

(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
07. Dezember 2017 (07.12.2017)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2017/207261 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

B23K 26/03 (2006.01) G01B 11/22 (2006.01)
G01B 5/00 (2006.01) B23K 26/21 (2014.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2017/061673

(22) Internationales Anmeldedatum:
16. Mai 2017 (16.05.2017)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2016 109 909.0
30. Mai 2016 (30.05.2016) DE

(71) Anmelder: PRECITEC GMBH & CO. KG [DE/DE];
Draisstraße 1, 76571 Gaggenau-Bad Rotenfels (DE).

(72) Erfinder: MOSER, Rüdiger; Franz-Hirth-Str. 2, 76316
Malsch (DE).

(74) Anwalt: TER MEER STEINMEISTER & PARTNER
PATENTANWÄLTE MBB; Nymphenburger Strasse 4,
80335 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, 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, KH, KN, KP, KR, KW, 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).

(54) Title: DEVICE FOR PROCESS MONITORING DURING LASER PROCESSING COMPRISING AN OPTICAL DISTANCE MEASURING DEVICE AND A PRISM DEFLECTION UNIT; LASER PROCESSING HEAD COMPRISING SUCH A DEVICE

(54) Bezeichnung: VORRICHTUNG ZUR PROZESSÜBERWACHUNG BEI DER LASERBEARBEITUNG MIT EINER OPTISCHEN ABSTANDMESSVORRICHTUNG UND EINER PRISMEN-ABLENKEINHEIT; LASERBEARBEITUNGSKOPF MIT EINER SOLCHEN VORRICHTUNG

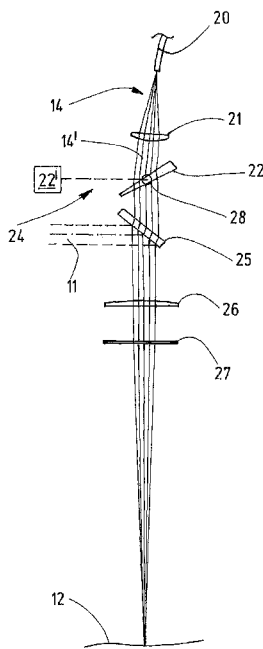


Fig. 2a

(57) Abstract: The invention relates to a device for process monitoring during laser processing, in particular during laser welding and deep laser welding, comprising an optical distance measuring device having a measurement light source for generating a measurement light beam (14), which is focused onto a workpiece surface in order to form a measurement light spot, and comprising a prism deflection unit (24) having at least one prism (22) which is mounted rotatably about an axis (28) running transversely with respect to the measurement light beam (14) and which laterally deflects the measurement light beam (14) for positioning the measurement light spot on the workpiece surface.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Prozessüberwachung bei der Laserbearbeitung, insbesondere beim Laserschweißen und Lasertiefschweißen, mit einer optischen Abstandsmessvorrichtung, die eine Messlichtquelle zur Erzeugung eines Messlichtstrahls (14) aufweist, der auf eine Werkstückoberfläche zur Bildung eines Messlichtflecks fokussiert wird, und mit einer Prismen-Ablenkeinheit (24), die zumindest ein Prisma (22) aufweist, das um eine quer zum Messlichtstrahl (14) verlaufende Achse (28) drehbar gelagert ist und das den Messlichtstrahl (14) zur Positionierung des Messlichtflecks auf der Werkstückoberfläche lateral ablenkt.



WO 2017/207261 A1

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

VORRICHTUNG ZUR PROZESSÜBERWACHUNG BEI DER LASERBEARBEITUNG MIT EINER OPTISCHEN ABSTANDMESSVORRICHTUNG UND EINER PRISMEN-ABLENKEINHEIT ; LASERBEARBEITUNGSKOPF MIT EINER SOLCHEN VORRICHTUNG

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Prozessüberwachung bei der Laserbearbeitung, insbesondere beim Laserschweißen und Lasertiefschweißen mittels optischer Abstandsmessung. Die Abstandsmessung kann dabei insbesondere durch optische Kohärenztomographie erfolgen.

Für die Abstandsmessung zur Prozessüberwachung wird ein Messstrahl üblicher Weise koaxial mit einem Bearbeitungsstrahl überlagert. Um verschiedene Messaufgaben, wie z.B. Finden der Keyholeöffnung, Messen der Einschweißtiefe, also der Keyholetiefe, Referenzmessung auf dem Oberblech, Topographiemessung im Vorlauf, z.B. für Nahtfindung und Nahtverfolgung, Topographiemessung im Nachlauf, z.B. Vermessen der Nahtberraupe zur Fehlererkennung und Qualitätssicherung, und der gleichen, durchführen zu können, ist es erforderlich, den Auftreffpunkt des optischen Messstrahls auf dem Werkstück, also den Messfleck genau positionieren zu können. Dazu muss der Messstrahl, der durch einen Laserbearbeitungskopf, insbesondere durch einen Laserschweißkopf oder Laserschweißscanner hindurch geführt wird, präzise lateral ausgelenkt werden können.

Die anspruchsvollste der oben genannten Messaufgaben ist dabei die Messung der Einschweißtiefe, also die Messung der Tiefe der sich beim Schweißen im Wechselwirkungsbereich zwischen Arbeitslaserstrahl und Werkstück bildenden Dampfkapillare, dem sogenannten Keyhole. Abhängig von Prozessparametern, wie Fokusbereich des Arbeitslaserstrahls, Laserleistung, Vorschubgeschwindigkeit, Material, usw. weist ein Keyhole einen typischen Öffnungsdurchmesser von wenigen hundert Mikrometern auf und kann in Spezialfällen auch deutlich kleiner sein. Um ein optimales Tiefensignal von dem Keyholeboden zu erhalten, muss der Fokus des Messstrahls mit einer lateralen Genauigkeit von weniger als 25 μm auf die zuvor experimentell bestimmte Keyholeöffnung ausgerichtet werden. Die optimale Position befindet sich typischerweise im Nachlauf zum Arbeitslaserstrahl und hängt von der Vorschubrichtung und der Vorschubgeschwindigkeit ab. Insbesondere beim Laserschweißen mit Scannern, also mit Laserbearbeitungsköpfen, bei denen der Arbeitsfokus z.B. mit einem gesteuerten Schwingspiegel quer zur Bearbeitungslinie periodisch ausgelenkt wird, aber auch beim richtungsunabhängigen Schweißen

mit Festoptiken ist eine ständige präzise und schnelle Anpassung der Messfleckposition relativ zum Arbeitslaserstrahl erforderlich.

In periodischen Abständen muss der Messfleck zusätzlich auf das Oberblech gelenkt werden, um dort Abstandsmessungen durchzuführen. Aus der Differenz zwischen dem Abstand zum Oberblech und dem Abstand zum Keyholeboden kann die tatsächliche Keyholetiefe und somit die Einschweißtiefe bestimmt werden. Wird die Keyholeöffnung und damit der Keyholeboden jedoch nicht exakt getroffen, dann erfasst das Messsystem einen falschen Abstandswert und der Anwender erhält die Information einer falschen Einschweißtiefe, so dass das betreffende Bauteil in der Regel als nicht in Ordnung aussortiert wird.

Für die oben genannten Topographiemessungen im Vor- und Nachlauf muss der Messstrahl quer zur Bearbeitungslinie schnell und genau ausgelenkt werden, um die Topographie der Werkstückoberfläche abtasten zu können. Abhängig von der Messaufgabe erfolgt die seitliche Ablenkung über einen Bereich von wenigen bis zu einigen zehn Millimetern.

Somit werden zur Bewältigung der oben genannten Messaufgaben zwei komplementäre Anforderungen an die Ablenkeinheit für den Messstrahl gestellt. Sie muss ein schnelles und hochdynamisches Ablenken des Messstrahls und ein präzises reproduzierbares Positionieren des Messflecks auf vorbestimmte Positionen gewährleisten. Dabei soll das präzise reproduzierbare Positionieren auch über längere Zeiträume, also über mehrere Tage bis einigen Wochen möglich sein.

Üblicherweise werden Lichtstrahlen über Spiegeloptiken abgelenkt. Als Antriebe kommen Galvo-Motoren, Piezo-Antriebe, MEMS (Microelectromechanical systems), oder andere motorische Antriebe zum Einsatz, die eine definierte Drehbewegung des Ablenkspiegels hervorrufen.

Bei der Reflexion an einem Spiegel gilt das Reflexionsgesetz, also Einfallswinkel = Ausfallswinkel. Das bedeutet, dass wenn sich der Spiegelwinkel um den Winkel Φ ändert, sich die Ablenkung des Lichtstrahls um $2 \cdot \Phi$ ändert. Somit können einerseits große Ablenkwinkel erreicht werden, andererseits werden aber auch Drift und Ungenauigkeiten des Antriebs um den Faktor zwei verstärkt. Im Folgenden werden Vor- und Nachteile möglicher Antriebe kurz erläutert:

Vorteile von Galvanometer-Antrieben (Galvo-Motoren) sind große Auslenkwinkel ($\approx 0,35$ rad), sehr gute Reproduzierbarkeit (≈ 2 μ rad), hohe Dynamik, also schnelle Schwenk- und Positionierbarkeit und bei Verwendung großer Spiegel große Aperturen. Nachteilig sind insbesondere bei analogen Positionsdetektoren hohe Langzeit- und Temperaturdriftwerte. Im Fall von analogen Positionsdetektoren zeigen typische Galvo-Scanner eine Langzeitdrift im Bereich von bis zu 600 μ rad. Hinzu kommt ein temperaturabhängiger Drift, der typischerweise im Bereich von 15 μ rad/K liegt. Da in Produktionsumgebungen die Temperatur normalerweise nicht konstant gehalten werden kann, ergeben sich schnell Driftwerte von bis zu mehreren einhundert μ rad, wobei die Ablenkung des optischen Lichtstrahls aufgrund des Reflektionsgesetzes einen doppelt so hohen Drift erfährt. Dieser Drift ist insbesondere in Kombination mit einer Spiegeloptik bereits zu groß, um die oben genannte Messung der Keyholetiefe zuverlässig und stabil durchzuführen.

Mittlerweile werden von diversen Herstellern auf dem Markt auch digitale Positionsdetektoren angeboten, deren Langzeitdriftwerte um ca. eine Größenordnung geringer sind, wobei die Kosten für ein System aktuell jedoch noch deutlich höher sind. Auch die verbesserten Langzeitdriftwerte können keinen zuverlässigen und stabilen Betrieb garantieren, da trotz des digitalen Positionsdetektors stets ein temperaturabhängiger Drift hinzukommt.

Die recht kompakten Piezo-Scanner besitzen ebenfalls eine sehr gute Winkelauflösung, ermöglichen jedoch oft nur einen geringen Auslenkwinkel von weniger als 10 mrad. Modelle mit größerem Auslenkwinkel sind zwar auch auf dem Markt verfügbar, allerdings sind die Kosten für solche Piezo-Scanner sehr hoch. Ferner wird die maximale Spiegelgröße und somit die Apertur des Messstrahls durch die kompakte Bauform begrenzt. Langzeit- und Temperaturdriftwerte werden selten angegeben.

MEMS (Microelectromechanical systems) weisen als Ablenkeinheit eine extrem kompakte Bauform auf, wodurch die maximale Apertur in der Regel im Bereich zwischen 1 bis 4 mm sehr begrenzt ist. Weiterhin werden diese Bauteile häufig im resonanten Modus betrieben, der Umlenkspiegel schwingt also mit seiner Resonanzfrequenz. Um einen Winkel statisch einstellen und halten zu können, sind sogenannte quasistatische MEMS notwendig, deren Herstellung aufwändiger und damit auch teurer ist.

Zur Realisierung der oben genannten Einschweißtiefen- und/oder Topographiemessung ist es erforderlich, den Messstrahl durch einen Laserbearbeitungskopf, insbesondere durch einen Laserschweißkopf oder durch einen Laserschweißscanner zu führen, um ihn koaxial mit dem Bearbeitungsstrahl zu überlagern. Das bedeutet, dass für die Fokussierung des Messstrahls das Fokuselement des Laserbearbeitungskopfes verwendet wird. Dieses weist in der Regel Fokussierbrennweiten im Bereich von 150 bis 1000 mm auf. Um das Messlicht auf der Werkstückoberfläche zu positionieren und insbesondere in die Keyholeöffnung zu fokussieren, und um bei der Topographiemessung eine hohe laterale Auflösung zu erhalten, ist eine geringe Fokusgröße im Bereich von einigen zehn μm erforderlich. Aufgrund der gegebenen großen Fokussierbrennweite ist hierfür ein ausreichend großer Durchmesser des kollimierten Messstrahls erforderlich. Somit sind MEMS basierte Spiegel für diese Aufgabe ungeeignet. Piezo-Scanner besitzen hingegen häufig einen zu geringen Auslenkwinkel, der insbesondere bei der oben genannten Topographiemessung nicht ausreicht. Galvo-Scanner sind hingegen von ihrem Winkelbereich, der Positionsgenauigkeit und Spiegelgröße gut geeignet. Allerdings besitzen sie das angesprochene Problem der großen Driftwerte.

Aus der DE 40 26 130 C2 ist eine Einrichtung zur Ablenkung eines Lichtstrahls über zwei Umlenkspiegel bekannt, die um eine Drehachse unabhängig voneinander gedreht werden können. Da die Ablenkung des Laserstrahls mittels Spiegel erfolgt, gilt hier das Reflexionsgesetz. Das bedeutet, dass wenn sich ein Spiegel um den Winkel Φ dreht, sich die Ablenkung des Lichtstrahls um $2 \cdot \Phi$ ändert. Somit werden Drift und Ungenauigkeiten der entsprechenden Spiegelantriebe jeweils um den Faktor zwei verstärkt.

Aus der DE 44 41 341 C2 ist ein Trommelbelichter oder -scanner bekannt, bei dem ein kippbares Prisma in einem kollimierten Strahlengang angeordnet ist, um die Fokusposition zur Feinjustage oder Vorjustage quer zur optischen Achse des Strahlengangs zu verschieben. Die eigentliche dynamische Strahlableitung erfolgt durch eine Spiegeloptik an einem Drehmotor.

Aus der DE 10 2008 032 751 B3 ist eine Laserbearbeitungsvorrichtung bekannt, bei der zwei Prismen in jeweils einem kollimierten Laserstrahl zur Feinjustage und Ausrichtung der beiden kollimierten Laserstrahlen in einem Punkt im Raum zwischen zwei Ablenkspiegeln eines Galvoscanners verwendet werden. Die zur Laserbearbeitung mit Doppel- oder Mehrfachspot notwendige dynamische Auslenkung erfolgt über die Spiegeloptik des Galvoscanners.

Die DE 20 2008 017 745 U1 betrifft eine Vorrichtung zum Führen eines Lichtstrahls und beschreibt die Verwendung einer rotierend angetriebenen und im Kippwinkel verstellbaren Planplatte in einem konvergenten Strahlengang, sowie die Verwendung einer optischen Gruppe mit zueinander zugewandten komplementären sphärischen Oberflächen. Die Verwendung einer Planplatte im konvergenten Strahlengang hat jedoch signifikante Abbildungsfehler zur Folge, die für Abstandsmessungen nachteilig sind.

Die DE 43 91 446 C2 betrifft einen Laserstrahl-Scanner und beschreibt die Verwendung eines rotierend angetriebenen Prismas zum Ablenken eines kollimierten Laserstrahls, um eine kreisförmige Bahn zu erhalten. Die Rotation des Prismas erfolgt um die optischen Achse herum. Der Ablenkwinkel des Laserstrahls bleibt dabei konstant.

Die DE 198 17 851 C1 betrifft ein Verfahren zum Ablenken eines Laserstrahls und beschreibt die Verwendung von zwei Keilplatten mit demselben Keilwinkel, die unabhängig voneinander um die optische Achse drehbar angeordnet sind. Somit lässt sich jeder Punkt auf einer durch die Keilwinkel vorgegebenen Kreisfläche gezielt ansteuern. Dieses Verfahren ist auch unter dem Namen Risley-Prismen Scanner bekannt. Um ein lineares Scanmuster zu erhalten, müssen beide Keilplatten mit vordefinierten Winkelgeschwindigkeiten gedreht werden.

In der DE 10 2016 005 021 A1 ist eine Vorrichtung zur Messung der Tiefe der Dampfkapillare während eines Bearbeitungsprozesses mit einem Hochenergiestrahls gezeigt, bei der ein kollimierter Messlichtstrahl auf eine Keilplatte trifft, die von einem Motor um eine Drehachse gedreht werden kann. Die Drehachse steht dabei senkrecht zu einer ersten Planfläche und quer zum Messlichtstrahl. Die erste Planfläche wirkt somit als Umlenkspiegel und erzeugt einen ersten Messlichtstrahl, dessen Richtung ebenfalls unveränderlich ist. Die zweite Planfläche schließt mit der Drehachse einen von 90 Grad verschiedenen Winkel mit der Drehachse ein. Auf diese Weise wird ein zweiter Messlichtstrahl erzeugt, der gegenüber dem ersten Messlichtstrahl entsprechend dem Keilwinkel der Keilplatte geneigt ist. Die Ausbreitungsrichtung des zweiten Messlichtstrahls hängt dabei von der Orientierung der Keilplatte ab. Auf der Oberfläche eines Werkstücks lassen sich auf diese Weise zwei Messpunkte erzeugen, die unabhängig vom Drehwinkel der Keilplatte stets den gleichen Abstand voneinander aufweisen. Über den Drehwinkel der Keilplatte lässt sich der zweite Messlichtfleck auf einer Kreisbahn um den ersten Messlichtfleck herum bewegen.

Aus der JP 10-034366 A ist eine Laserstrahlbearbeitungsvorrichtung bekannt, bei der ein Arbeitslaserstrahl von einer Linse in einem Brennpunkt fokussiert wird. Ein Beobachtungsstrahlengang wird von einem Kollimator kollimiert und trifft nacheinander auf eine Keilplatte, deren erste Fläche senkrecht zum einfallenden Messlichtstrahl steht. In Strahlrichtung hinter der Keilplatte ist eine planparallele Platte angeordnet, die gegen beide Flächen der Keilplatte geneigt ist. Werden die Keilplatte und die planparallele Platte gemeinsam um die optische Achse gedreht, so wandert ein Messlichtfleck auf einer entsprechenden Kreisbahn um die optische Achse herum.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung zur Prozessüberwachung bei der Laserbearbeitung bereit zu stellen, bei der ein optischer Messstrahl, der insbesondere durch einen Laserbearbeitungskopf hindurch geführt ist, zur Positionierung eines Messflecks auf einer Werkstückoberfläche schnell und präzise reproduzierbar ausgelenkt werden kann.

Diese Aufgabe wird durch die Vorrichtung nach Patentanspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen beschrieben.

Erfindungsgemäß ist also bei einer Vorrichtung zur Prozessüberwachung bei der Laserbearbeitung, insbesondere beim Laserschweißen und Lasertiefschweißen, eine optischen Abstandsmessvorrichtung, die eine Messlichtquelle zur Erzeugung eines Messlichtstrahls aufweist, der auf eine Werkstückoberfläche zur Bildung eines Messlichtflecks fokussiert wird, und eine Prismen-Ablenkeinheit vorgesehen, die zumindest ein Prisma aufweist, das um eine quer zum Messlichtstrahl verlaufende Achse drehbar gelagert ist und das den Messlichtstrahl zur Positionierung des Messlichtflecks auf der Werkstückoberfläche lateral ablenkt. Hierdurch lässt es sich erreichen, dass Abweichungen von einer gewünschten Stellung des Prismas nur einen minimierten Einfluss auf die Ablenkgenauigkeit des Messlichtstrahls haben, da große Drehbewegungen des Prismas nur relativ kleine Ablenkungen des Messlichtstrahls zur Folge haben.

Um den Messlichtstrahl über einen zweidimensionalen Mess- oder Beobachtungsbereich führen zu können, ist es zweckmäßig, wenn die Prismen-Ablenkeinheit zwei Prismen aufweist, die im Winkel von 90° zueinander angeordnet sind, und die beide um eine quer zum Messlichtstrahl verlaufende Achse drehbar gelagert sind, wobei das oder die Prismen von jeweils von einem Stellantrieb gedreht werden können, die unabhängig voneinander ansteuerbar sind.

Um eine schnelle und hochdynamische Ablenkung des Messlichtstrahls für die verschiedensten Messaufgaben zu gewährleisten, ist es vorteilhaft, wenn als Stellantrieb ein Galvo-Motor vorgesehen ist. Galvo-Motoren sind zuverlässige und gut zu steuernde Antriebe, deren Drift aufgrund der optischen Unterersetzung durch das oder die Prismen nur noch einen geringen Einfluss auf die Positioniergenauigkeit haben.

Zweckmäßigerweise ist die Prismen-Ablenkeinheit in einem parallelen Abschnitt des Messlichtstrahls, insbesondere zwischen einer Kollimatoroptik und einer Fokussieroptik angeordnet ist, wobei die Kollimatoroptik gegen die optische Achse der Fokussieroptik geneigt ist. Auf diese Weise wird erreicht, dass der Messlichtstrahl nach der Ablenkung durch das oder die Prismen im wesentlichen parallel zur optischen Achse der Fokussieroptik verläuft.

Bei einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass das oder die Prismen der Prismen-Ablenkeinheit mit einer oder mehreren Antireflexschichten versehen sind, wobei deren Transmission für einen großen Winkelbereich ausgelegt ist. Da auf diese Weise eine Transmission nahe 100% zu erreichen ist, erfährt das Messlicht praktisch keine Verluste und das Messen größerer Einschweißiefen wird möglich. Ferner treten keine Interferenzen innerhalb der Optik auf, die zu Störsignalen im Messsystem führen könnten.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Prozessüberwachung bei der Laserbearbeitung, insbesondere beim Laserschweißen und Lasertiefschweißen lässt sich mit einem Laserbearbeitungskopf, insbesondere mit einem Laserschweißkopf oder Laserschweißscanner verwenden, durch den ein Bearbeitungslaserstrahl geführt ist und in dem einer Fokussieroptik angeordnet ist, die den Bearbeitungslaserstrahl in einen Arbeitsfokus auf einem Werkstück fokussiert. Dabei wird der Messlichtstrahl dem Bearbeitungslaserstrahl überlagert, in dem er über einen Strahlteiler in den Bearbeitungslaserstrahl eingekoppelt wird. Die Prismen-Ablenkeinheit ist dabei zwischen einer Kollimatoroptik und dem Strahlteiler angeordnet.

Die Erfindung wird im folgenden beispielsweise anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

Figur 1 eine schematische vereinfachte Darstellung eines Laserbearbeitungskopfes mit einer integrierten Vorrichtung zur Prozessüberwachung bei der Laserbearbeitung gemäß der vorliegenden Erfindung,

Figur 2a und 2b jeweils eine vereinfachte schematische Darstellung eines Messstrahlengangs einer Vorrichtung zur Prozessüberwachung bei der Laserbearbeitung,

Figur 3 eine Darstellung der Ablenkung eines Lichtstrahls durch ein Prisma zur Erläuterung des Funktionsprinzips einer Prismen-Ablenkeinheit,

Figur 4 eine Darstellung eines Strahlversatzes in der Bearbeitungsebene in Abhängigkeit vom Kippwinkel des Prismas der Prismen-Ablenkeinheit,

Figur 5a ein schematische Darstellung einer Ablenkeinheit mit Spiegeloptik,

Figur 5b eine Darstellung ähnlich Figur 3 zum Vergleich einer Prismen-Ablenkeinheit mit einer Spiegel-Ablenkeinheit,

Figur 6 eine Darstellung des Strahlversatzes in Abhängigkeit vom Drehwinkel eines Spiegel- bzw. Prismen-Antriebs,

Figur 7 gemessene und simulierte Strahlprofile im Focus eines Messstrahls mit und ohne Prisma,

Figur 8 simulierte Stahlprofile im Focus eines Messstrahls, der mittels zwei hintereinander geschalteter Prismen ablenkbar ist.

In den verschiedenen Figuren der Zeichnung sind einander entsprechende Element mit gleichen Bezugszeichen versehen.

Figur 1 zeigt schematisch einen Laserbearbeitungskopf 10 durch den hindurch ein Bearbeitungslaserstrahl 11 auf die Oberfläche eines Werkstücks 12 geführt ist. Der Laserbearbeitungskopf 10 kann dabei insbesondere ein Laserschweißkopf oder ein Laserschweißscanner sein. Im Laserbearbeitungskopf 10 ist dem Bearbeitungslaserstrahl 11 ein Messlichtstrahl 14 überlagert, der unten anhand von Figur 2a und 2b näher erläutert wird. Das Messlicht wird von einer nicht näher dar-

gestellten, in einer Auswerteeinheit 15 einer Vorrichtung zur Prozessüberwachung integrierten Lichtquelle über einen Lichtwellenleiter 16, einen Strahlteiler 17 und einen weiteren Lichtwellenleiter 20 an den Laserbearbeitungskopf 10 geführt. Wird die Abstandsmessung gemäß der Kohärenztomografie durchgeführt, so wird im Strahlteiler 17, der vorzugsweise einen Faserkoppler aufweisen kann, das Messlicht aufgespalten und einem Referenzarm 18 und einem Messarm 19 zugeführt, der den Lichtwellenleiter 20 und den Strahlengang des Messlichts im Laserbearbeitungskopf 10 umfasst.

Wie in Figur 2a gezeigt, wird das Messlicht, das aus der Endfläche des Lichtwellenleiters 20 divergent austritt, von einer Kollimatoroptik 21 kollimiert, um einen parallelen Messlichtstrahl 14' zu erhalten. Der parallele Messlichtstrahl 14' wird von einem Prisma 22 einer Prismen-Ablenkeinheit 24 abgelenkt und trifft auf einen Strahlteiler 25, über den der Bearbeitungslaserstrahl 11 mit dem Messlichtstrahl 14 überlagert wird, wie in Figur 2a gestrichelt angedeutet ist. Der Bearbeitungslaserstrahl 11 und der parallele Messlichtstrahl 14' werden dann von einer gemeinsamen Fokussieroptik 26, vor der strahlaustrittsseitig ein Schutzglas 27 angeordnet ist, in einem Bearbeitungsfokus bzw. einen Messfleck fokussiert. Die brechende Kante 22'' des Prismas 22, also die Schnittlinie seiner beiden brechenden Flächen, die den Keil- oder Scheitelwinkel δ des Prismas einschließen (siehe Figur 3), verläuft dabei parallel zur Drehachse 28, so dass sich durch Drehen des Prismas 22 sein Kippwinkel, also der Winkel seiner beiden brechenden Flächen gegenüber dem einfallenden Lichtstrahl (optische Achse der Kollimatoroptik 21) gezielt verändern lässt. Über den Kippwinkel des Prismas 22 relativ zur optischen Achse des Bearbeitungsstrahlengangs, der mittels eines Stellantriebs 22' eingestellt werden kann, lässt sich die Position des Messflecks relativ zum Bearbeitungsfokus gezielt verschieben.

Um eine Positionierung des Messflecks relativ zum Bearbeitungsfokus sowohl in Vorschubrichtung als auch senkrecht dazu zu realisieren, weist die Strahlführungsoptik für den Messlichtstrahl 14 zusätzlich zu dem Prisma 22 ein zweites Prisma 23 auf, das so angeordnet ist, dass sein Keilwinkel, also seine brechende Kante 23'' senkrecht zum Keilwinkel, also zur brechenden Kante 22'' des ersten Prismas 22 verläuft. Auch die Drehachsen 28 der beiden Prismen 22, 23, die parallel zu deren brechenden Kanten 22'', 23'' angeordnet sind, verlaufen somit senkrecht zu einander. Beide Prismen 22, 23 können durch zugeordnete Stellantriebe 22', 23', die unabhängig voneinander angesteuert werden können, in gewünschter Weise gedreht oder gekippt und damit eingestellt werden.

Erfindungsgemäß wird also als ablenkendes Strahlelement keine Spiegeloptik verwendet, sondern ein oder zwei Prismen 22, 23, also eine transmissive Prismenoptik. Somit wird nicht, wie bei einer Spiegeloptik, die mechanische Drehbewegung eines Spiegels aufgrund des Reflexionsgesetzes in eine doppelt so große optische Strahlablenkung umgewandelt, was einer optischen Übersetzung entspricht. Die mechanische Drehbewegung wird hingegen untersetzt und hat eine kleinere optische Ablenkung zur Folge.

In Kombination mit einem rotierenden und schnell positionierbaren Antrieb, wie beispielsweise einem Galvo-Motor, ergeben sich für die oben genannten Messaufgaben folgende Vorteile:

Die vorhandenen Driftbewegungen des als Stellelement für das Prisma 22 dienenden Galvo-Motors (nicht gezeigt) werden optisch untersetzt, so dass ein Wegdriften der Messfleckposition aus der Dampfkapillare verhindert werden kann. Das für die Topographiemessung im Vor- und Nachlauf notwendige Scan- oder Abtastfeld kann trotz der Untersetzung vollständig abgetastet werden. Durch die optische Untersetzung arbeitet der Galvo-Motor in seinem vollen Winkelbereich und kann optimal ausgenutzt werden. Das oder die Prismen 22, 23 der Prismenoptik lassen sich auch mit anderen Antriebskonzepten wie beispielsweise Piezoantrieben, Bandantrieben usw. kombinieren.

In Figur 3 ist das Prisma 22, 23 gezeigt, das um eine Drehachse 28 (senkrecht zu Zeichnungsebene), die senkrecht zur nicht gezeigten optischen Achse des Messlichtstrahlengangs verläuft, dreh- oder kippbar gelagert ist, um die Funktionsweise einer eindimensionalen Prismen-Ablenkeinheit zu veranschaulichen. Das Prisma 22, 23 kann von einem ebenfalls nicht dargestellten Drehantrieb gedreht werden.

Mit Hilfe des Brechungsgesetzes und geometrischen Beziehungen ergibt sich die aus der Literatur bekannte Gleichung für den Gesamtablenkwinkel eines Prismas

$$\gamma = \alpha_1 - \delta + \arcsin \left(\sin \delta \sqrt{\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 - \sin^2 \alpha_1} - \cos \delta \sin \alpha_1 \right)$$

Dabei bezeichnet α_1 den Einfallswinkel zur Flächennormalen, n_1 und n_2 die Brechungsindizes des Umgebungsmediums bzw. des Prismenmaterials und δ den Scheitelwinkel des Prismas.

Der minimale Ablenkwinkel liegt bei symmetrischem Lichtdurchgang vor. Hierfür gilt

$$\gamma_{\min} = 2 \arcsin\left(\frac{n_1}{n_2} \sin \frac{\delta}{2}\right) - \delta$$

Weicht der Lichtdurchgang hiervon ab, so vergrößert sich der Ablenkwinkel sowohl bei positiver als auch negativer Drehung des Prismas 22, 23. Dieses Verhalten ist in Figur 4 anhand einer 1D (eindimensionalen)-Prismen-Ablenkeinheit dargestellt, die zwischen dem Kollimator 21 und dem 45° Strahlteiler 24 angeordnet ist. Da ein Prisma unabhängig vom Prismenwinkel den Strahl immer in die gleiche Richtung ablenkt, ist die optische Achse des Kollimators 21 gegen die optische Achse der Fokussieroptik 25 geneigt, so dass im Bezugssystem der Bearbeitungsebene, also der Werkstückoberfläche der Strahl von einer gewählten Nullposition sowohl in positive, als auch negative Richtung ausgelenkt werden kann. Wie aus der Figur 4 und der obigen Gleichung ersichtlich ist, ergibt sich kein linearer Zusammenhang zwischen Kippwinkel und Strahlversatz in der Bearbeitungsebene. Durch eine Korrekturfunktion in der Ansteuerung des Antriebs kann dieses Verhalten jedoch korrigiert werden.

Die Figur 4 zeigt das Ergebnis einer Simulation des Strahlversatzes in der Bearbeitungsebene als Funktion des Dreh- oder Kippwinkels der Prismenoptik der Strahlableinheit für einen Laserbearbeitungskopf mit einer Fokussier-Brennweite von $f=300$ mm. Die Kollimationseinheit, also der Kollimator 21 wurde um 5° geneigt, um einen senkrechten Durchgang durch die Fokussieroptik 25 zu ermöglichen. Der Scheitelwinkel des Prismas betrug 7,68°. Aufgrund der brechenden Eigenschaft kann das Prisma 22 in zwei Winkelbereichen eingesetzt werden, um einen Strahlversatz in positive und negative Richtung zu ermöglichen.

Die linke Hälfte von Figur 4 zeigt den Strahlversatz in der Bearbeitungsebene, wenn das Prisma 22 aus der Stellung für symmetrischem Lichtdurchgang im Uhrzeigersinn gedreht wird, während die rechte Hälfte von Figur 4 den Strahlversatz in der Bearbeitungsebene zeigt, der sich ergibt, wenn das Prisma 22 im Gegenuhrzeigersinn gedreht wird. Für beide Situationen lässt sich eine Winkelstellung finden, die in Bezug auf die Lage des Messflecks in der Bearbeitungsebene ein

Nullposition darstellt. Für die Drehung des Prismas 22 im Uhrzeigersinn liegt diese Winkelstellung bei etwa -58° gegenüber der Stellung für symmetrischem Lichtdurchgang und für die Drehung des Prismas 22 im Gegenuhrzeigersinn bei etwa 48° .

Während sich bei einer Spiegel-Ablenkeinheit bereits bei kleinen Drehwinkeln des Antriebs (Galvo-Motor) eine große Strahlablenkung ergibt, wie in Figur 5a dargestellt ist, erhält man mit einer Prismen-Ablenkeinheit auch bei relativ großen Drehwinkel des Antriebs und damit des Prismas eine relativ kleine Strahlablenkung wie in Figur 5b dargestellt ist. Figur 6 zeigt den Vergleich zwischen einem Prismen-Scanner und einem konventionellen Spiegel-Scanner. Aufgrund der optischen Untersetzung bei der Prismenoptik wird der Drehwinkel eines typischen Galvo-Motors nahezu vollständig ausgenutzt. Bei einer Spiegeloptik arbeitet der Antrieb lediglich in einem sehr begrenzten Winkelbereich, so dass Ungenauigkeiten und Driftbewegungen keine stabile Positionierung auf die Öffnung eines Keyholes in typischen Produktionsumgebungen ermöglichen.

Insbesondere zeigt Figur 6 den seitlichen oder lateralen Strahlversatz in der Bearbeitungsebene eines Laserbearbeitungskopfes mit einer Fokussier-Brennweite von $f=300$ mm als Funktion des Dreh- oder Kippwinkels einer Prismenoptik (Linie mit Punkten) und einer Spiegeloptik (Linie mit Kreuzen). Der Scheitelwinkel des Prismas beträgt $7,68^\circ$. Prisma und Spiegel sind im kollimierten Strahl angeordnet.

Aufgrund des wellenlängenabhängigen Brechungsindex kommt es beim Durchgang von spektral breitbandigem Messlicht zu einer chromatischen Aufspaltung. Figur 7 zeigt die gemessene und simulierte Intensitätsverteilung im Fokuspunkt eines Messstrahls, also des Messflecks, der durch eine Bearbeitungsoptik, also die Fokussieroptik eines Laserbearbeitungskopfes mit einer Fokussierbrennweite von $f=300$ mm fokussiert wurde. Die benutzte Lichtquelle besaß eine spektrale Breite von 40 nm. Bei der Messung ohne Prismen-Ablenkeinheit oder -Scanner zeigt sich im Fokus ein rundes gaußförmiges und beugungsbegrenztes Intensitätsprofil sowohl bei der Messung als auch bei der Simulation. Bei Verwendung eines Prismas im kollimierten Strahlengang, also bei einer Anordnung wie in Figur 2a gezeigt, ergibt sich eine geringe chromatische Aufspaltung. Das Strahlprofil kommt trotzdem nahe an die beugungsbegrenzte Intensitätsverteilung heran, so dass die Eignung des Messflecks für die Messung der Tiefe der Dampfkapillare gegeben ist.

Figur 8 zeigt simulierte Intensitätsverteilungen bei Verwendung von zwei im Winkel von 90° zueinander angeordneter Prismen 22, 23 (2D(zweidimensionaler)-Prismen-Scanner oder Ablenkeinheit) an unterschiedlichen Positionen in einem Abtastfeld in einer Bearbeitungsebene mit einer für die oben genannten Messaufgabe typischen Größe von etwa $10\text{ mm} \times 10\text{ mm}$. Unabhängig von der Abtastfeldposition zeigt das Strahlprofil eine Größe, die dem Beugungslimit nahe kommt, so dass der Messstrahl selbst wenn er zwei hintereinander angeordnete Prismen durchläuft vollständig in eine Keyholeöffnung fokussiert werden kann. Auch eine hohe laterale Auflösung bei Topographiemessungen ist möglich, da der Messfleckdurchmesser mit weniger als $100\text{ }\mu\text{m}$ eine geringe Größe aufweist. Durch die Verwendung zweier im 90° Winkel zueinander gedrehter Prismen 22, 23, wie in Figur 2b dargestellt, kann der Messlichtstrahl 14 an jede beliebige Position innerhalb des Abtastfeldes positioniert werden. Jedes Prisma lenkt den Messstrahl lediglich in einer Richtung ab.

Für die Abstandsmessung zur Bestimmung der Keyholetiefe wird der Messfleck mit den beiden Prismen 22, 23 der Prismen-Ablenkeinheit reproduzierbar abwechselnd auf das Keyhole auf das Werkstück 12 neben der Schweißnaht fokussiert. Die Prismen 22, 23 werden bei den jeweiligen Messungen statisch in den jeweiligen Positionen gehalten.

Bei Topographiemessungen im Vorlauf und im Nachlauf dient das eine Prisma 22 (oder 23) dazu, den Messfleck in den gewünschten Abtastbereich zu positionieren, während das andere Prisma 23 (oder 22) den Messlichtfleck bei seiner Drehung über den Abtastbereich führt.

Der erfindungsgemäße Einsatz eines Prismas in Kombination mit einem schnellen hochdynamischen Antrieb, wie beispielsweise einem Galvo-Motor, ermöglicht es eine an die Bedürfnisse bei der Prozessüberwachung beim Laserschweißen angepasste Strahlableitung zu erhalten. Um eine zweidimensionale Ablenkeinheit zu realisieren, werden zwei Prismen im 90° Winkel zueinander angeordnet. Diese Ablenkeinheit in Kombination mit einem optischen Abstandsmesssystem, wie beispielsweise der Optischen Kohärenztomographie, ermöglicht es die eingangs genannten Messaufgaben zuverlässig durchzuführen. Ein wesentlicher Vorteil der Erfindung ist dabei, dass Driftbewegungen des Messstrahls in der Bearbeitungsebene deutlich reduziert werden können und dass der gesamte Drehwinkel des Antriebs aufgrund der optischen Umkehrung durch die Prismenoptik ausgenutzt werden kann.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Prozessüberwachung bei der Laserbearbeitung, insbesondere beim Laserschweißen und Lasertiefschweißen, mit
 - einer optischen Abstandsmessvorrichtung, die eine Messlichtquelle zur Erzeugung eines Messlichtstrahls (14) aufweist, der auf eine Werkstückoberfläche zur Bildung eines Messlichtflecks fokussiert wird, und
 - einer Prismen-Ablenkeinheit (24), die zumindest ein Prisma (22) aufweist, das so um eine quer zum Messlichtstrahl (14) verlaufende Achse (28) drehbar gelagert ist, dass sich der Messlichtstrahl (14) zur Positionierung des Messlichtflecks auf der Werkstückoberfläche über den Kippwinkel des Prismas (22) relativ zur optischen Achse gezielt lateral verschieben lässt.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Prismen-Ablenkeinheit (24) zwei Prismen (22, 23) aufweist, die im Winkel von 90° zueinander angeordnet sind, und die beide um eine quer zum Messlichtstrahl (14) verlaufende Achse drehbar gelagert sind.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das oder die Prismen (22, 23) von jeweils von einem Stellantrieb (22', 23') gedreht werden können, wobei die Stellantriebe (22', 23') unabhängig voneinander ansteuerbar sind.
4. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass als Stellantrieb (22', 23') ein Galvo-Motor vorgesehen ist.
5. Vorrichtung nach einem der vorstehende Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Prismen-Ablenkeinheit (24) in einem parallelen Abschnitt (14') des Messlichtstrahls (14) angeordnet ist, insbesondere zwischen einer Kollimatoroptik (21) und einer Fokussieroptik (26).
6. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Kollimatoroptik (21) gegen die optische Achse der Fokussieroptik (26) geneigt ist.
7. Vorrichtung nach einem der vorstehende Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das oder die Prismen (22, 23) der Prismen-Ablenkeinheit (24) mit einer oder mehreren Antire-

flexschichten versehen sind, wobei die Transmission der Antireflexschichten für einen großen Winkelbereich ausgelegt sind.

8. Laserbearbeitungskopf (10), durch den ein Bearbeitungslaserstrahl (11) geführt ist und in dem eine Fokussieroptik (26) angeordnet ist, die den Bearbeitungslaserstrahl (11) in einen Arbeitsfokus auf einem Werkstück (12) fokussiert, mit einer Vorrichtung zur Prozessüberwachung bei der Laserbearbeitung, insbesondere beim Laserschweißen und Lasertiefschweißen nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Messlichtstrahl (14) dem Bearbeitungslaserstrahl (11) überlagert ist.

9. Laserbearbeitungskopf (10) nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Messlichtstrahl über einen Strahlteiler (25) in den Bearbeitungslaserstrahl (11) eingekoppelt ist, und dass die Prismen-Ablenkeinheit (24) zwischen einer Kollimatoroptik (21) und dem Strahlteiler (25) angeordnet ist.

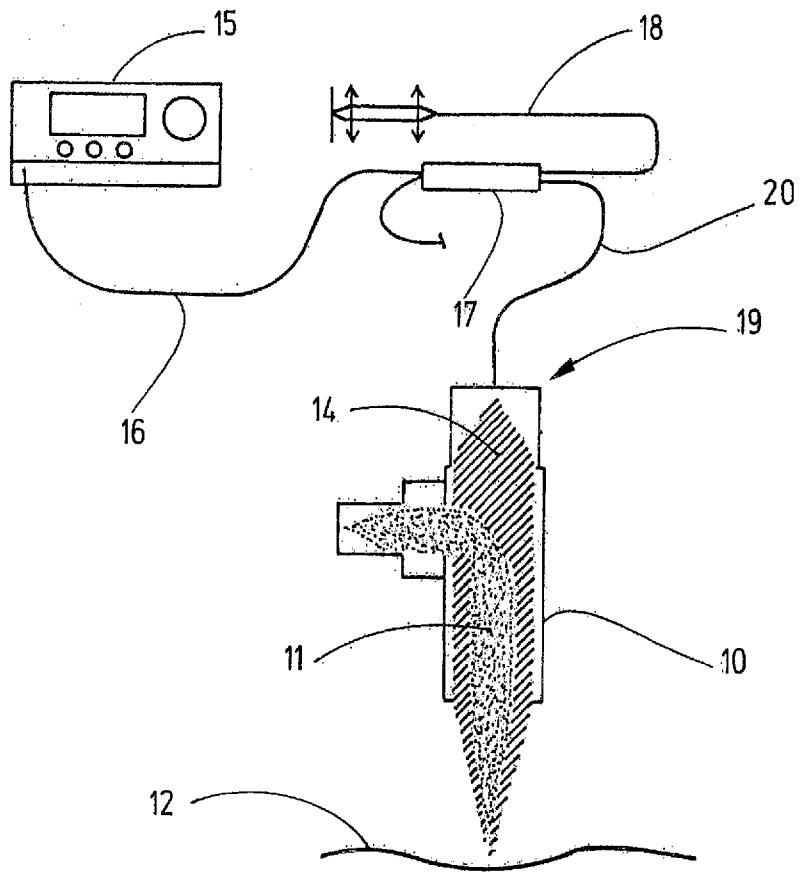


Fig.1

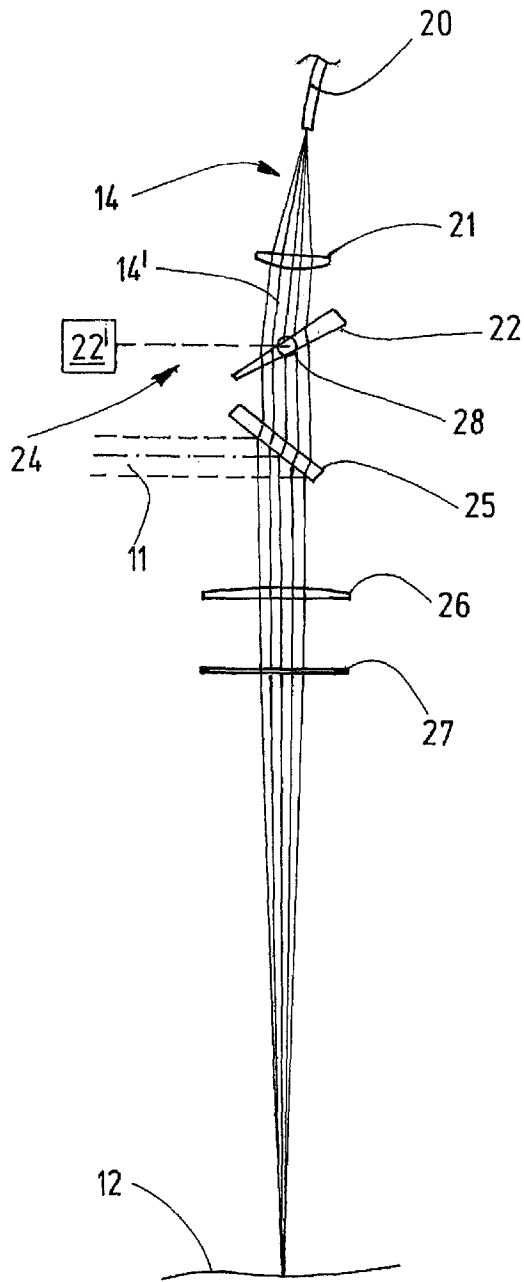


Fig.2a

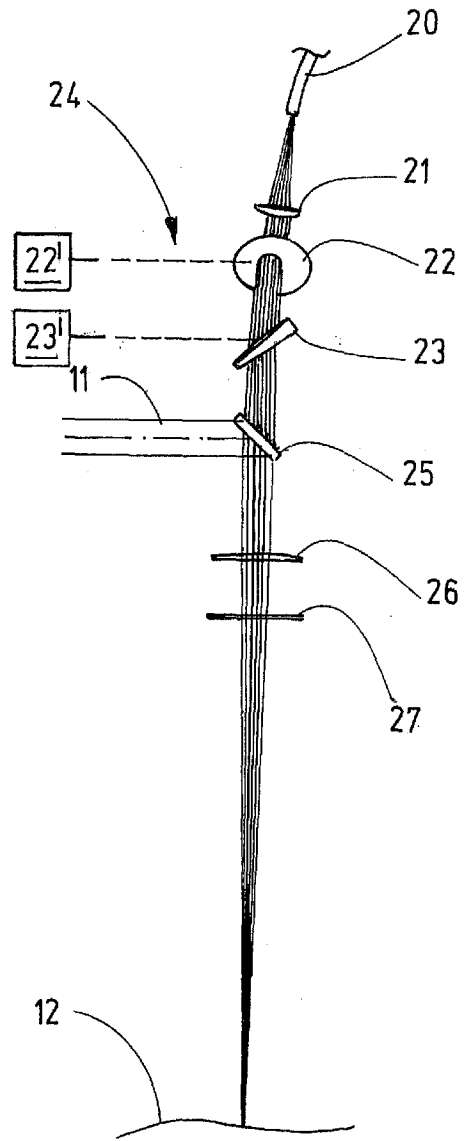


Fig.2b

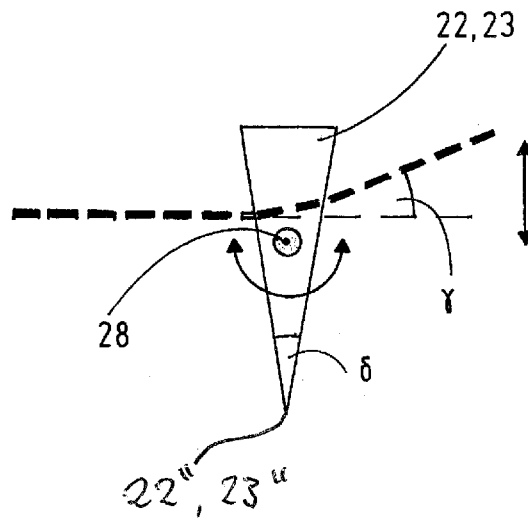


Fig.3

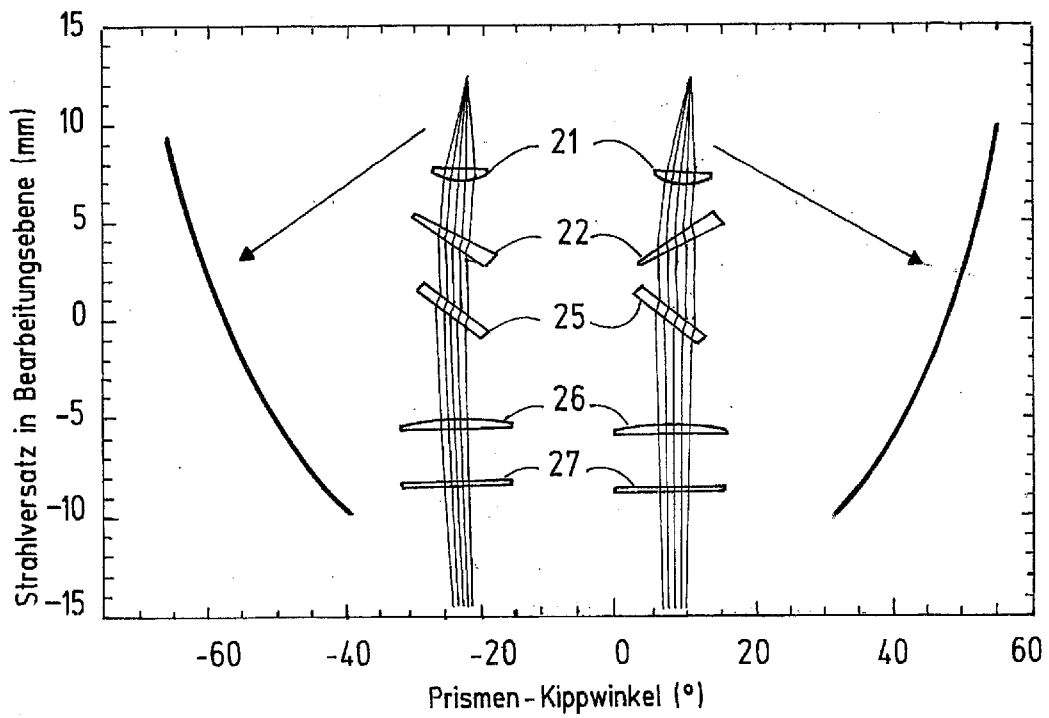


Fig.4

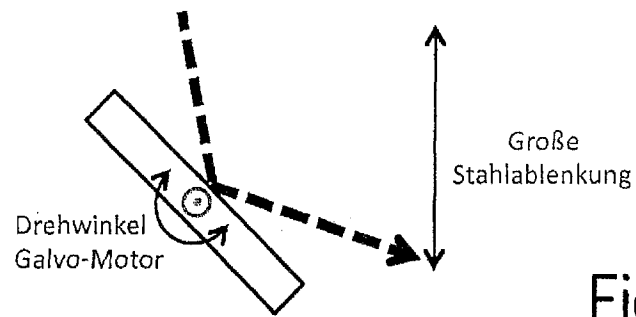


Fig.5a

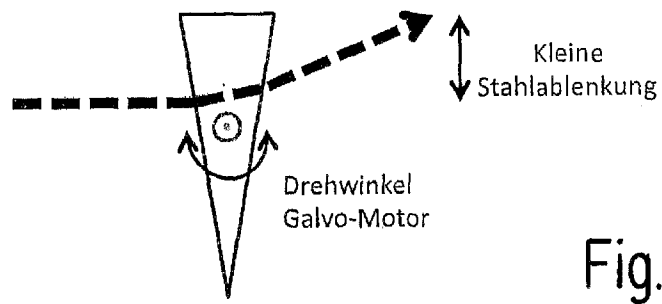


Fig.5b

Vergleich: Spiegel ↔ Prisma

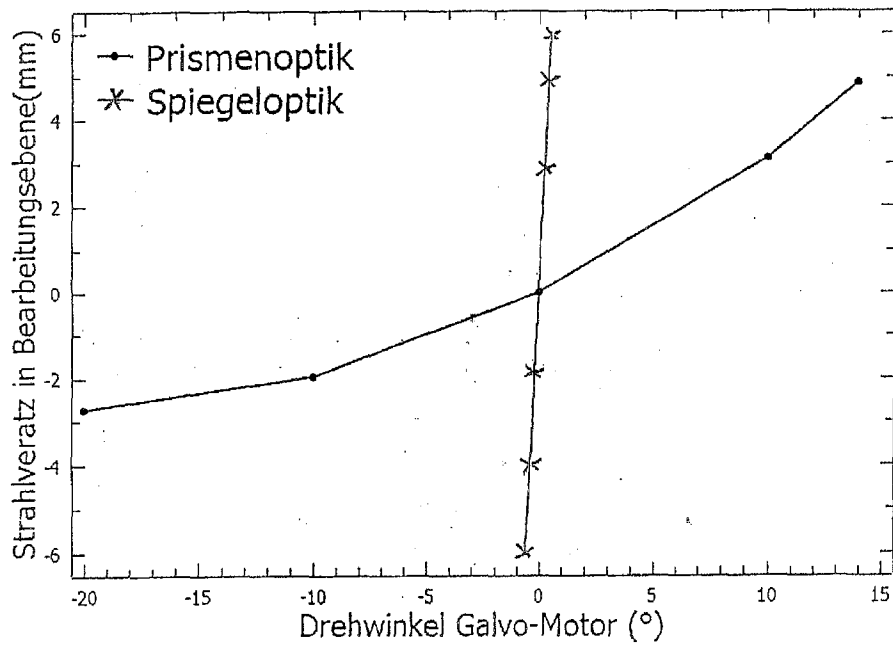


Fig.6

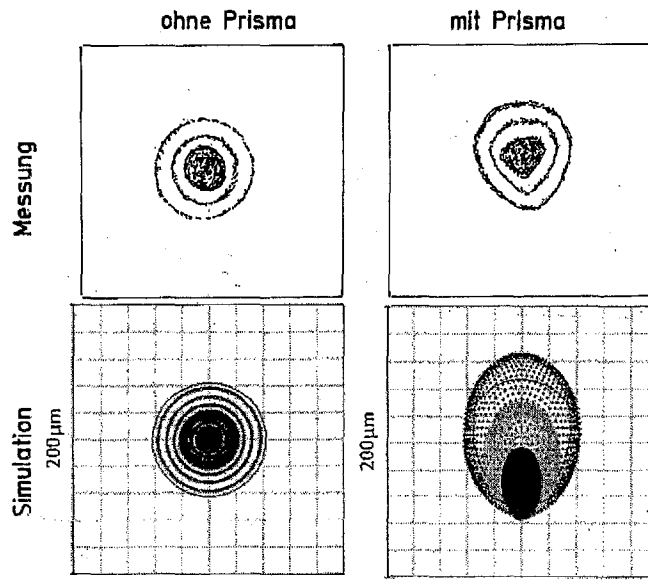


Fig.7

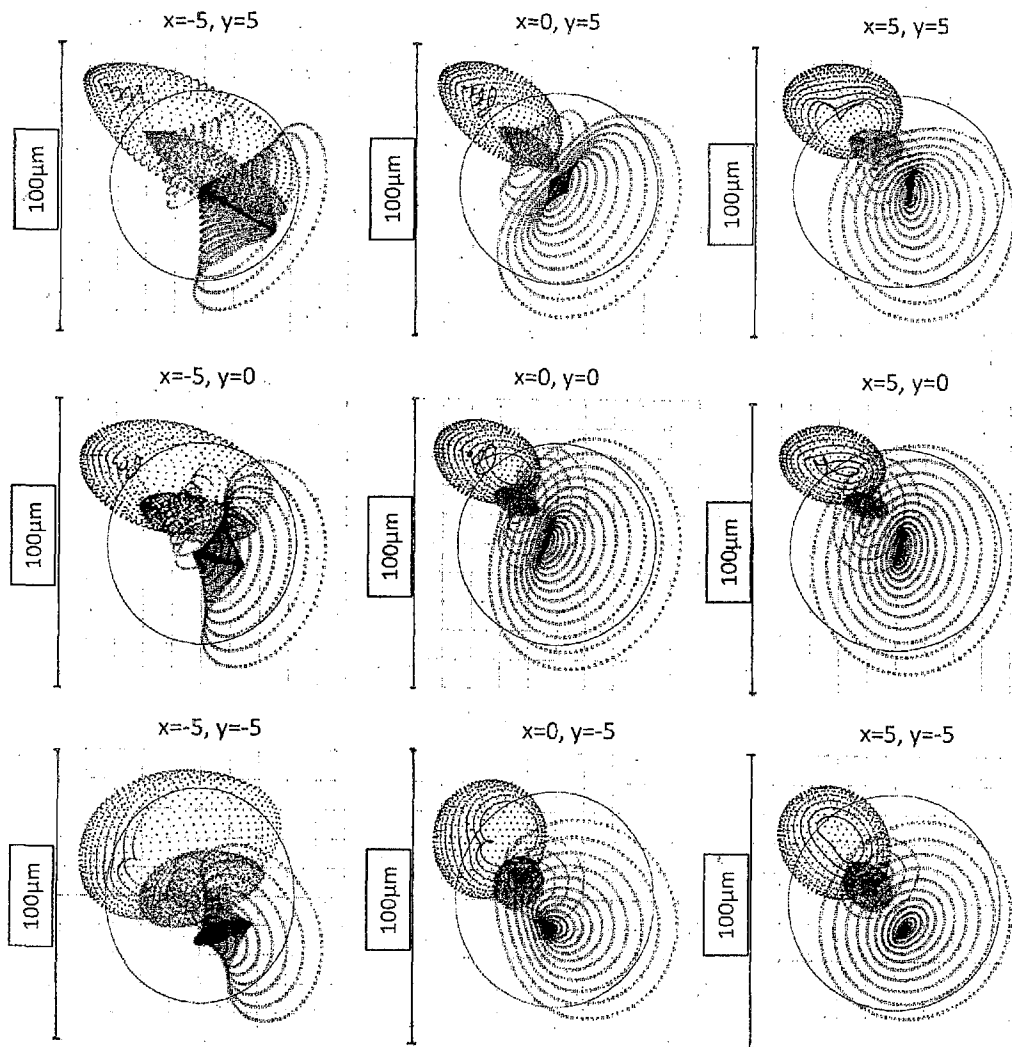


Fig.8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/061673

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. B23K26/03 G01B5/00 G01B11/22 B23K26/21
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)
B23K G01B

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.
X	US 5 763 853 A (Y. SHIMOMURA ET AL) 9 June 1998 (1998-06-09) column 1, lines 13-19 column 3, lines 45-55; figures 13,15a-b; example 7 -----	1,5,7-9
X	DE 39 40 694 A1 (HITACHI LTD) 13 June 1990 (1990-06-13) column 3, lines 34-63; figures -----	1-3,5-7
Y	US 2004/007563 A1 (S. A. HASTINGS) 15 January 2004 (2004-01-15) paragraphs [0018] - [0019]; figures -----	4,8,9
Y	US 2004/007563 A1 (S. A. HASTINGS) 15 January 2004 (2004-01-15) paragraphs [0018] - [0019]; figures -----	4
Y	WO 2015/039741 A1 (PRECITEC OPTRONIK GMBH) 26 March 2015 (2015-03-26) page 13, line 22 - page 15, line 22; figures -----	8,9

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 28 August 2017	Date of mailing of the international search report 06/09/2017
--	---

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 Jeggy, Thierry
--	---

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2017/061673

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date	
US 5763853	A	09-06-1998	DE 19580444 C2	16-04-1998
			DE 19580444 T1	21-08-1997
			US 5763853 A	09-06-1998
			WO 9529035 A1	02-11-1995

DE 3940694	A1	13-06-1990	DE 3940694 A1	13-06-1990
			JP H02155589 A	14-06-1990
			US 5045679 A	03-09-1991

US 2004007563	A1	15-01-2004	AT 254005 T	15-11-2003
			AU 7516200 A	24-07-2001
			DE 60006586 D1	18-12-2003
			DE 60006586 T2	13-05-2004
			EP 1246712 A1	09-10-2002
			US 2004007563 A1	15-01-2004
			WO 0151244 A1	19-07-2001

WO 2015039741	A1	26-03-2015	CA 2925039 A1	26-03-2015
			CN 105829828 A	03-08-2016
			DE 102013015656 A1	26-03-2015
			EP 3049755 A1	03-08-2016
			JP 2016538134 A	08-12-2016
			KR 20160060112 A	27-05-2016
			US 2016202045 A1	14-07-2016
			WO 2015039741 A1	26-03-2015

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. B23K26/03 G01B5/00 G01B11/22 B23K26/21 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) B23K G01B		
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.
X	US 5 763 853 A (Y. SHIMOMURA ET AL) 9. Juni 1998 (1998-06-09) Spalte 1, Zeilen 13-19 Spalte 3, Zeilen 45-55; Abbildungen 13,15a-b; Beispiel 7 -----	1,5,7-9
X	DE 39 40 694 A1 (HITACHI LTD) 13. Juni 1990 (1990-06-13) Spalte 3, Zeilen 34-63; Abbildungen -----	1-3,5-7
Y	US 2004/007563 A1 (S. A. HASTINGS) 15. Januar 2004 (2004-01-15) Absätze [0018] - [0019]; Abbildungen -----	4,8,9
Y	WO 2015/039741 A1 (PRECITEC OPTRONIK GMBH) 26. März 2015 (2015-03-26) Seite 13, Zeile 22 - Seite 15, Zeile 22; Abbildungen -----	4
Y		8,9
<input type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> 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		Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
28. August 2017		06/09/2017
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 Jeggy, Thierry

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/061673

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5763853	A	09-06-1998	DE 19580444 C2 16-04-1998
			DE 19580444 T1 21-08-1997
			US 5763853 A 09-06-1998
			WO 9529035 A1 02-11-1995

DE 3940694	A1	13-06-1990	DE 3940694 A1 13-06-1990
			JP H02155589 A 14-06-1990
			US 5045679 A 03-09-1991

US 2004007563	A1	15-01-2004	AT 254005 T 15-11-2003
			AU 7516200 A 24-07-2001
			DE 60006586 D1 18-12-2003
			DE 60006586 T2 13-05-2004
			EP 1246712 A1 09-10-2002
			US 2004007563 A1 15-01-2004
			WO 0151244 A1 19-07-2001

WO 2015039741	A1	26-03-2015	CA 2925039 A1 26-03-2015
			CN 105829828 A 03-08-2016
			DE 102013015656 A1 26-03-2015
			EP 3049755 A1 03-08-2016
			JP 2016538134 A 08-12-2016
			KR 20160060112 A 27-05-2016
			US 2016202045 A1 14-07-2016
			WO 2015039741 A1 26-03-2015
