit drei Lichtleitern, die jeweils eine
10 lichtstreuende Struktur beinhalten und bei der einer der Lichtleiter in einer anderen Ebene angeordnet ist.
- [0047] Figur 7: Eine weitere mögliche Ausführungsform der Detektor-Anordnung der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit zwei Lichtleitern in gekreuzter Anordnung.
15
- [0048] Figur 8: Noch eine weitere mögliche Ausführungsform der Detektor-Anordnung der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit vier Lichtleitern in gekreuzter Anordnung.
- 20 [0049] Figur 9: Ein Lichtleiter mit mehreren lichtstreuenden Strukturen, die in unterschiedlichen Ebenen angeordnet sind, als Teil der Detektor-Anordnung der erfindungsgemäßen Vorrichtung.
- [0050] Figur 10: Eine weitere Ausführungsform eines Lichtleiters mit mehreren
25 lichtstreuenden Strukturen als Teil der Detektor-Anordnung der erfindungsgemäßen Vorrichtung.
- [0051] Figur 11: Eine schematische perspektivische Darstellung der Streuung eines Teils
30 des Laserstrahls durch die lichtstreuende Struktur und des Transports der Streustrahlung im lichtleitenden Bereich des Lichtleiters zum lichtempfindlichen Sensor.
- [0052] Figur 12: Eine schematische Querschnitts-Darstellung der Streuung eines Teils des Laserstrahls durch die lichtstreuende Struktur, des Transports der

Streustrahlung im lichtleitenden Bereich des Lichtleiters zum lichtempfindlichen Sensor, und einer Abdeckung des lichtempfindlichen Sensors. Die lichtstreuende Struktur ist in diesem Ausführungsbeispiel in der Mitte des Lichtleiters angeordnet.

5

[0053] Figur 13: Eine schematische Darstellung der Erfindung in einer Ausführungsform mit einer Scanner-Optik, bei welcher der Laserstrahl mittels Scanner-Spiegel in einem Wirk-Bereich positioniert und entlang einer Bahnkurve geführt werden kann.

10

[0054] Figur 14: Eine schematische Darstellung der Erfindung in einer Ausführungsform, bei welcher die Detektor-Anordnung in einer Rotations-Bewegung gegenüber dem Laserstrahl bewegt werden kann.

15

[0055] Figur 15: Eine Darstellung des zeitlichen Signal-Verlaufs bei der Führung eines Laserstrahls über die lichtstreuenden Strukturen, die in diesem Beispiel schmal sind im Verhältnis zum Querschnitt des Laserstrahls.

20

[0056] Figur 16: Eine Darstellung des zeitlichen Signal-Verlaufs bei der Führung eines Laserstrahls über die lichtstreuenden Strukturen, wobei in diesem Beispiel eine der Strukturen breit und eine andere der Strukturen schmal ist im Verhältnis zum Querschnitt des Laserstrahls.

25

[0057] Figur 17: Ein Beispiel, wie mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung die Strahl-Abmessungen und/oder die Strahlprofile eines Laserstrahls in zwei Raumrichtungen mit nur einer einzelnen Abtast-Bewegung bestimmt werden können.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG DER FIGUREN

30

[0058] Figur 1 zeigt eine schematische Darstellung der Erfindung in einer grundlegenden Ausführungsform. Ein Laserstrahl 10 wird von einer Einrichtung 70 zur Aussendung eines Laserstrahls in einen Wirk-Bereich 17 abgestrahlt. In der gezeigten Ausführungsform beinhaltet die Einrichtung 70 zur Aussendung des Laserstrahls ein optisches System 72 mit einer optischen Achse 74. Der Laserstrahl 10 wird vom optischen System 72 abgebildet, so

dass der von der Einrichtung 70 ausgesandte Strahl einen fokussierten Laserstrahl 11 bildet, der im Wirk-Bereich 17 einen Laserstrahl-Fokus 12 ausbildet. Im Wirk-Bereich 17 ist eine Detektor-Anordnung 20 positioniert, die einen Lichtleiter 33 mit einem lichtleitenden Bereich 36 und mit einer Lichtaustrittsfläche 39, einen lichtempfindlichen Sensor 40 und zwei
5 lichtstreuende Strukturen 30 beinhaltet. Das vom lichtempfindlichen Sensor 40 erzeugte Signal wird von einer Einrichtung 50 zur Signal-Registrierung empfangen. Die Vorrichtung beinhaltet ferner eine Einrichtung 80 zur Bereitstellung einer Relativbewegung zwischen dem Laserstrahl 10 oder 11 und der Detektor-Anordnung 20. Die Relativbewegung wird in der in
Figur 1 gezeigten Ausführungsform angedeutet durch eine Bewegungsrichtung 85 des
10 Laserstrahls.

[0059] In Figur 2 ist eine erste mögliche Ausführungsform der Detektor-Anordnung 20 der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit einem Lichtleiter 33 und zwei lichtstreuenden Strukturen 31, 32 dargestellt. In dieser Ausführungsform beinhaltet die Detektor-Anordnung 20 einen
15 Lichtleiter 33 und einen lichtempfindlichen Sensor 40. Der Lichtleiter kann beispielsweise eine längliche, quaderförmige Gestalt haben. Eine der Außenflächen des Lichtleiters 33 ist als Lichtaustrittsfläche 39 ausgebildet. Eine der Lichtaustrittsfläche 39 gegenüberliegende Außenfläche des Lichtleiters 33 bildet eine Endfläche 38. Die Lichtaustrittsfläche 39 und die
Endfläche 38 begrenzen vorzugsweise die längste Ausdehnung des Lichtleiters 33. Das
20 zwischen der Lichtaustrittsfläche 39 und der Endfläche 38 befindliche Volumen des Lichtleiters 33 bildet den lichtleitenden Bereich 36. Im Ausführungsbeispiel nach Figur 2 befinden sich an einer der länglichen Außenflächen des Lichtleiters zwei lichtstreuende
Strukturen 30. Davon ist eine die erste lichtstreuende Struktur 31, die im wesentlichen längs einer ersten Richtung ausgedehnt ist, und die andere ist die zweite lichtstreuende Struktur 32,
25 die im wesentlichen längs einer zweiten Richtung ausgedehnt ist. Die erste Richtung und die zweite Richtung schließen einen kleinen Winkel ein. Die lichtstreuenden Strukturen 30 (bzw. 31 und 32) sind beispielsweise als lokale Bereiche, die eine Mikro-Rauigkeit aufweisen, auf der ansonsten polierten Außenfläche des Lichtleiters 33 ausgebildet. Der lichtempfindliche
Sensor 40 ist angrenzend an die Lichtaustrittsfläche 39 angeordnet und empfängt die von der
30 Lichtaustrittsfläche 39 abgegebene Strahlung.

[0060] Figur 3 zeigt eine zweite mögliche Ausführungsform der Detektor-Anordnung 20 der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit einem Lichtleiter 33 und zwei lichtstreuenden Strukturen 31, 32. In dieser Ausführungsform sind die Lichtaustrittsfläche 39 und die Endfläche 38

unterschiedlich groß ausgeführt, so dass zumindest eine der länglichen Außenflächen des Lichtleiters 33 trapez-förmig zuläuft und zwei nicht-parallele Kanten aufweist. Die lichtstreuenden Strukturen 31 und 32 werden in dieser Ausführungsform durch zwei nicht-parallele Kanten des Lichtleiters 33 gebildet. Zur Erzielung einer definierten lichtstreuenden Wirkung können die Kanten beispielsweise mit einer kleinen aufgerauten Fase versehen sein. Die lichtstreuende Wirkung kann aber auch einfach durch die winzigen Inhomogenitäten der Kanten vorgegeben sein, welche die Kanten aufgrund des Polierprozesses der Außenflächen des Lichtleiters 33 herstellungsbedingt aufweisen. Ansonsten ist die Detektor-Anordnung 20 nach Figur 3 ähnlich wie die in Figur 2 gezeigte Detektor-Anordnung ausgeführt.

10

[0061] Es ist weiterhin vorgesehen, dass die Detektor-Anordnung 20 mehrere Lichtleiter 33 umfassen kann. Dazu zeigt Figur 4 eine mögliche Ausführungsform der Detektor-Anordnung 20 mit zwei Lichtleitern 33. In diesem Ausführungsbeispiel sind die Lichtleiter 33 als zylindrische Stäbe oder Fasern ausgeführt. Jede der beiden Stäbe beinhaltet eine lichtstreuende Struktur 30. Einer der beiden Lichtleiter 33 beinhaltet die erste lichtstreuende Struktur 31, die im wesentlichen längs einer ersten Richtung ausgedehnt ist, und der andere der beiden Lichtleiter 33 beinhaltet die zweite lichtstreuende Struktur 32, die im wesentlichen längs einer zweiten Richtung ausgedehnt ist. Die beiden Lichtleiter sind nicht parallel angeordnet, sondern schließen einen kleinen Winkel ein. Damit schließen auch die beiden lichtstreuenden Strukturen 31 und 32 einen kleinen Winkel ein. An den Lichtaustrittsflächen 39 beider Lichtleiter 33 ist jeweils ein lichtempfindlicher Sensor 40 angeordnet. Die beiden Lichtleiter 33 können so angeordnet sein, dass die lichtstreuenden Strukturen 31 und 32 sich in der gleichen Ebene befinden.

25 [0062] In Figur 5 ist eine weitere mögliche Ausführungsform der Detektor-Anordnung 20 der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit mehreren Lichtleitern 33 dargestellt. Diese Ausführungsform unterscheidet sich von der in Figur 4 gezeigten Ausführungsform durch eine andere Anordnung der Lichtleiter 33. Die beiden Lichtleiter 33 sind hier in T-Form mit einem Winkel von etwa 90° zueinander angeordnet. Damit schließen die beiden lichtstreuenden Strukturen 31 und 32 ebenfalls einen Winkel von etwa 90° ein. Die sonstigen Merkmale dieser Ausführungsform sind vergleichbar zu denen der Figur 4 ausgeführt.

30

[0063] Die in der Figur 6 gezeigte Ausführungsform der Detektor-Anordnung 20 umfasst die gleichen Elemente wie die in der Figur 5 dargestellte Ausführungsform sowie zusätzlich einen

dritten Lichtleiter 33 und einen dritten lichtempfindlichen Sensor 40. Der dritte Lichtleiter 33 weist ebenfalls eine lichtstreuende Struktur 30 auf, ist aber in einer anderen Ebene angeordnet als die beiden Lichtleiter 33 mit der ersten lichtstreuenden Struktur 31 und der zweiten lichtstreuenden Struktur 32. Damit kann der Strahldurchmesser eines Laserstrahls 10, 11 in
5 zwei verschiedenen Querschnitts-Ebenen mit nur einem Abtast-Vorgang ermittelt werden.

[0064] Figur 7 zeigt eine weitere Ausführungsform der Detektor-Anordnung 20 mit zwei Lichtleitern 33 und zwei lichtempfindlichen Sensoren 40. Die beiden Lichtleiter 33 sind hier übereinander gekreuzt mit einem Winkel von etwa 90° zueinander angeordnet. Einer der
10 beiden Lichtleiter 33 beinhaltet die erste lichtstreuende Struktur 31, und der andere der beiden Lichtleiter 33 beinhaltet die zweite lichtstreuende Struktur 32. Damit schließen die beiden lichtstreuenden Strukturen 31 und 32 einen Winkel von etwa 90° ein. Die erste lichtstreuende Struktur 31 ist an der Unterseite des oben liegenden der beiden Lichtleiter 33 angeordnet, während die zweite lichtstreuende Struktur 32 an der Oberseite des unten liegenden der
15 beiden Lichtleiter 33 angeordnet ist. Auf diese Weise können die beiden lichtstreuenden Strukturen 31 und 32 mit einem sehr geringen Höhenversatz angeordnet werden. Die beiden Lichtleiter 33 sind hier Quader-förmig bzw. als Stäbe mit einem rechteckigen Querschnitt ausgeführt. Das hat den Vorteil, dass der Laserstrahl bei Durchstrahlen insbesondere des oberen Lichtleiters 33 nicht in seiner Geometrie verändert wird, bevor er auf eine der
20 lichtstreuenden Strukturen 31, 32 trifft.

[0065] In Figur 8 ist eine ähnliche Detektor-Anordnung 20 wie in Figur 7 dargestellt. Hierbei umfasst die Detektor-Anordnung 20 vier Lichtleiter 33 und vier lichtempfindliche Sensoren 40. Jeder der vier Lichtleiter 33 weist eine lichtstreuende Struktur 30 auf. Jeweils zwei der
25 vier Lichtleiter 33 sind nebeneinander angeordnet. Zwei nebeneinander angeordnete Lichtleiter 33 sind mit den anderen zwei nebeneinander angeordneten Lichtleitern 33 in übereinander gekreuzter Stellung angeordnet. Die jeweils zwei nebeneinander angeordneten Lichtleiter 33 können parallel zueinander angeordnet sein oder einen kleinen Winkel einschließen.

30

[0066] Figur 9 zeigt eine mögliche Ausführungsform eines einzelnen Lichtleiters 33 aus einer Detektor-Anordnung 20 mit mehreren Lichtleitern 33. Der Lichtleiter 33 ist hier als zylindrischer Stab oder als Faser ausgeführt und weist mehrere lichtstreuende Strukturen 30 auf, die im wesentlichen parallel zueinander angeordnet sind. In diesem Beispiel sind drei

lichtstreuende Strukturen 30 auf dem Umfang der zylindrischen Außenfläche des Lichtleiters 33 verteilt und liegen dadurch in verschiedenen Ebenen. Eine der lichtstreuenden Strukturen 30 kann die erste lichtstreuende Struktur 31 sein, die dann mit der zweiten lichtstreuenden Struktur 32 eines weiteren, in dieser Figur nicht gezeigten Lichtleiters einen von Null
5 verschiedenen Winkel einschließt. Damit kann der Strahldurchmesser eines Laserstrahls 10, 11 in mehreren verschiedenen Querschnitts-Ebenen mit nur einem Abtast-Vorgang ermittelt werden.

[0067] In Figur 10 ist eine weitere mögliche Ausführungsform eines einzelnen Lichtleiters 33
10 aus einer Detektor-Anordnung 20 mit mehreren Lichtleitern 33 dargestellt. Der Lichtleiter 33 ist hier als rechteckiger Stab ausgeführt und weist auf einer Außenfläche des Lichtleiters 33 mehrere lichtstreuende Strukturen 30 auf, die im wesentlichen parallel zueinander angeordnet sind. Die Außenfläche, auf der sich die lichtstreuenden Strukturen befinden, kann zur Abtast-
Ebene, die durch die Relativ-Bewegung zwischen Laserstrahl und Detektor-Anordnung
15 vorgegeben ist, geneigt sein. Damit kann der Strahldurchmesser eines Laserstrahls 10, 11 in mehreren verschiedenen Querschnitts-Ebenen mit nur einem Abtast-Vorgang ermittelt werden.

[0068] Figur 11 zeigt schematisch die Funktionsweise der Abtastung des Laserstrahls 10, 11
20 durch die Detektor-Anordnung 20. In Figur 11 ist nur ein Teil der Detektor-Anordnung 20 mit nur einer lichtstreuenden Struktur 30 dargestellt. Der Laserstrahl ist in diesem Beispiel ein fokussierter Laserstrahl 11 mit einer optischen Achse 74, die durch ein optisches System 72 (nicht dargestellt) vorgegeben werden. Der Laserstrahl wird entlang einer Bewegungsrichtung
85 über die Detektor-Anordnung 20 geführt (von der hier nur ein Teil dargestellt ist). Sobald
25 zumindest ein Teil des Laserstrahls 11 auf die lichtstreuende Struktur 30 des Lichtleiters 33 trifft, wird die Strahlung an der lichtstreuenden Struktur 30 gestreut, d.h. es wird eine Streustrahlung 18 erzeugt, die in einen großen Winkelbereich abgestrahlt wird. Dabei gibt es auch einen Anteil an Streustrahlung 18, der in den lichtleitenden Bereich 36 in einen
Winkelbereich gestreut wird, bei dem die Strahlung durch Totalreflexion an der Außenfläche
30 bzw. der Grenzfläche des Lichtleiters 33 reflektiert wird und deshalb innerhalb des Lichtleiters 33 transportiert wird, bis die Streustrahlung 18 auf die Lichtaustrittsfläche 39 trifft und dort den Lichtleiter verlassen kann. Zumindest ein Teil der Streustrahlung 18, die von der Lichtaustrittsfläche 39 abgegeben wird, trifft dann auf den lichtempfindlichen Sensor
40. Die Endfläche 38 des Lichtleiters 33 ist in diesem Ausführungsbeispiel mit einer

reflektierenden Beschichtung versehen. Daher wird Streustrahlung 18, die im lichtleitenden Bereich 36 in Richtung der Endfläche 38 transportiert wird, an der Endfläche 38 reflektiert, im lichtleitenden Bereich 36 zur Lichtaustrittsfläche 39 transportiert und kann dort den Lichtleiter 33 in Richtung zum lichtempfindlichen Sensor hin verlassen.

5

[0069] In Figur 12 ist ebenfalls die Funktionsweise der Abtastung des Laserstrahls 10, 11 durch die Detektor-Anordnung 20 schematisch dargestellt. Die Darstellung zeigt hier den Lichtleiter 33 in einem Querschnitt längs des Lichtleiters. Die lichtstreuende Struktur 30 befindet sich in diesem Ausführungsbeispiel in der Mitte des lichtleitenden Bereichs 36 des Lichtleiters 33. Zusätzlich ist in diesem Ausführungsbeispiel eine Abdeckung 42 dargestellt. Die Abdeckung 42 umschließt den lichtempfindlichen Sensor 40 und die Lichtaustrittsfläche 39 des Lichtleiters 33. Dadurch wird der lichtempfindliche Sensor 40 von Restlicht, das von außen in die Vorrichtung dringen kann, abgeschirmt, und der lichtempfindliche Sensor 40 kann nur die von der lichtstreuenden Struktur 30 erzeugte Streustrahlung 18 empfangen.

15

[0070] Figur 13 zeigt eine mögliche Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung in einer schematischen Darstellung. Ein Laserstrahl 10 wird einer Scanner-Optik zugeführt, welche eine Einrichtung 83 zur Bewegung des Laserstrahls und eine Einrichtung 70 zur Aussendung des Laserstrahls beinhaltet. Die Einrichtung 83 zur Bewegung des Laserstrahls ist ausgeführt als Scanner-Spiegel 84. Zur Vereinfachung der Darstellung ist nur ein Scanner-Spiegel 84 dargestellt, es können aber auch zwei Scanner-Spiegel 84 nacheinander angeordnet sein. Mittels der Scanner-Spiegel 84 wird der Laserstrahl 10 um einen verstellbaren Winkel umgelenkt und kann so in einem Wirk-Bereich 17 frei wählbar positioniert und in Bewegungsrichtungen 85 entlang einer Bahnkurve geführt werden. Die Einrichtung 70 zur Aussendung des Laserstrahls umfasst ein optisches System 72 mit einer optischen Achse 74 und ein Schutzglas 73. Das optische System 72 kann hier eine Planfeld-Optik oder ein sogenanntes f-theta-Objektiv sein, und erzeugt einen fokussierten Laserstrahl 11 mit einem Laserstrahl-Fokus 12 im Wirk-Bereich 17. Im Wirk-Bereich 17 ist die Detektor-Anordnung 20 positionierbar. Im gezeigten Ausführungsbeispiel umfasst die Detektor-Anordnung 20 insgesamt sechzehn Lichtleiter 33 und lichtempfindliche Sensoren 40, die in Gruppen zu je vier Lichtleiter 33 und lichtempfindliche Sensoren 40 in unterschiedlichen Orientierungen über den Wirk-Bereich 17 verteilt sind. Jeder Lichtleiter weist eine lichtstreuende Struktur 30 auf, wobei zwei der Lichtleiter 33, die in verschiedenen Orientierungen angeordnet sind, die erste lichtstreuende Struktur 31 und die zweite lichtstreuende Struktur 32 beinhalten.

[0071] Figur 14 zeigt eine weitere mögliche Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung in einer schematischen Darstellung. Die Ausführungsform unterscheidet sich in der Detektor-Anordnung von der in Figur 13 gezeigten Ausführungsform und ist ansonsten vergleichbar mit der Ausführungsform nach Figur 13. Die Detektor-Anordnung 20 entspricht in dieser Ausführungsform im wesentlichen der in Figur 2 dargestellten Detektor-Anordnung 20. Die Detektor-Anordnung 20 umfasst hier einen Lichtleiter 33 mit der ersten lichtstreuenden Struktur 31 und der zweiten lichtstreuenden Struktur 32, wobei die lichtstreuenden Strukturen 31 und 32 einen kleinen Winkel einschließen, und einen lichtempfindlichen Sensor 40. Die Detektor-Anordnung 20 ist positionierbar im Wirk-Bereich 17. Die Detektor-Anordnung 20 ist in dieser Ausführungsform weiterhin mit einer Einrichtung 87 zur Bewegung der Detektor-Anordnung gekoppelt. Mittels der Einrichtung 87 zur Bewegung der Detektor-Anordnung kann die Detektor-Anordnung 20 um eine Achse rotiert werden, so dass die Detektor-Anordnung 20 mittels einer Bewegung in einer Bewegungsrichtung 89 zumindest einen großen Teil des Wirk-Bereichs 17 überstreichen kann, und somit ein in diesem Bereich positionierter Laserstrahl 11 abgetastet werden kann. Darüber hinaus ist es ebenfalls möglich, die Detektor-Anordnung 20 mittels der Einrichtung 87 zur Bewegung der Detektor-Anordnung in einer oder mehreren Stellungen im Wirk-Bereich 17 zu positionieren und den Laserstrahl mittels der Einrichtung 83 zur Bewegung des Laserstrahls über die Detektor-Anordnung 20 zu führen.

[0072] In Figur 15 ist ein zeitlicher Signal-Verlauf bei der Führung eines Laserstrahls 10, 11 über die lichtstreuenden Strukturen 31, 32 schematisch dargestellt. Die Detektor-Anordnung 20 entspricht beispielsweise der in Figur 2 dargestellten Detektor-Anordnung 20 und umfasst einen Lichtleiter 33 mit der ersten lichtstreuenden Struktur 31 und der zweiten lichtstreuenden Struktur 32, wobei die lichtstreuenden Strukturen 31 und 32 einen kleinen Winkel einschließen, und einen lichtempfindlichen Sensor 40. Die lichtstreuenden Strukturen 31 und 32 sind schmal im Verhältnis zum Querschnitt 14 des Laserstrahls bzw. zum Durchmesser des Laserstrahls 10, 11. Die Figur 15 zeigt mit vier Ausschnitt-Darstellungen das Führen des Laserstrahls über die lichtstreuenden Strukturen zu vier verschiedenen Zeitpunkten und einen zugehörigen Signal-Verlauf. Der Signal-Verlauf beschreibt die am lichtempfindlichen Sensor 40 registrierte Intensität (Symbol I) der Streustrahlung in Abhängigkeit der Zeit (Symbol t), während der Laserstrahl 10, 11 mit der Bewegungsrichtung 85 über den Lichtleiter 33 geführt wird. Sobald der Rand des Querschnitts 14 des Laserstrahls 10, 11 die erste lichtstreuende

Struktur 31 erreicht (Zeitpunkt t_{1A}), steigt das Signal I rasch an. Das Signal I erreicht einen Maximalwert, wenn der Strahl-Querschnitt 14 die lichtstreuende Struktur 31 mittig bestrahlt (zweiter Ausschnitt von links in Figur 15). Danach sinkt das Signal I wieder ab und erreicht den Minimalwert, wenn der Rand des Strahl-Querschnitts 14 gerade die erste lichtstreuende Struktur 31 verlässt (Zeitpunkt t_{1B}). Dieser Signal-Verlauf wiederholt sich kurz danach, wenn der Rand des Strahl-Querschnitts 14 die zweite lichtstreuende Struktur 32 erreicht (Zeitpunkt t_{2A}). Das Signal I steigt erneut an, erreicht einen Maximalwert, und sinkt wieder auf den Minimalwert, wenn der Rand des Strahl-Querschnitts 14 die zweite lichtstreuende Struktur 31 verlässt (Zeitpunkt t_{2B}). Somit repräsentiert das Zeitintervall Δt_{AB} zwischen den Zeitpunkten t_{1A} und t_{1B} oder zwischen den Zeitpunkten t_{2A} und t_{2B} den Durchmesser des Querschnitts 14 bzw. des Laserstrahls 10, 11. Der Durchmesser kann aus dem Zeitintervall Δt_{AB} und der Abtast-Geschwindigkeit berechnet werden. Das Zeitintervall Δt_{12} zwischen den Zeitpunkten t_{1A} und t_{2A} ist hingegen abhängig von der Position, wo der Laserstrahl 10, 11 die beiden lichtstreuenden Strukturen 31 und 32 quert. Damit kann aus dem Zeitintervall Δt_{12} die Position des Laserstrahls 10, 11 ermittelt werden.

[0073] Figur 16 zeigt ein weiteres Beispiel für einen Signal-Verlauf bei der Führung eines Laserstrahls 10, 11 über die lichtstreuenden Strukturen 31, 32. Im Unterschied zum Beispiel in der Figur 15 ist hier die lichtstreuende Struktur 31 breiter als der Querschnitt 14 des Laserstrahls 10, 11. Es ergibt sich dann ein anderer Signal-Verlauf, der auf andere Weise ausgewertet werden kann. Das Signal I steigt an, sobald der Rand des Strahl-Querschnitts 14 die erste (bzw. vordere) Kante der ersten lichtstreuenden Struktur 31 erreicht (Zeitpunkt t_{1A}). Das Signal I steigt hier weiter an, und erreicht erst dann einen Maximalwert, wenn der Laserstrahl 10, 11 gerade mit seinem ganzen Querschnitt 14 vollständig auf die erste lichtstreuende Struktur 31 trifft (Zeitpunkt t_{1B}). Das Signal I verharrt solange auf dem Maximalwert, bis der Rand des Strahl-Querschnitts 14 die zweite (bzw. hintere) Kante der ersten lichtstreuenden Struktur 31 erreicht (Zeitpunkt t_{1C}). Während der Strahl-Querschnitt 14 die erste lichtstreuende Struktur 31 verlässt und über die zweite (hintere) Kante der ersten lichtstreuenden Struktur 31 läuft, sinkt das Signal I wieder ab und erreicht den Minimalwert, sobald der Rand des Strahl-Querschnitts 14 gerade die zweite (hintere) Kante der ersten lichtstreuenden Struktur 31 verlässt (Zeitpunkt t_{1D}). Der zweite Teil des Signal-Verlaufs entspricht wieder dem in Figur 15 dargestellten Verlauf, da die zweite lichtstreuende Struktur 32 schmal im Verhältnis zum Strahl-Querschnitt 14 ist. In diesem Beispiel gibt es drei verschiedene charakteristische Zeitintervalle Δt_{AB} , Δt_{AC} , und Δt_{12} . Das Zeitintervall Δt_{AB}

repräsentiert wieder den Durchmesser des Laserstrahls 10, 11 (bzw. dessen Querschnitt 14), und das Zeitintervall Δt_{12} ist wieder abhängig von der Position des Laserstrahls 10, 11 (d.h. wo die lichtstreuenden Strukturen 31 und 32 überquert werden). Alle drei Zeitintervalle skalieren mit der reziproken Bahngeschwindigkeit. Das Zeitintervall Δt_{AC} ist außerdem
5 abhängig von der bekannten Breite der ersten lichtstreuenden Struktur 31, so dass aus diesem Zeitintervall die Bahngeschwindigkeit ermittelt werden kann. Aus den drei Zeitintervallen Δt_{AB} , Δt_{AC} , und Δt_{12} können somit die relevanten Parameter Strahl-Durchmesser, Strahl-Position und Bahngeschwindigkeit bestimmt werden.

10 [0074] Schließlich ist in Figur 17 schematisch dargestellt, wie mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung die Strahl-Abmessungen und/oder die Strahlprofile eines Laserstrahls in zwei Raumrichtungen mit nur einer einzelnen Abtast-Bewegung bestimmt werden können. Die erste lichtstreuende Struktur 31 ist in diesem Beispiel in einem Winkel von etwa 90° zur zweiten lichtstreuenden Struktur 32 angeordnet. Die Detektor-Anordnung 20 kann also
15 beispielsweise den in Figuren 5, 6, 7 oder 8 gezeigten Detektor-Anordnungen entsprechen. Der Querschnitt 14 des Laserstrahls 10, 11 weist in zwei Raumrichtungen X und Y unterschiedliche Abmessungen \varnothing_X und \varnothing_Y auf. Der Strahl-Querschnitt 14 wird mittels einer Relativbewegung des Laserstrahls 10, 11 über die lichtstreuenden Strukturen 31 und 32 geführt. Die Bewegungsrichtung 85 des Laserstrahls wird beispielsweise so gewählt, dass die
20 beiden lichtstreuenden Strukturen 31 und 32 in einem etwa gleichen Winkel-Betrag überquert werden (hier etwa 45°). Dann kann aus dem Zeitintervall Δt_{1AB} die Breite des Strahl-Querschnitts ermittelt werden, die senkrecht zur ersten lichtstreuenden Struktur 31 orientiert ist, und aus dem Zeitintervall Δt_{2AB} kann die Breite des Strahl-Querschnitts ermittelt werden, die senkrecht zur zweiten lichtstreuenden Struktur 32 orientiert ist.

25

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0075] Es soll ein Lösung für das Problem geschaffen werden, Eigenschaften eines Laserstrahls zu bestimmen mittels eines Verfahrens und einer Vorrichtung, die für die Vermessung von Laserstrahlung mit höchster Leistung und Brillanz geeignet sind und eine
30 Bestimmung mindestens eines geometrischen Strahl-Parameters wie beispielsweise eines Strahl-Durchmessers oder eines Strahl-Profils mit höherer Genauigkeit ermöglichen, und welche auch in einem ausgedehnten Arbeitsbereich des Laserstrahls oder bei einem bewegten Laserstrahl verwendet werden können.

[0076] Zur Lösung der Aufgabenstellung wird ein Verfahren zur Bestimmung von Eigenschaften eines Laserstrahls mit den nachfolgend beschriebenen Verfahrensschritten vorgeschlagen. Ein Laserstrahl 10, 11 wird in einen Wirk-Bereich 17 ausgesendet. Eine Detektor-Anordnung 20 wird im Wirk-Bereich 17 positioniert. Dabei beinhaltet die Detektor-
5 Anordnung 20 mindestens einen Lichtleiter 33, mindestens einen lichtempfindlichen Sensor 40 und mindestens zwei lichtstreuende Strukturen 30, und eine erste lichtstreuende Struktur 31 der mindestens zwei lichtstreuenden Strukturen 30 ist im wesentlichen längs einer ersten Richtung ausgedehnt und eine zweite lichtstreuende Struktur 32 der mindestens zwei
10 lichtstreuenden Strukturen 30 ist im wesentlichen längs einer zweiten Richtung ausgedehnt. Die erste Richtung und die zweite Richtung sind nicht parallel, sondern schließen einen von Null verschiedenen Winkel ein. Der Laserstrahl 10, 11 und die Detektor-Anordnung 20 werden relativ zueinander bewegt. Mittels der Relativ-Bewegung wird der Laserstrahl 10, 11 oder ein Querschnitt 14 des Laserstrahls 10, 11 durch die Detektor-Anordnung 20 abgetastet. Streustrahlung 18 wird mittels der lichtstreuenden Strukturen 30, 31, 32 aus einem Teil des
15 Laserstrahls 10, 11 erzeugt. Ein Teil der Streustrahlung 18 wird in einem lichtleitenden Bereich 36 des mindestens einen Lichtleiters 33 zu einer Lichtaustrittsfläche 39 des mindestens einen Lichtleiters 33 transportiert. Strahlung, die von der Lichtaustrittsfläche 39 abgegeben wird, wird mittels eines lichtempfindlichen Sensors 40 empfangen, und aus der empfangenen Strahlung wird ein zeitlich veränderliches Signal erzeugt. Schließlich wird das
20 zeitlich veränderliche Signal registriert und ausgewertet.

[0077] Zur Lösung der Aufgabenstellung wird weiterhin eine Vorrichtung vorgeschlagen, die eine Einrichtung 70 zur Aussendung eines Laserstrahls 10, 11 in einen Wirk-Bereich 17, eine Detektor-Anordnung 20, die im Wirk-Bereich 17 positionierbar ist, eine Einrichtung 80 zur
25 Bereitstellung einer Relativbewegung zwischen dem Laserstrahl 10, 11 und der Detektor-Anordnung 20, und eine Einrichtung 50 zur Registrierung und Auswertung eines zeitlich veränderlichen Signals von der Detektor-Anordnung 20 beinhaltet.

[0078] Die Detektor-Anordnung 20 der erfindungsgemäßen Vorrichtung weist mindestens
30 einen Lichtleiter 33, mindestens zwei lichtstreuende Strukturen 30, und mindestens einen lichtempfindlichen Sensor 40 auf. Die lichtstreuenden Strukturen 30 sind hauptsächlich längs jeweils einer Richtung ausgedehnt. Die mindestens zwei lichtstreuenden Strukturen 30 beinhalten eine erste lichtstreuende Struktur 31 und eine zweite lichtstreuende Struktur 32, die in verschiedenen Richtungen ausgedehnt sind, d.h. die erste lichtstreuende Struktur 31 und die

zweite lichtstreuende Struktur 32 sind nicht parallel zueinander angeordnet, sondern schließen einen Winkel ein, der nicht Null ist. Weitere lichtstreuende Strukturen 30 können zur ersten oder zur zweiten lichtstreuenden Struktur 31 oder 32 parallel angeordnet sein oder in einem weiteren Winkel dazu angeordnet sein. Die erste lichtstreuende Struktur 31 und die zweite
5 lichtstreuende Struktur 32 können in einem einzigen Lichtleiter 33 angeordnet sein, wie beispielsweise in den Figuren 2 und 3 gezeigt. In dem Fall kann der Winkel zwischen der ersten und der zweiten lichtstreuenden Struktur 31 und 32 relativ klein sein, beispielsweise im Bereich zwischen $0,5^\circ$ und 30° . Die erste lichtstreuende Struktur 31 und die zweite lichtstreuende Struktur 32 können alternativ in jeweils einem individuellen Lichtleiter 33
10 angeordnet sein. Beispiele dafür sind in den Figuren 4, 5 und 7 dargestellt. Die Detektor-Anordnung 20 enthält in diesem Fall wenigstens zwei Lichtleiter 33. Die beiden Lichtleiter 33 können dann in einem beliebigen, von Null verschiedenen Winkel zueinander angeordnet sein. Entsprechend kann dann auch der Winkel zwischen der ersten und der zweiten lichtstreuenden Struktur 31 und 32 beliebig groß sein, beispielsweise auch einen Wert von
15 30° , 45° , 60° oder 90° aufweisen.

[0079] Die lichtstreuenden Strukturen 30, 31, 32 können ausgebildet sein in Form von lokalen Inhomogenitäten an der Oberfläche oder im Volumen der Lichtleiter 33. Bei Inhomogenitäten an der Oberfläche der Lichtleiter 33 kann es sich beispielsweise um lokal begrenzte Bereiche
20 handeln, die eine Mikro-Rauigkeit aufweisen, während die umgebenden Bereiche polierte Oberflächen sind. Solche, auf Mikro-Rauigkeit beruhende lichtstreuende Strukturen 30, 31, 32 an der Oberfläche der Lichtleiter 33 können beispielsweise durch Ätzen hergestellt werden. Bei den Inhomogenitäten an der Oberfläche der Lichtleiter 33 kann es sich auch um Kanten des Lichtleiters 33 handeln. Die durch einen Polierprozess der Außenflächen eines
25 Lichtleiters 33 entstehenden Kanten weisen typischerweise auf mikroskopischer Skala statistische Inhomogenitäten auf, die zur Lichtstreuung genutzt werden können. Es ist auch vorgesehen, ausgewählte Kanten des Lichtleiters 33 mit einer kleinen Fase zu versehen. Diese Fasen können beispielsweise durch Anschleifen hergestellt werden und weisen damit je nach Größe der Schleifpartikel eine typische Mikro-Rauigkeit auf. Auf diese Weise kann die
30 lichtstreuende Struktur 30, 31, 32 an einer Kante eines Lichtleiters 33 mit einer definierten Breite ausgestattet sein. Die lichtstreuenden Strukturen 30, 31, 32 können auch ausgebildet sein in Form von lokalen Inhomogenitäten im Volumen der Lichtleiter 33. Bei den Inhomogenitäten im Volumen eines Lichtleiters kann es sich zum Beispiel um Bereiche mit lokal geänderter und variierender Brechzahl oder um winzige Blasen im Material handeln.

Solche Inhomogenitäten können gezielt hergestellt werden, beispielsweise mit spezieller Laserstrahlung. Zur Erzeugung von Brechzahl-Variationen kommen typischerweise fokussierte UV-Laser zum Einsatz, ähnlich wie bei der Herstellung sogenannter Bragg-Gitter in optischen Materialien. Zur Herstellung von Blasen werden typischerweise fokussierte
5 Riesen-Impuls-Laser eingesetzt. Eine Herstellung von lokalen Inhomogenitäten, von lichtstreuenden Strukturen, oder von Bereichen, die eine Rauigkeit aufweisen, kann zum Beispiel auch durch sogenanntes laserinduziertes selektives Ätzen erfolgen. Dabei wird das optische Material (beispielsweise Quarzglas oder Saphir) durch Bestrahlen mit fokussierten Femtosekunden-Laserpulsen lokal modifiziert. Die modifizierten Bereiche können dann durch
10 chemisches Ätzen (beispielsweise in Kalilauge) selektiv entfernt werden. Die Herstellung der Lichtleiter 33 und der lichtstreuenden Strukturen 30, 31, 32 sind nicht beschränkt auf die erwähnten Möglichkeiten zur Herstellung.

[0080] Der mindestens eine Lichtleiter 33 hat einen lichtleitenden Bereich 36, der eine
15 längliche Form aufweist. Der Lichtleiter 33 kann beispielsweise quaderförmig, stabförmig oder zylindrisch ausgebildet sein. Eine der Außenflächen des Lichtleiters 33 ist als Lichtaustrittsfläche 39 ausgebildet. Eine der Lichtaustrittsfläche 39 gegenüberliegende Außenfläche des Lichtleiters 33 bildet eine Endfläche 38. Die Lichtaustrittsfläche 39 und die Endfläche 38 begrenzen vorzugsweise die längste Ausdehnung des Lichtleiters 33. Das
20 zwischen der Lichtaustrittsfläche 39 und der Endfläche 38 befindliche Volumen des Lichtleiters 33 bildet den lichtleitenden Bereich 36. Die Lichtaustrittsfläche 39 und die Endfläche 38 können die gleiche oder eine ähnliche Form aufweisen wie der Querschnitt des Lichtleiters 33 bzw. des lichtleitenden Bereichs 36. Der Querschnitt des Lichtleiters 33 kann beispielsweise rund, elliptisch, halbkreisförmig, quadratisch, rechteckig, trapezförmig,
25 dreieckig, tropfenförmig, fünfeckig oder sechseckig sein, oder eine andere geeignete Gestalt aufweisen. Die Größe des Querschnitts des Lichtleiters 33 kann entlang der Länge des Lichtleiters 33 variieren.

[0081] Innerhalb des lichtleitenden Bereichs 36 des Lichtleiters 33 kann Strahlung
30 transportiert werden. Der Transport von Strahlung findet statt aufgrund von Totalreflexion der Strahlung an den länglichen Außenflächen des Lichtleiters 33 bzw. des lichtleitenden Bereichs 36. Dazu muss einerseits das Material des Lichtleiters 33 eine Brechzahl größer 1 (eins) aufweisen, und andererseits muss der Auftreffwinkel der Strahlung zum Lot der Außenfläche ausreichend groß sein. Ein Transport von Strahlung findet also nur in einem

begrenzten Winkelbereich statt, der durch die Totalreflexion definiert ist. Strahlungsanteile, die einen großen Winkel zum Lot der länglichen Außenflächen im lichtleitenden Bereich 36 aufweisen, haben zum Lot der Lichtaustrittsfläche 39 einen kleinen Winkel. Somit tritt für diese Strahlungsanteile an der Lichtaustrittsfläche 39 keine Totalreflexion auf, und die
5 Strahlungsanteile können über die Lichtaustrittsfläche 39 abgestrahlt werden.

[0082] Der Lichtleiter 33 besteht aus einem für die Wellenlänge des Laserstrahls 10, 11 transparenten optischen Material. Das transparente optische Material weist einen sehr geringen Absorptionsgrad auf. Es ist vorgesehen, dass die für die Wellenlänge des
10 Laserstrahls 10, 11 spezifische Absorption des Materials kleiner als 300 ppm/cm ist. Die Absorption kann auch kleiner als 100 ppm/cm sein, insbesondere auch kleiner als 20 ppm/cm. Geeignete Materialien sind beispielsweise Quarzglas, insbesondere synthetisches Quarzglas (fused silica), Saphir, Zinksulfid (ZnS), oder Calciumfluorid (CaF₂). Es können aber auch andere Gläser, Kristalle, oder Kristallgläser mit einer ausreichend geringen Absorption
15 verwendet werden.

[0083] Angrenzend an die Lichtaustrittsfläche 39 des Lichtleiters 33 oder in der Nähe der Lichtaustrittsfläche 39 ist ein lichtempfindlicher Sensor 40 angeordnet. Der lichtempfindliche Sensor 40 ist zum Empfang von Strahlung ausgebildet, die von der Lichtaustrittsfläche 39 des
20 Lichtleiters 33 abgegeben wird. Zu diesem Zweck kann zwischen der Lichtaustrittsfläche 39 und dem lichtempfindlichen Sensor 40 weiterhin ein zusätzliches optisches Element angeordnet sein, welches die von der Lichtaustrittsfläche 39 abgegebene Strahlung auf den lichtempfindlichen Sensor 40 leitet. Dieses zusätzliche optische Element kann beispielsweise eine Linse, ein Umlenk-Spiegel, ein Prisma, oder ein starres oder flexibles lichtleitendes
25 Element sein, oder eine Kombination dieser Elemente.

[0084] Wenn die Detektor-Anordnung 20 mehrere Lichtleiter 33 umfasst, dann ist jeder Lichtaustrittsfläche 39 ein lichtempfindlicher Sensor 40 zugeordnet. Dies kann für alle Lichtaustrittsflächen 39 ein einziger lichtempfindlicher Sensor 40 sein. Es können aber auch
30 allen Lichtaustrittsflächen 39 individuelle lichtempfindliche Sensoren 40 zugeordnet sein, dann weist die Detektor-Anordnung 20 so viele lichtempfindlichen Sensoren 40 auf wie Lichtleiter 33 vorhanden sind. Es ist auch vorgesehen, dass mehrere Lichtleiter 33 als Gruppe einem lichtempfindlichen Sensor 40 zugeordnet sind, wobei es auch mehrere Gruppen geben kann. Eine Gruppe von Lichtleitern 33 muss nicht zwangsläufig aus nebeneinander

angeordneten Lichtleitern 33 bestehen, es kann beispielsweise auch jeder zweite, dritte, vierte usw. Lichtleiter 33 zu Gruppen zusammengefasst sein, wobei ein lichtempfindlicher Sensor 40 jeder Gruppe zugeordnet ist. Auf diese Weise können Sensoren eingespart werden, und es ist damit dennoch in benachbarten Bereichen eine Zuordnung von Signalen zu individuellen
5 Lichtleitern 33 bzw. zu deren lichtstreuenden Strukturen 30, 31, 32 möglich, um die Zeitintervalle zwischen den Signalen korrekt auszuwerten.

[0085] Die erfindungsgemäße Vorrichtung weist eine Einrichtung 80 zur Bereitstellung einer Relativbewegung zwischen dem Laserstrahl 10, 11 und der Detektor-Anordnung 20 auf.
10 Mittels der Relativbewegung kann der Laserstrahl 10, 11 durch die Detektor-Anordnung 20 abgetastet werden, d.h. der Querschnitt 14 des Laserstrahls 10, 11 überquert in einer Abtast-Bewegung die erste und die zweite lichtstreuende Struktur 31 und 32. Wenn ein Teil des Querschnitts 14 auf eine lichtstreuende Struktur 30, 31, 32 trifft, wird aus einem Teil der Laserstrahlung 10, 11 eine Streustrahlung 18 erzeugt. Die Streustrahlung 18 wird in einen
15 großen Winkelbereich abgestrahlt. Dabei gibt es auch einen Anteil an Streustrahlung 18, der in den lichtleitenden Bereich 36 in einen Winkelbereich gestreut wird, bei dem die Strahlung aufgrund der Totalreflexion innerhalb des lichtleitenden Bereichs 36 transportiert wird. Ein Teil der Streustrahlung 18 verlässt über die Lichtaustrittsfläche 39 den Lichtleiter 33 und trifft auf den lichtempfindlichen Sensor 40. Der lichtempfindliche Sensor 40 erzeugt in
20 Abhängigkeit der auftreffenden Strahlungsintensität ein elektrisches Signal. Der lichtempfindliche Sensor 40 kann beispielsweise eine Photodiode, ein Photo-Multiplier, oder ein sonstiges photo-elektrisches Konverter-Element sein. Das Signal des lichtempfindlichen Sensors 40 wird an eine Einrichtung 50 zur Signal-Registrierung weitergeleitet und kann dort aufgezeichnet und ausgewertet werden. Wenn der Laserstrahl 10, 11 auf einen Lichtleiter 33
25 trifft, aber keine lichtstreuende Struktur 30, 31, 32 trifft, dann können durch Brechung und teilweise Reflexion (sogenannte Fresnel-Reflexion) an den Grenzflächen des Lichtleiters 33 zwar auch Strahlungsanteile in anderen Winkeln innerhalb des lichtleitenden Bereichs 36 der Lichtleiters 33 erzeugt werden, solche Strahlungsanteile können jedoch beim Auftreffen auf die nächste Grenzfläche des Lichtleiters 33 den lichtleitenden Bereich 36 wieder verlassen
30 und werden nicht durch Totalreflexion zur Lichtaustrittsfläche 39 geführt.

[0086] Die Relativbewegung zwischen dem Laserstrahl 10, 11 und der Detektor-Anordnung 20 kann mit unterschiedlichen Mitteln bereitgestellt werden. In einer möglichen Ausführungsform der Erfindung ist die Detektor-Anordnung 20 selbst mittels einer

Einrichtung 87 zur Bewegung der Detektor-Anordnung beweglich gelagert und kann mittels eines Antriebs der Einrichtung 87 bewegt werden. Ein Beispiel dafür ist in der Figur 14 dargestellt. In diesem Beispiel ist die Detektor-Anordnung über eine Achse drehbar gelagert. Die Bewegungsrichtung 89 der Detektor-Anordnung ist in diesem Fall eine
5 Rotationsbewegung. Durch die Rotationsbewegung werden die erste und die zweite lichtleitende Struktur 31 und 32 nacheinander durch den Querschnitt 14 des Laserstrahls 10, 11 geführt. Dabei entsteht ein Signal-Verlauf, wie er schematisch in Figur 15 dargestellt ist. Aus der Breite der Signal-Impulse bzw. dem Zeitintervall Δt_{AB} kann der Durchmesser des Strahl-Querschnitt 14 bzw. des Laserstrahls 10, 11 bestimmt werden. Aus dem zeitlichen
10 Abstand der Signal-Impulse bzw. dem Zeitintervall Δt_{12} kann der Abstand des Laserstrahls 10, 11 zur Dreh-Achse ermittelt werden. In Kombination mit dem absoluten Zeitpunkt der Signal-Impulse, aus dem die Winkel-Position der Detektor-Anordnung 20 ermittelt werden kann, erhält man daraus die zweidimensionale Position des Laserstrahls 10, 11 in der von der Detektor-Anordnung 20 abgetasteten Ebene bzw. im Wirk-Bereich 17, in dem die Detektor-
15 Anordnung 20 positionierbar ist. Es kann dabei vorgesehen sein, dass eine Drehachse für eine Rotations-Bewegung der Detektor-Anordnung 20 nicht durch einen virtuellen Schnittpunkt führt, der durch die Verlängerung der Richtungen der ersten lichtstreuenden Struktur und der zweiten lichtstreuenden Struktur 32 definiert ist.

[0087] Der in der Figur 15 dargestellte Signal-Verlauf entsteht, wenn die lichtstreuenden Strukturen 31, 32 schmal sind im Verhältnis zum Strahl-Querschnitt 14 bzw. zum Durchmesser des Laserstrahls 10, 11. Die lichtstreuenden Strukturen 30, 31, 32 können auch breiter sein als der Strahl-Querschnitt 14. Dazu zeigt die Figur 16 ein Beispiel, bei dem die erste lichtstreuende Struktur 31 breiter ist als der Querschnitt 14 des Laserstrahls 10, 11. Der
25 Durchmesser des Strahls wird in diesem Fall nicht aus der Breite des Signal-Impulses ermittelt, sondern aus der Länge des Anstiegs des Signal-Impulses, d.h. aus der Breite der Flanke des Signal-Impulses, bzw. aus dem Zeitintervall Δt_{AB} . Mathematisch betrachtet kann die Flanke des ersten Signal-Impulses aus Figur 16 durch Differenzierung (mathematische Ableitung nach der Zeit) in den ersten Signal-Impuls aus Figur 15 überführt werden.
30 Umgekehrt ergibt sich die Flanke des ersten Signal-Impulses aus Figur 16 durch Integration des ersten Signal-Impulses aus Figur 15.

[0088] Die Einrichtung 87 zur Bewegung der Detektor-Anordnung kann auch zur Durchführung anderer Bewegungen als einer Rotation ausgebildet sein. Dies kann

beispielsweise eine lineare Bewegung in einer Raumrichtung, eine lineare Bewegung in zwei Raumrichtungen, eine kreisförmige Bewegung, eine elliptische Bewegung, oder eine rasterförmige Bewegung sein. Die Bewegung kann auch aus zwei Komponenten bestehen, wobei die erste Komponente eine schnellere teilweise periodische Bewegung in einer ersten
5 Raumrichtung und die andere Komponente eine langsamere Bewegung in einer zweiten Raumrichtung sein kann.

[0089] In einer weiteren möglichen Ausführungsform der Erfindung beinhaltet die Einrichtung 80 zur Bereitstellung einer Relativbewegung zwischen dem Laserstrahl 10, 11
10 und der Detektor-Anordnung 20 eine Einrichtung 83 zur Bewegung des Laserstrahls. Die Einrichtung 83 kann beispielsweise eine Führungsmaschine oder ein Roboter sein, mit der die Einrichtung 70 zur Aussendung des Laserstrahls gekoppelt sein kann.

[0090] Bei der Einrichtung 70 zur Aussendung eines Laserstrahls kann es sich zum Beispiel
15 um eine schlichte Laserbearbeitungs-Optik handeln. Der Laserbearbeitungs-Optik kann von einem Strahlführungssystem, beispielsweise einem Lichtleitkabel oder einem Spiegel-System, ein Laserstrahl 10 zugeführt werden. In der Laserbearbeitungs-Optik wird der Laserstrahl 10 von einem optischen System 72 abgebildet, so dass ein fokussierter Laserstrahl 11 erzeugt wird. Mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung können jedoch nicht nur fokussierte
20 Laserstrahlen 11 vermessen werden. Auch die Vermessung beispielsweise von kollimierten Laserstrahlen ist vorgesehen. In diesem Fall sendet die Einrichtung 70 zur Aussendung eines Laserstrahls einen kollimierten Laserstrahl aus. Es ist weiterhin möglich, dass die Einrichtung 70 zur Aussendung eines Laserstrahls auch einen Laserstrahl-Generator bzw. eine Laserstrahlquelle beinhaltet.

25

[0091] In einer weiteren möglichen Ausführungsform der Erfindung beinhaltet die Einrichtung 83 zur Bewegung des Laserstrahls 10, 11 eine Scanner-Optik. Dabei sind in der Scanner-Optik üblicherweise ein oder mehrere Scanner-Spiegel 84 angeordnet, mit denen der Laserstrahl 10 um einen verstellbaren Winkel umgelenkt und so in einem Wirk-Bereich 17
30 frei wählbar positioniert und in Bewegungsrichtungen 85 entlang einer Bahnkurve geführt werden kann. Die Einrichtung 70 zur Aussendung des Laserstrahls umfasst bei einer Scanner-Optik typischerweise auch ein optisches System 72 mit einer optischen Achse 74 und ein Schutzglas 73. Das optische System 72 kann hier eine Planfeld-Optik oder ein sogenanntes f-

theta-Objektiv sein, und erzeugt einen fokussierten Laserstrahl 11 mit einem Laserstrahl-Fokus 12 im Wirk-Bereich 17.

[0092] Mittels der Einrichtung 83 zur Bewegung des Laserstrahls 10, 11 kann der Laserstrahl
5 10, 11 entlang einer beliebigen Bahnkurve geführt werden. Bei diesen Ausführungsformen
der Erfindung kann daher die Detektor-Anordnung 20 in einer festen Position in der Wirk-
Ebene 17 positionierbar sein, und die Abtast-Bewegung wird von der Einrichtung 83 zur
Bewegung des Laserstrahls ausgeführt. Auch in diesem Fall kann die Bewegung des
10 Laserstrahls 10, 11 eine lineare Bewegung in einer Raumrichtung, eine lineare Bewegung in
zwei Raumrichtungen, eine kreisförmige Bewegung, eine elliptische Bewegung, oder eine
rasterförmige Bewegung sein. Die Bewegung kann ebenfalls aus zwei Komponenten
bestehen, wobei die erste Komponente eine schnellere teilweise periodische Bewegung in
einer ersten Raumrichtung und die andere Komponente eine langsamere Bewegung in einer
zweiten Raumrichtung sein kann.

15

[0093] Eine Abtastung des Strahls nach dem Beispiel von Figur 16 hat den Vorteil, dass es
drei verschiedene charakteristische Zeitintervalle Δt_{AB} , Δt_{AC} , und Δt_{12} gibt: die Breite der
Flanke des ersten Signal-Impulses bzw. die Dauer des zweiten Signal-Impulses (Δt_{AB}), die
Zeitdifferenz vom Beginn der ansteigenden Flanke zum Beginn der absteigenden Flanke des
20 ersten Signal-Impulses (Δt_{AC}), und die Zeitdifferenz zwischen den beiden Signal-Impulsen
(Δt_{12}). Alle drei Zeitintervalle skalieren mit der reziproken Bahngeschwindigkeit. Außerdem
ist das Zeitintervall Δt_{AB} vom Durchmesser des Laserstrahls 10, 11 abhängig, das Zeitintervall
 Δt_{12} ist abhängig von der Position des Laserstrahls 10, 11, und das Zeitintervall Δt_{AC} ist
abhängig von der Breite der ersten lichtstreuenden Struktur 31, wobei letztere als bekannt
25 vorausgesetzt werden kann. Somit können aus den drei Zeitintervallen Δt_{AB} , Δt_{AC} , und Δt_{12}
die relevanten Parameter Strahl-Durchmesser, Strahl-Position und Bahngeschwindigkeit
bestimmt werden. Die gleiche Menge an Information kann gewonnen werden, wenn zur
Abtastung nicht nur zwei, sondern drei schmale lichtstreuende Strukturen verwendet werden.
Dazu kann beispielsweise zur ersten und zweiten lichtstreuenden Struktur 31, 32 eine weitere
30 lichtstreuende Struktur 30 in der Detektor-Anordnung 20 vorgesehen sein.

[0094] Die Vorrichtung und das Verfahren weisen aufgrund der erfindungsgemäßen
Merkmale folgende Vorteile auf:

- Die Vorrichtung ist zur Vermessung von Laserstrahlen mit höchsten Leistungen und Leistungsdichten geeignet, da die Komponenten, die der Strahlung ausgesetzt sind, die Strahlung nicht absorbieren, und die Komponenten außerdem durch die Abtast-Bewegung immer nur für sehr kurze Zeitintervalle der Laserstrahlung ausgesetzt sind.
- 5 - Mit einer einzigen Abtast-Bewegung können drei relevante Parameter ermittelt werden: Strahl-Durchmesser, Strahl-Position und Bahngeschwindigkeit.
- Mit einer einzigen Abtast-Bewegung ist die Bestimmung von Strahl-Abmessungen in zwei Raumrichtungen möglich.
- Die Strahl-Eigenschaften können in einem ausgedehnten zweidimensionalen oder
- 10 räumlichen Bereich, insbesondere im Wirk-Bereich des Laserstrahls ermittelt werden.
- Es können die Eigenschaften von bewegten Laserstrahlen ermittelt werden, auch wenn die Bewegung des Strahls nicht in spezieller Weise vorgegeben ist.

[0095] In einer möglichen Ausführungsform der Erfindung kann die Detektor-Anordnung 20
15 eine Abdeckung 42 einschließen. Die Abdeckung 42 umschließt den lichtempfindlichen Sensor 40 und die Lichtaustrittsfläche 39 des Lichtleiters 33. Der lichtempfindliche Sensor 40 wird dadurch von Restlicht oder Strahlungsanteilen abgeschirmt, die ansonsten direkt auf den lichtempfindlichen Sensor 40 treffen könnten und somit ein fehlerhaftes Signal verursachen könnten. Wenn die Detektor-Anordnung 20 mehrere Lichtleiter 33 und mehrere
20 lichtempfindliche Sensoren 40 aufweist, dann können auch entsprechend viele Abdeckungen 42 vorgesehen sein.

[0096] In einer weiteren möglichen Ausführungsform der Erfindung kann die Endfläche 38
des Lichtleiters 33 mit einer reflektierenden Beschichtung versehen sein, wie in den Figuren
25 11 und 12 dargestellt. Mittels einer reflektierenden Beschichtung der Endfläche 38 kann ein Anteil der Streustrahlung 18, der von der lichtstreuenden Struktur 30, 31, 32 aus dem Laserstrahl 10, 11 erzeugt wird und in Richtung der Endfläche 38 abgestrahlt wird, dort reflektiert werden und nach Transport durch den lichtleitenden Bereich 36 und Transmission durch die Lichtaustrittsfläche 39 ebenfalls vom lichtempfindlichen Sensor 40 empfangen
30 werden. Eine reflektierende Beschichtung der Endfläche 38 hat noch eine weitere vorteilhafte Auswirkung. Es wird dadurch verhindert, dass durch die Endfläche 38 Restlicht oder Strahlungsanteile von außen in den lichtleitenden Bereich 36 eindringen können und somit ein fehlerhaftes Signal verursachen könnten. Wenn die Detektor-Anordnung 20 mehrere Lichtleiter 33 aufweist, dann können an allen Endflächen 38 der Lichtleiter 33 reflektierende

Beschichtungen vorgesehen sein. Die reflektierende Beschichtung der Endfläche 39 kann beispielsweise ein dielektrisches Vielschicht-System sein, oder eine metallische Beschichtung.

5 [0097] Bei Ausführungsformen der Detektor-Anordnung 20 mit Abdeckungen 42 und reflektierenden Beschichtungen auf den Endflächen 38 kann erreicht werden, dass die lichtempfindlichen Sensoren 40 von jeglichem Restlicht, das von außen in die Vorrichtung dringen kann, abgeschirmt werden, und die lichtempfindlichen Sensoren 40 nur die von den lichtstreuenden Struktur 30, 31, 32 erzeugte Streustrahlung 18 empfangen können.

10

[0098] In einer weiteren möglichen Ausführungsform der Erfindung schließt die Detektor-Anordnung 20 mehrere lichtstreuende Strukturen 30 ein, die in mehreren verschiedenen Ebenen angeordnet sind. Dabei hat jede der Ebenen einen anderen Abstand zur Einrichtung 70 zur Aussendung des Laserstrahls. Beispielsweise können mehrere Lichtleiter 33 mit
15 jeweils einer lichtstreuenden Struktur 30 stufenförmig in der Detektor-Anordnung angeordnet sein. Figur 6 zeigt beispielhaft eine Detektor-Anordnung mit 3 Lichtleitern 33, von denen zwei Lichtleiter 33 in zwei verschiedenen Ebenen stufenförmig angeordnet sind. Die Detektor-Anordnung 20 kann auch mehr als zwei Stufen umfassen. Bei einem Abtast-Vorgang wird mit jeder Stufe ein Querschnitt 14 des Laserstrahls 10, 11 erfasst, der in der
20 jeweiligen Ebene der Stufe liegt. Der Laserstrahl 10, 11 wird also in mehreren Ebenen längs der optischen Achse 74 abgetastet. Auf diese Weise kann beispielsweise ein Laserstrahl 11 in einem axialen Bereich um den Laserstrahl-Fokus 12 herum abgetastet werden und damit ein repräsentativer Ausschnitt der Kaustik des Laserstrahls 11 bestimmt werden. Bei einer ausreichenden Anzahl von Stufen ist damit auch die Bestimmung eines Strahl-Parameter-
25 Produkts möglich, bzw. die Bestimmung von Fokus-Durchmesser und Divergenzwinkel des Laserstrahls 11.

[0099] Es ist offensichtlich, dass die Erfindung nicht beschränkt ist auf die in der Beschreibung aufgeführten speziellen Ausführungsformen und die in den Figuren gezeigten
30 Ausführungsformen. Vielmehr umfasst die Erfindung auch Ausführungsformen, die durch Kombinationen der in den Ansprüchen, in der Beschreibung und in den Figuren dargestellten Merkmale entstehen.

Bezugszeichenliste

	10	Laserstrahl
	11	Fokussierter Laserstrahl
	12	Laserstrahl-Fokus
5	14	Querschnitt des Laserstrahls
	17	Wirk-Bereich
	18	Streustrahlung
	20	Detektor-Anordnung
	30	Lichtstreuende Strukturen
10	31	Erste lichtstreuende Struktur
	32	Zweite lichtstreuende Struktur
	33	Lichtleiter
	36	Lichtleitender Bereich
	38	Endfläche
15	39	Lichtaustrittsfläche
	40	Lichtempfindlicher Sensor
	42	Abdeckung
	50	Einrichtung zur Signal-Registrierung
	70	Einrichtung zur Aussendung eines Laserstrahls
20	72	Optisches System
	73	Schutzglas
	74	Optische Achse des optischen Systems
	80	Einrichtung zur Bereitstellung einer Relativbewegung
	83	Einrichtung zur Bewegung des Laserstrahls
25	84	Scanner-Spiegel
	85	Bewegungsrichtung des Laserstrahls
	87	Einrichtung zur Bewegung der Detektor-Anordnung
	89	Bewegungsrichtung der Detektor-Anordnung

Ansprüche

1. Vorrichtung zur Bestimmung von Eigenschaften eines Laserstrahls, umfassend
- 5 - eine Einrichtung (70) zur Aussendung eines Laserstrahls (10, 11) in einen Wirk-Bereich (17),
- eine Detektor-Anordnung (20), die im Wirk-Bereich (17) positionierbar ist,
- eine Einrichtung (80) zur Bereitstellung einer Relativbewegung zwischen dem Laserstrahl (10, 11) und der Detektor-Anordnung (20), und
- 10 - eine Einrichtung (50) zur Registrierung und Auswertung eines zeitlich veränderlichen Signals von der Detektor-Anordnung (20),
- wobei die Detektor-Anordnung (20) umfasst:
- mindestens einen Lichtleiter (33) mit einer Lichtaustrittsfläche (39) und einem lichtleitenden Bereich (36), wobei der lichtleitende Bereich (36) eine längliche
- 15 Form aufweist,
- mindestens zwei lichtstreuende Strukturen (30), wobei eine erste lichtstreuende Struktur (31) der mindestens zwei lichtstreuenden Strukturen (30) im wesentlichen längs einer ersten Richtung ausgedehnt ist und eine zweite
- lichtstreuende Struktur (32) der mindestens zwei lichtstreuenden Strukturen (30) im wesentlichen längs einer zweiten Richtung ausgedehnt ist und wobei die erste
- 20 Richtung und die zweite Richtung einen von Null verschiedenen Winkel einschließen, und
- mindestens einen lichtempfindlichen Sensor (40), der zum Empfang von Strahlung ausgebildet ist, die von der Lichtaustrittsfläche (39) des Lichtleiters
- 25 (33) abgegeben wird,
- und wobei die mindestens zwei lichtstreuenden Strukturen (30) ausgebildet sind, einen Teil des auf die lichtstreuenden Strukturen (30) auftreffenden Laserstrahls (10, 11) in einen Winkelbereich zu streuen, der zum Transport von gestreuter Laserstrahlung (18) im lichtleitenden Bereich (36) des Lichtleiters (33) zur Lichtaustrittsfläche (39) geeignet ist.
- 30
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Einrichtung (80) zur Bereitstellung einer Relativbewegung ausgebildet ist, einen Querschnitt (14) des Laserstrahls (10, 11) mittels der Detektor-Anordnung (20) abzutasten.

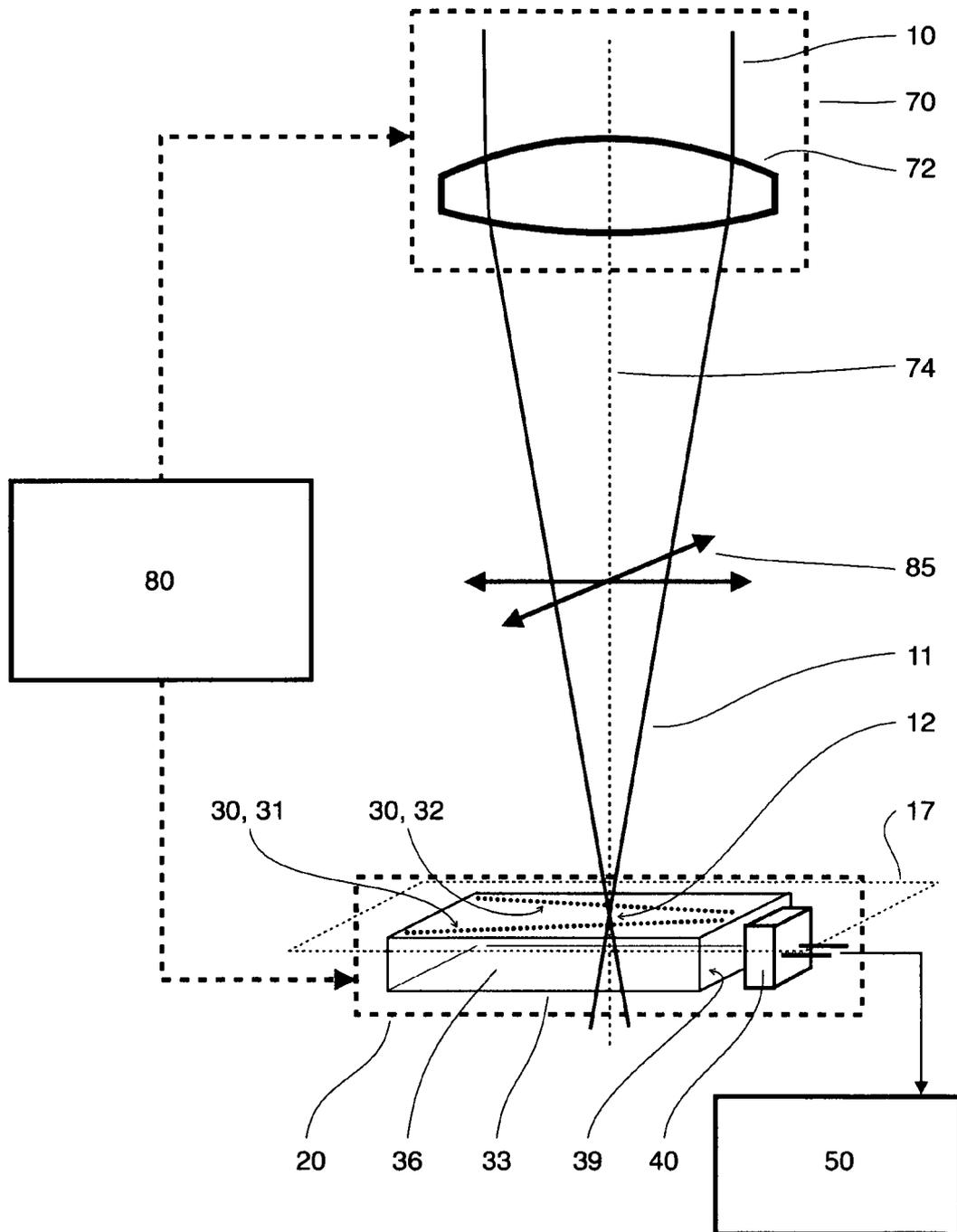
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Einrichtung (80) zur Bereitstellung einer Relativbewegung ausgebildet ist, einen Querschnitt (14) des Laserstrahls (10, 11) mittels der Detektor-Anordnung (20) in zwei unterschiedlichen Richtungen abzutasten.
- 5 4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Relativbewegung im wesentlichen eine Kreisbewegung oder eine elliptische Bewegung ist.
5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Relativbewegung im wesentlichen eine Rotationsbewegung ist.
- 10 6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Relativbewegung eine erste und eine zweite Komponente umfasst und die erste Komponente eine zumindest teilweise periodische schnelle Bewegung ist und die zweite Komponente eine langsame Bewegung in einer von der Bewegungsrichtung der ersten Komponente linear
15 unabhängigen Richtung ist.
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei sowohl die in der ersten Richtung ausgedehnte erste lichtleitende Struktur (31) als auch die in der zweiten Richtung ausgedehnte zweite lichtleitende Struktur (32) Bestandteile des mindestens einen
20 Lichtleiters (33) sind.
8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei die Detektor-Anordnung mindestens zwei Lichtleiter (33) umfasst, und wobei die in der ersten Richtung ausgedehnte erste lichtleitende Struktur (31) Bestandteil des ersten der mindestens zwei
25 Lichtleiter (33) ist und die in der zweiten Richtung ausgedehnte zweite lichtleitende Struktur (32) Bestandteil des zweiten der mindestens zwei Lichtleiter (33) ist.
9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei der mindestens eine Lichtleiter (33) aus einem transparenten optischen Material mit sehr geringer Absorption besteht.
- 30 10. Vorrichtung nach Anspruch 9, wobei das transparente optische Material des Lichtleiters (33) eine für die Wellenlänge der Laserstrahlung (10, 11) spezifische Absorption von weniger als 300 ppm/cm aufweist.

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei die Einrichtung (80) zur Bereitstellung einer Relativbewegung eine Einrichtung (87) zur Bewegung der Detektor-Anordnung (20) umfasst.
- 5 12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei die Einrichtung (80) zur Bereitstellung einer Relativbewegung eine Einrichtung (83) zur Bewegung des Laserstrahls (10, 11) umfasst.
- 10 13. Vorrichtung nach Anspruch 12, wobei die Einrichtung (83) zur Bewegung des Laserstrahls eine Scanner-Optik umfasst.
14. Verfahren zur Bestimmung von Eigenschaften eines Laserstrahls, umfassend die Verfahrensschritte:
- 15 - Aussenden eines Laserstrahls (10, 11) in einen Wirk-Bereich (17),
 - Positionieren einer Detektor-Anordnung (20) im Wirk-Bereich (17), wobei die Detektor-Anordnung (20) mindestens einen Lichtleiter (33), mindestens einen lichtempfindlichen Sensor (40) und mindestens zwei lichtstreuende Strukturen (30) umfasst, und wobei eine erste lichtstreuende Struktur (31) der mindestens zwei lichtstreuenden Strukturen (30) im wesentlichen längs einer ersten Richtung
20 ausgedehnt ist und eine zweite lichtstreuende Struktur (32) der mindestens zwei lichtstreuenden Strukturen (30) im wesentlichen längs einer zweiten Richtung ausgedehnt ist und wobei die erste Richtung und die zweite Richtung einen von Null verschiedenen Winkel einschließen,
 - 25 - Bereitstellen einer Relativbewegung zwischen dem Laserstrahl (10, 11) und der Detektor-Anordnung (20),
 - Erzeugen von Streustrahlung aus einem Teil des Laserstrahls (10, 11) mittels der lichtstreuenden Strukturen,
 - Transportieren eines Teils der Streustrahlung in einem lichtleitenden Bereich (36) des mindestens einen Lichtleiters (33) zu einer Lichtaustrittsfläche (39) des
30 mindestens einen Lichtleiters (33),
 - Empfangen von Strahlung, die von der Lichtaustrittsfläche (39) abgegeben wird, mittels eines lichtempfindlichen Sensors (40) und Erzeugen eines zeitlich veränderlichen Signals aus der empfangenen Strahlung, und
 - Registrieren und Auswerten des zeitlich veränderlichen Signals.

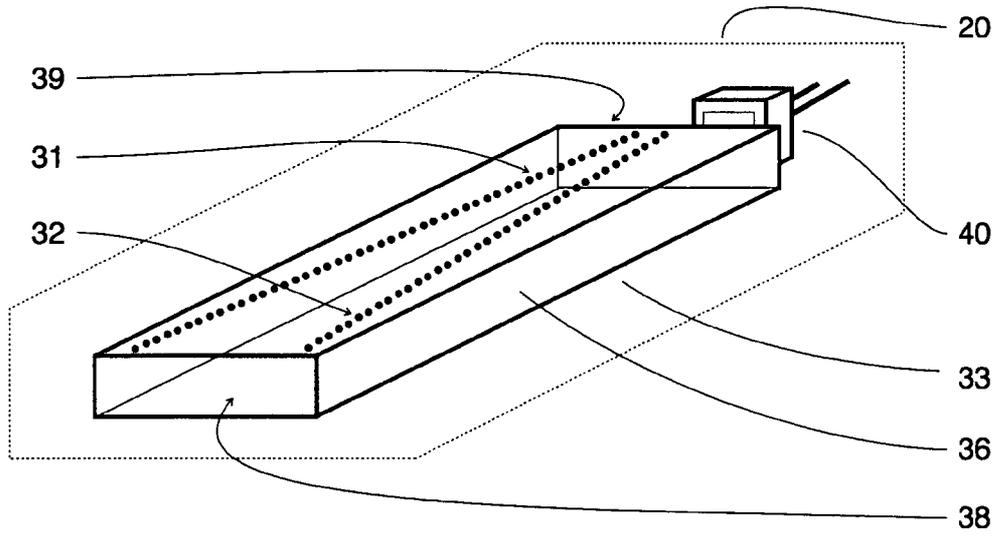
15. Verfahren nach Anspruch 14, weiterhin umfassend ein Abtasten eines Querschnitts (14) des Laserstrahls (10, 11) mittels der Detektor-Anordnung (20).
- 5 16. Verfahren nach Anspruch 14 oder 15, weiterhin umfassend ein Abtasten eines Querschnitts (14) des Laserstrahls (10, 11) mittels der Detektor-Anordnung (20) in zwei unterschiedlichen Richtungen.
- 10 17. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 16, wobei der Laserstrahl (10, 11) relativ zur Detektor-Anordnung (20) in einer kreisförmigen oder ellipsenförmigen Bahn bewegt wird.
18. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 16, wobei die Detektor-Anordnung (20) relativ zum Laserstrahl (10, 11) rotierend bewegt wird.
- 15 19. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 16, wobei der Laserstrahl (10, 11) relativ zur Detektor-Anordnung (20) in einer Bewegung mit einer ersten Komponente und mit einer zweiten Komponente bewegt wird, wobei die erste Komponente eine zumindest teilweise periodische schnelle Bewegung ist und die zweite Komponente eine langsame Bewegung
- 20 in einer von der Bewegungsrichtung der ersten Komponente linear unabhängigen Richtung ist.

Figuren

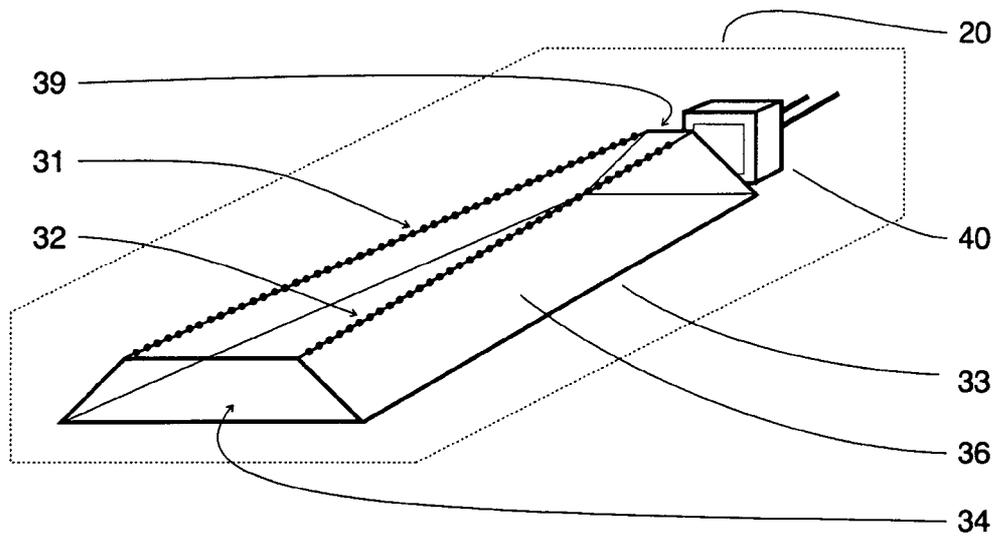
Figur 1



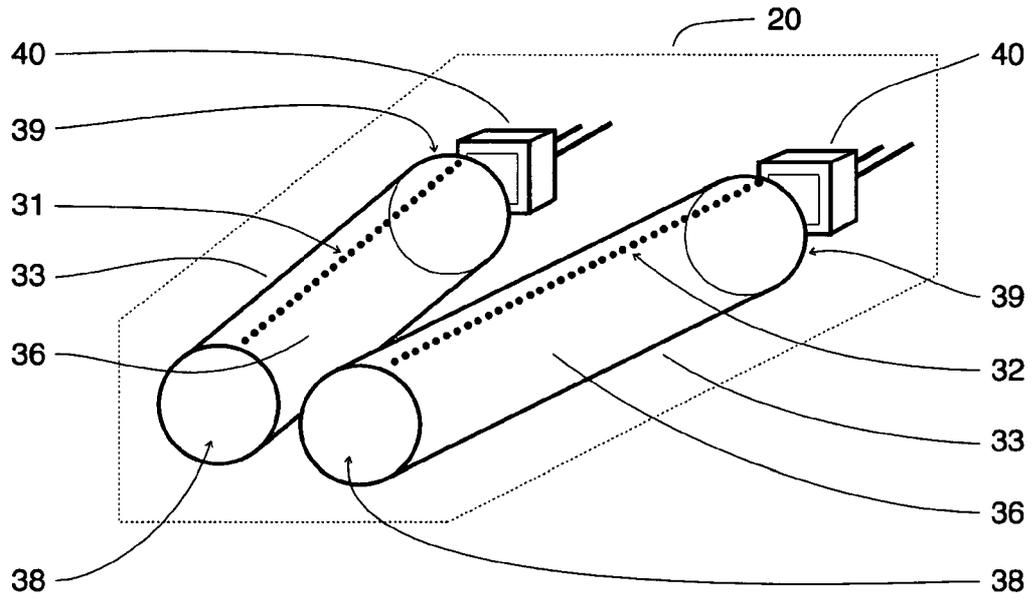
Figur 2



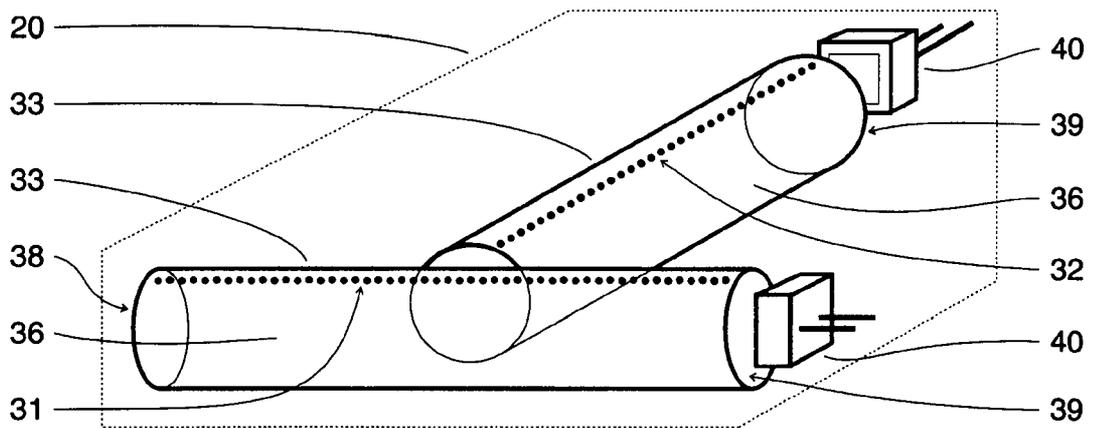
Figur 3



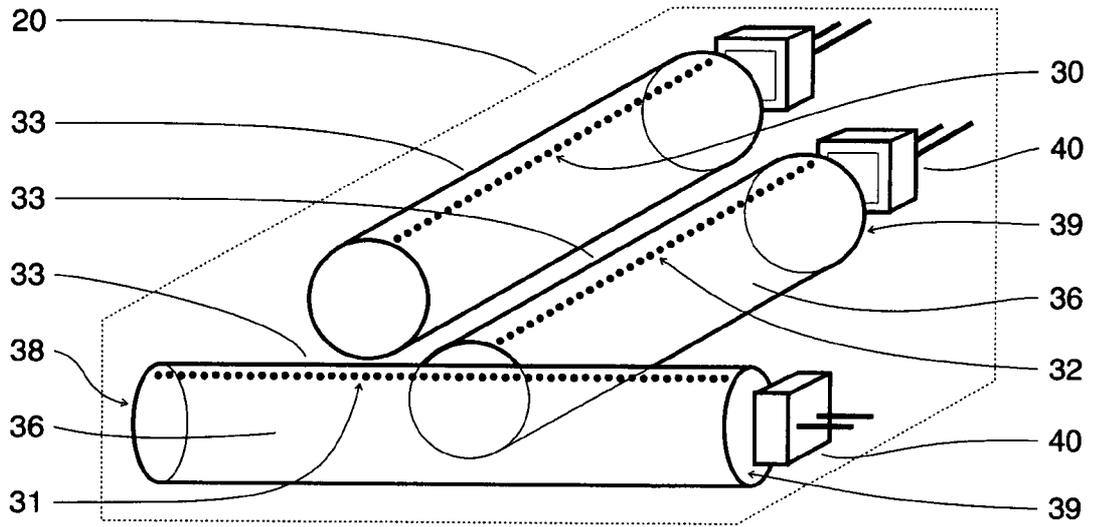
Figur 4



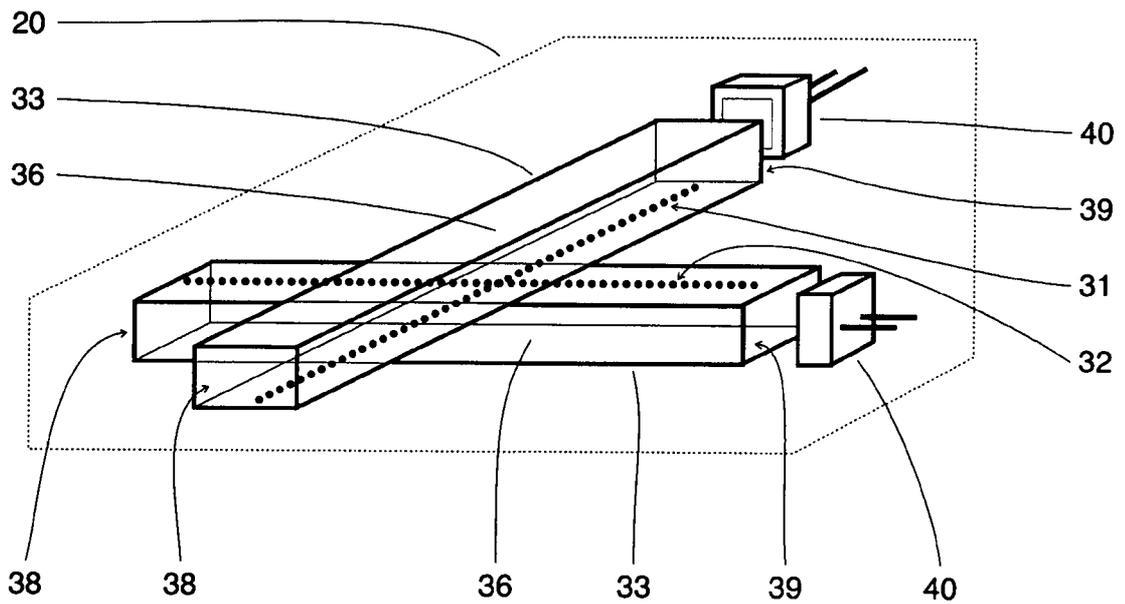
Figur 5



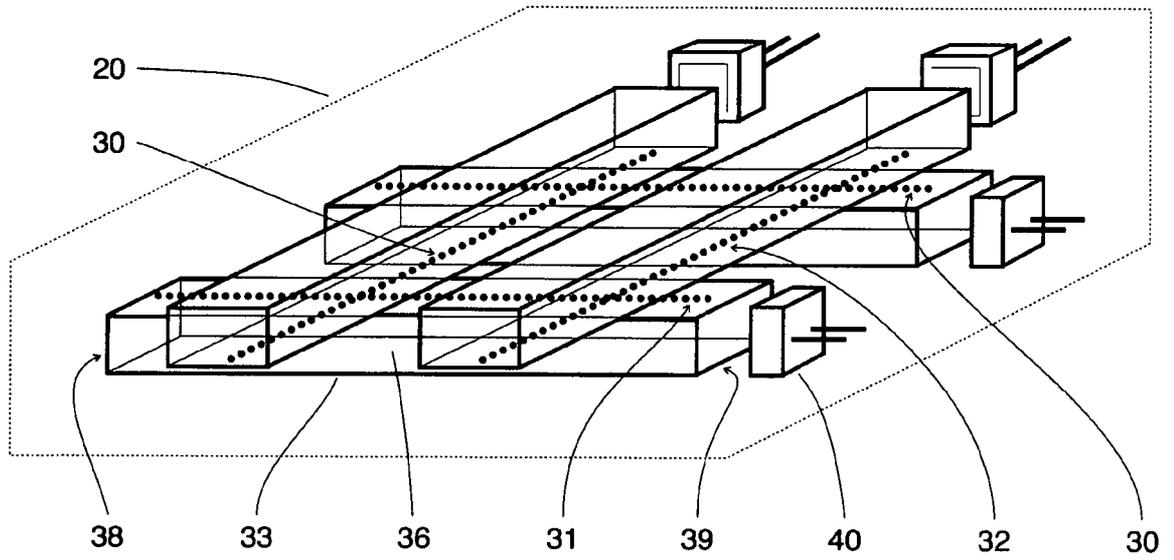
Figur 6



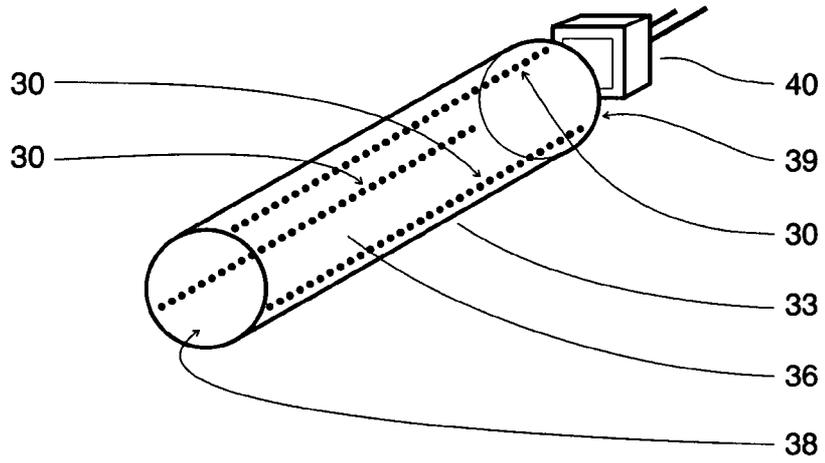
Figur 7



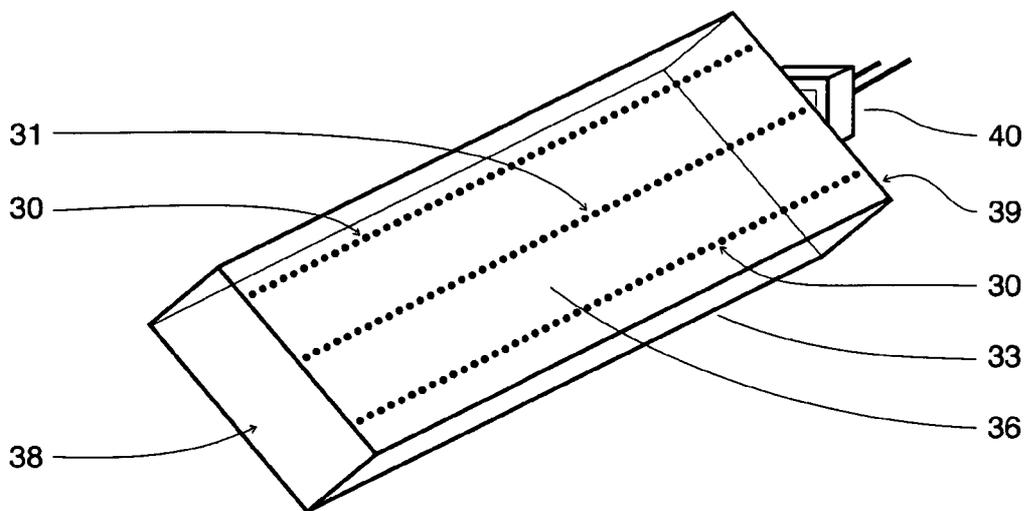
Figur 8



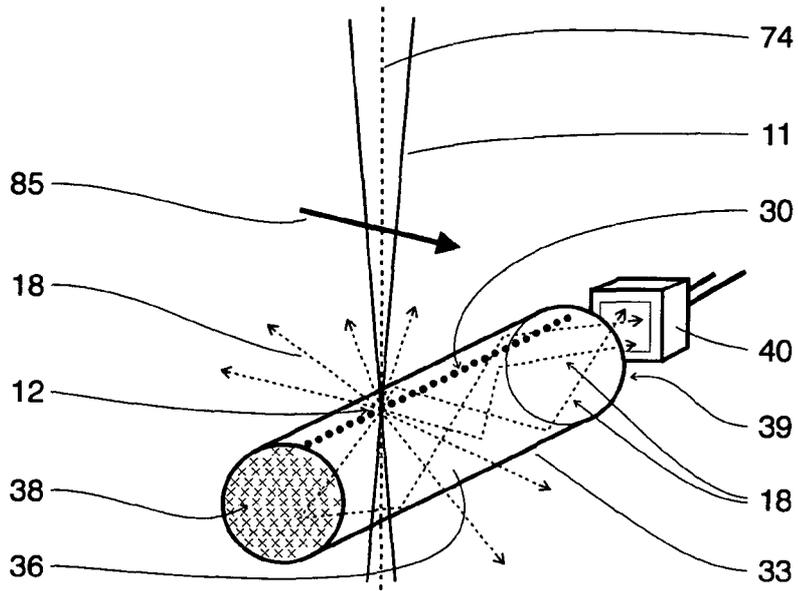
Figur 9



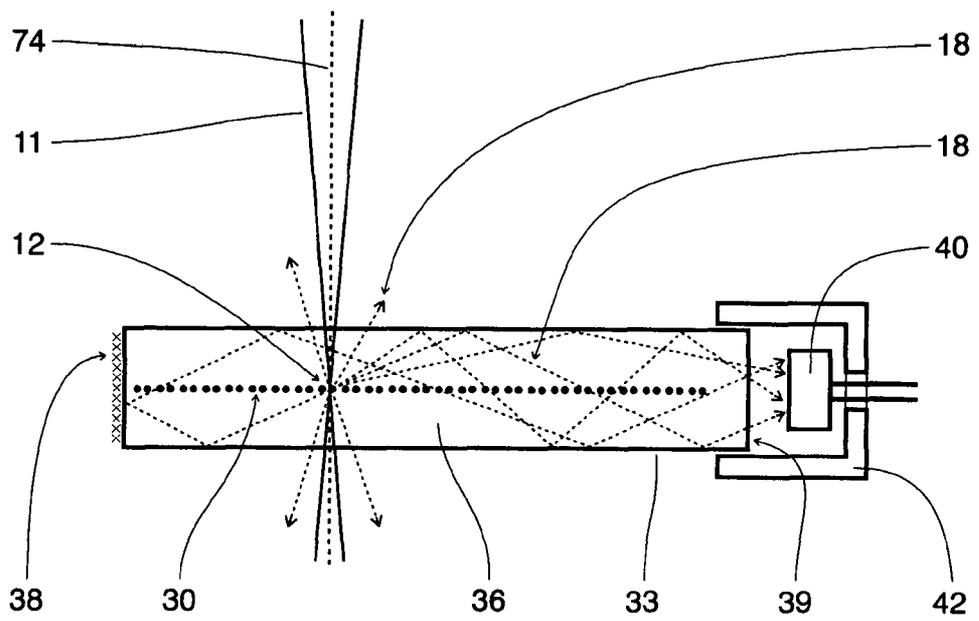
Figur 10



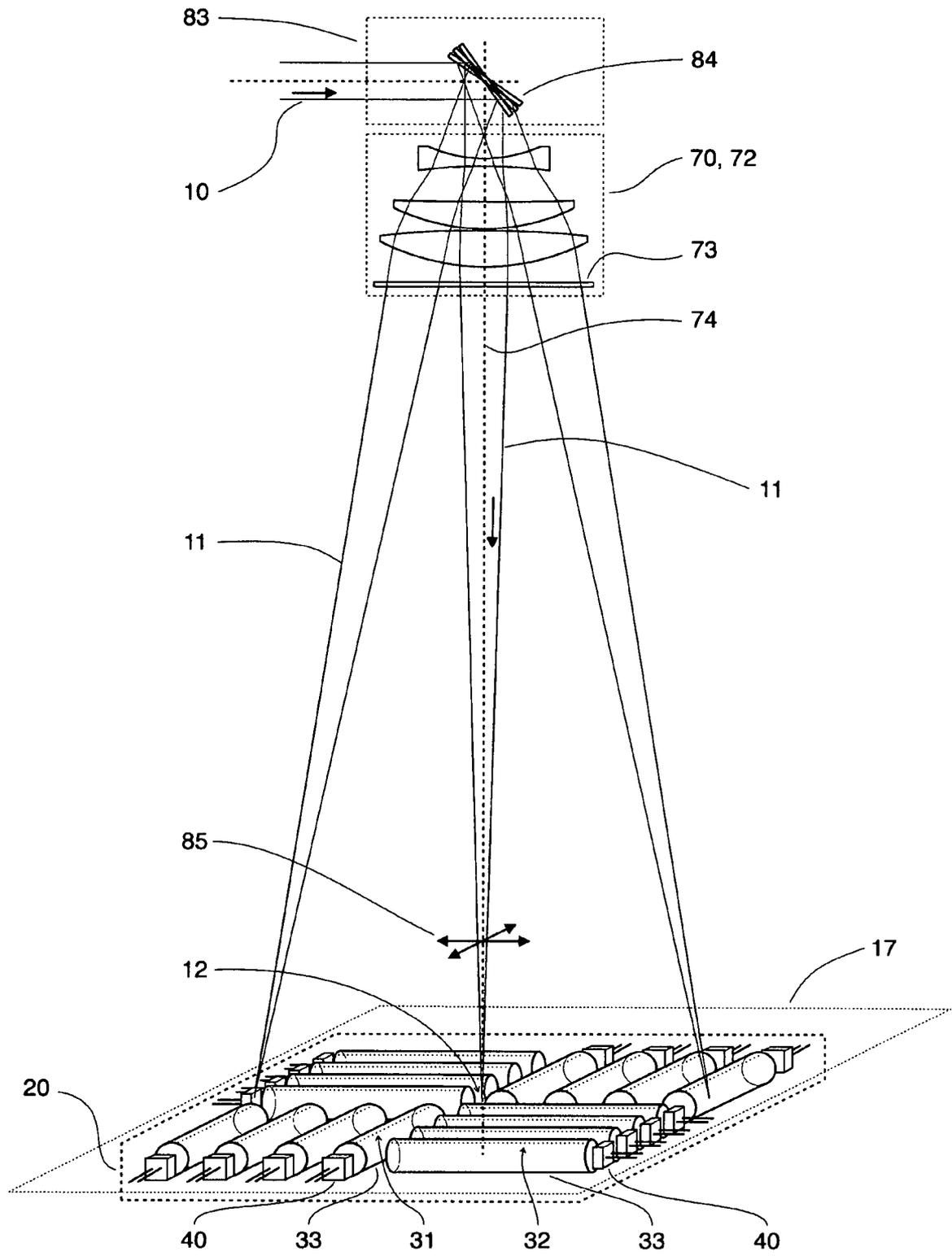
Figur 11



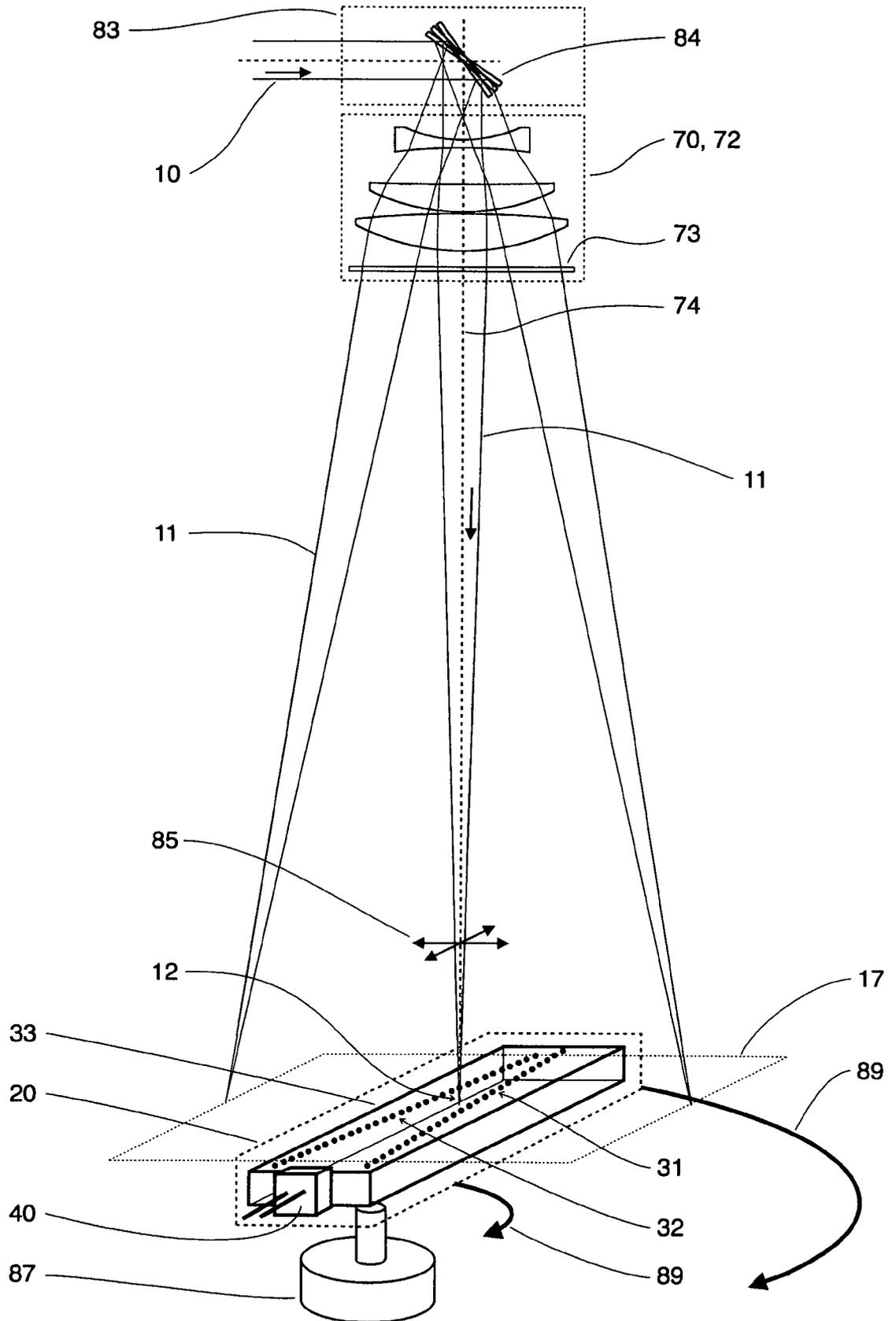
Figur 12



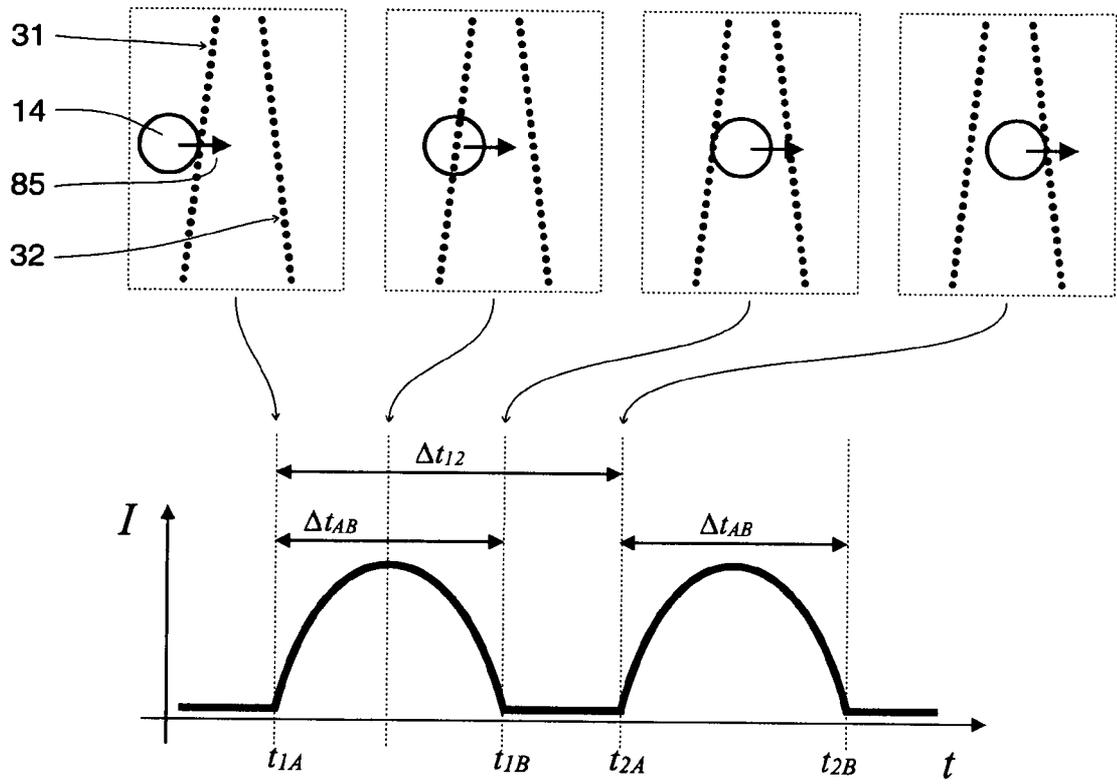
Figur 13



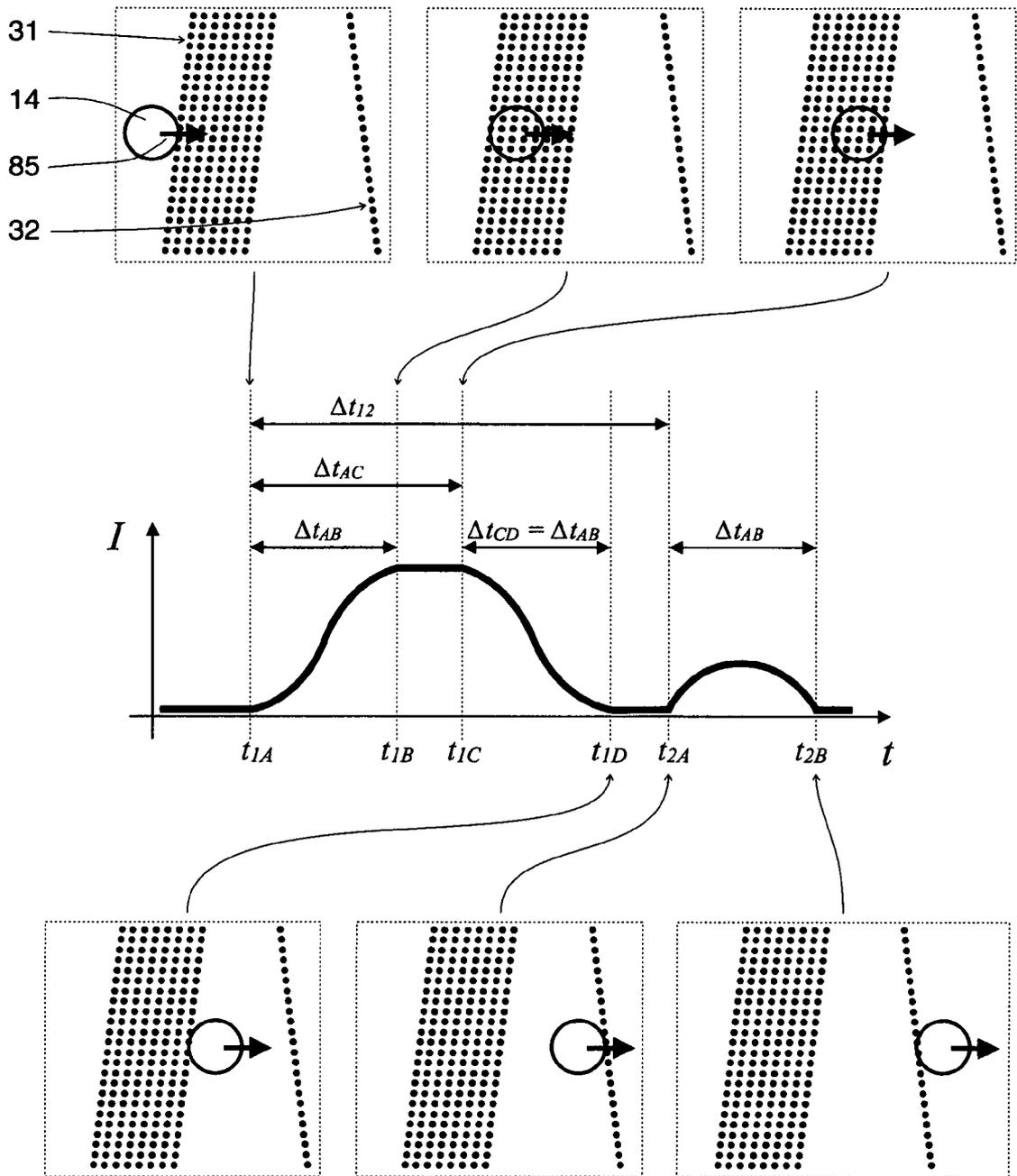
Figur 14



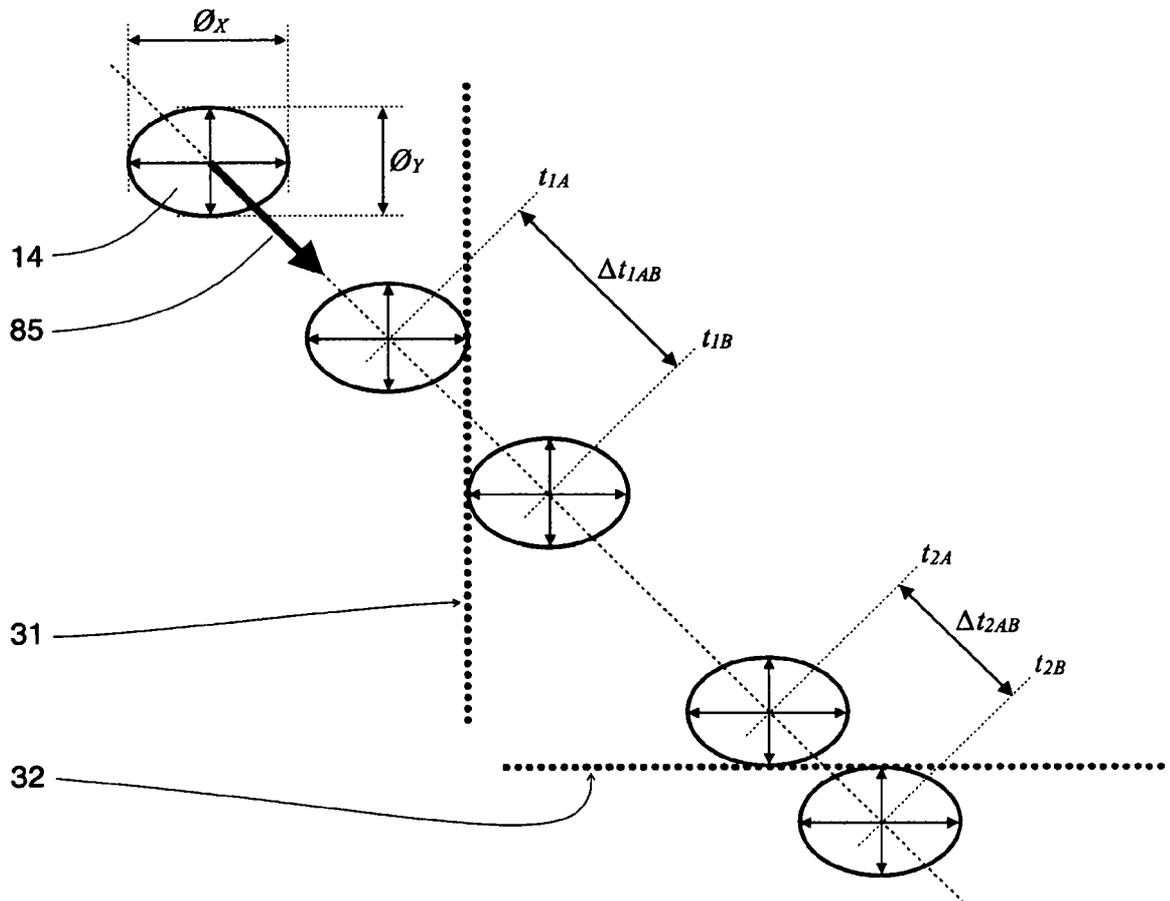
Figur 15



Figur 16



Figur 17



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/DE2016/000114

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01J1/42 G01J1/04
ADD.
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)
G01J
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, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 37 38 480 A1 (LAMBDA PHYSIK FORSCHUNG [DE]) 24 May 1989 (1989-05-24) column 3, line 30 - column 4, line 20; figure 1	1-19
A	DE 199 09 595 A1 (PRIMES GMBH [DE]) 7 September 2000 (2000-09-07) cited in the application column 1, lines 30-65; figures 3,4 ----- -/--	1-19

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	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"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
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"&" document member of the same patent family
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 18 July 2016	Date of mailing of the international search report 01/08/2016
---	--

Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Hambach, Dirk
--	---

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/DE2016/000114

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>KELLY C JORGE ET AL: "Scattered light imaging method (SLIM) for characterization of arbitrary laser beam intensity profiles", APPLIED OPTICS, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, WASHINGTON, DC; US, vol. 53, no. 20, 10 July 2014 (2014-07-10), pages 4555-4564, XP001590773, ISSN: 0003-6935, DOI: 10.1364/AO.53.004555 [retrieved on 2014-07-09] p. 4559, left column; figure 4</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-19
A	<p>US 5 064 284 A (JOHNSTON JR THOMAS F [US] ET AL) 12 November 1991 (1991-11-12) columns 30,31,42; figures 18,19,30a</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-19

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/DE2016/000114

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 3738480	A1	24-05-1989	NONE
DE 19909595	A1	07-09-2000	NONE
US 5064284	A	12-11-1991	NONE

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. G01J1/42 G01J1/04
 ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 G01J

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, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 37 38 480 A1 (LAMBDA PHYSIK FORSCHUNG [DE]) 24. Mai 1989 (1989-05-24) Spalte 3, Zeile 30 - Spalte 4, Zeile 20; Abbildung 1	1-19
A	DE 199 09 595 A1 (PRIMES GMBH [DE]) 7. September 2000 (2000-09-07) in der Anmeldung erwähnt Spalte 1, Zeilen 30-65; Abbildungen 3,4	1-19
	----- -/--	



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

18. Juli 2016

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

01/08/2016

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

Hambach, Dirk

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	<p>KELLY C JORGE ET AL: "Scattered light imaging method (SLIM) for characterization of arbitrary laser beam intensity profiles", APPLIED OPTICS, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, WASHINGTON, DC; US, Bd. 53, Nr. 20, 10. Juli 2014 (2014-07-10), Seiten 4555-4564, XP001590773, ISSN: 0003-6935, DOI: 10.1364/AO.53.004555 [gefunden am 2014-07-09] p. 4559, left column; Abbildung 4</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-19
A	<p>US 5 064 284 A (JOHNSTON JR THOMAS F [US] ET AL) 12. November 1991 (1991-11-12) Spalten 30,31,42; Abbildungen 18,19,30a</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-19

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2016/000114

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 3738480	A1	24-05-1989	KEINE

DE 19909595	A1	07-09-2000	KEINE

US 5064284	A	12-11-1991	KEINE
