



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2007 032 231 A1** 2009.01.15

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2007 032 231.5**

(22) Anmeldetag: **11.07.2007**

(43) Offenlegungstag: **15.01.2009**

(51) Int Cl.⁸: **B23K 26/067** (2006.01)

B23K 26/38 (2006.01)

(71) Anmelder:

3D-Micromac AG, 09125 Chemnitz, DE

(74) Vertreter:

**Bauer, S., Dipl.-Ing. Faching. f. Schutzrechtsw.,
 Pat.-Anw., 09661 Hainichen**

(72) Erfinder:

**Keiper, Bernd, Dr.-Ing., 09217 Burgstädt, DE;
 Höche, Thomas, Dr.-Ing., 06120 Halle, DE; Petsch,
 Tino, Dipl.-Ing., 09127 Chemnitz, DE**

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

DE 199 05 571 C1

DE10 2005 047328 B3

DE 197 45 280 A1

US2004/01 88 393 A1

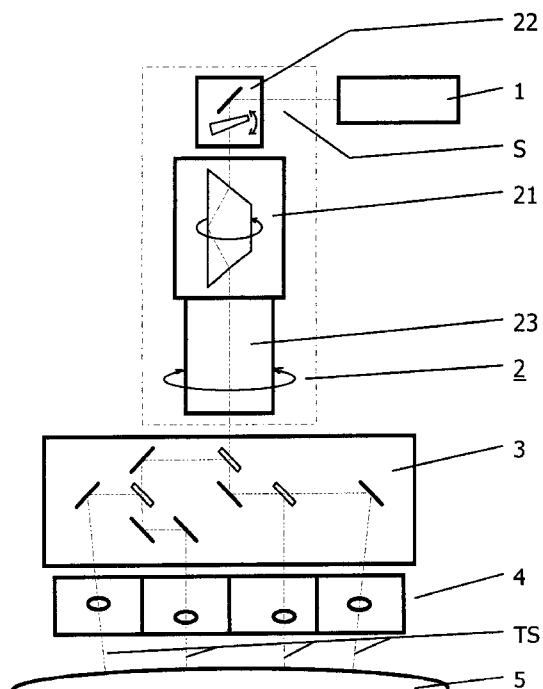
EP 18 52 208 A2

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung zur Erzeugung von Mikrolöchern**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Erzeugung von Mikrolöchern mittels fokussierter Laserstrahlen, die in eine Rotation und/oder eine Taumelbewegung versetzt sind, um Löcher hoher Zirkularität und sowohl positiver als auch negativer Konizität oder auch zylindrisch bohren zu können. Die Aufgabe der Erfindung, die Effizienz des Wendelbohrens insbesondere bei der Bearbeitung von Werkstücken mit einer Mehrzahl von Mikrolöchern zu verbessern, wird gelöst mit einer Vorrichtung zur Erzeugung von Mikrolöchern aus einer Laser-Strahlquelle und einer optischen Einrichtung zum Versetzen des Laserstrahls in eine Rotation und/oder eine Taumelbewegung und Mitteln zum Fokussieren des in sich rotierenden und/oder taumelnden Laserstrahls, wobei am Ausgang der optischen Einrichtung ein Strahlteiler mit einer Mehrzahl von Ausgängen angeordnet und vorzugsweise wenigstens einem der Ausgänge des Strahlteilers ein Ablenkspiegel zugeordnet ist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Erzeugung von Mikrolöchern mittels fokussierter Laserstrahlen, die in eine Rotation und eine Taumelbewegung versetzt sind, um Löcher hoher Zirkularität und sowohl positiver als auch negativer Konizität bohren zu können.

[0002] Es ist bekannt, Mikrolöcher mittels fokussierter Laserstrahlen zu bohren. Ausgehend vom reinen Fokusatrag, bei dem ein entsprechend fokussierter Laserstrahl mit geeignetem Strahlprofil auf eine Materialoberfläche gerichtet wird und bei Überschreitung einer vom Material abhängigen Ablationsschwelldosis das Material abgetragen wird, wurde das Laserbohren im Hinblick auf Verbesserungen der Zirkularität, der Beschaffenheit der Oberfläche der Bohrungswände und der Konizität fortentwickelt. Ein wesentlicher Fortschritt ist die Technologie des Wendelbohrens, bei dem ein auf ein unbewegtes Werkstück gerichteter in sich rotierender Laserstrahl eine definierte Taumelbewegung ausführt. Dadurch werden zylindrische oder positiv- oder negativ-konische Bohrungen sehr guter Zirkularität und hoher Oberflächengüte der Bohrungswände erreicht. Die Lochdurchmesser betragen minimal wenige 10 µm. Es werden vornehmlich relativ langpulsige Nanosekundenlaser eingesetzt, doch auch Ultrakurzpuls-laser mit hoher Pulsenergie können angewendet werden. Das Verfahren und zur Durchführung geeignete Vorrichtungen sind aus den Erfindungsbeschreibungen DE 197 45 280 A1, DE 199 05 571 C1 und DE 10 2005 047 328 B3 bekannt.

[0003] So beschreibt die DE 197 45 280 A1 ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Fein- und Mikrobearbeitung von Werkstücken mittels Laserstrahlen, wobei der Laserstrahl vor dem Auftreffen auf das Werkstück durch drei Module derart geführt wird, dass in dem ersten Modul der Laserstrahl um seine Strahlachse gedreht wird, mittels des zweiten Moduls der Auftreffpunkt des Laserstrahls auf dem Werkstück variiert wird und mittels des dritten Moduls die Auftreffneigung des Laserstrahls relativ zur Oberfläche des Werkstücks variiert wird. Die Vorteile bestehen darin, dass durch die Drehung des Laserstrahls um seine Drehachse eine ungleichmäßige Intensitätsverteilung und/oder eine unrunde Fokussierung kompensiert werden kann und somit eine gleichmäßige Schnittfuge bei der Bearbeitung des Werkstücks entsteht, dass die Variation des Auftreffpunktes des Laserstrahls eine weitestgehend freie Wahl der Formgebung bei der Bearbeitung erlaubt, und dass die Variation der Auftreffneigung des Laserstrahls die Einstellung einer gewünschten Konizität ermöglicht.

[0004] Die DE 199 05 571 C1 betrifft ein Verfahren zur Erzeugung von Löchern in einem Werkstück mittels eines Laserstrahls. Dabei führt der Laserstrahl

eine Taumelbewegung relativ zum Werkstück aus und durchläuft dabei eine Kegelmantelfläche. Durch die Taumelbewegung kann das Längsprofil des Bohrloches exakt definiert werden. Der Laserstrahl wird zusätzlich synchron mit der Taumelbewegung um die eigene Achse gedreht. Daher ist zu jedem Zeitpunkt die gleiche Laserstrahlstelle in azimuthaler Richtung im Eingriff mit dem Werkstück. Dadurch wird ein unrunder Laserstrahlquerschnitt egalisiert und es entstehen extrem runde Lochquerschnitte. Die Lochgeometrie kann in Längsrichtung bei Verwendung von polarisiertem Laserlicht durch Wahl von Polarisationsrichtung und/oder Polarisationsart eingestellt werden. Mittels eines linear polarisierten Laserstrahls kann eine ovale Lochgeometrie an der Seite des Lichtaustritts erzeugt werden. Mittels zirkular polarisierten Laserlichts lassen sich besonders runde Lochquerschnitte realisieren. Auch kann das Bohrloch konisch ausgebildet werden, wobei der Bohrl Lochdurchmesser in Strahlaustrittsrichtung zunehmen kann. Um eine sehr enge Bündelung des Laserstrahls im Fokusbereich zu erzielen, kann es zweckmäßig sein, den Querschnitt des Laserstrahls vor dessen Durchgang durch die Fokussierlinse aufzuweiten. Hierfür kann eine teleskopartige Linsen-anordnung verwendet werden, die im Strahlengang zwischen Laser und Linse praktisch an beliebiger Stelle platziert werden kann. Der Fokusbereich des Laserstrahls kann am Locheintritt an der Werkstückoberfläche liegen. Das bekannte Verfahren hat den Vorteil, dass durch Einstellung der Strahlgeometrie und/oder der Strahlparameter des Laserstrahls sehr flexible Lochgeometrien mit hoher Präzision herstellbar sind. Ein weiterer Vorteil ist, dass das Verfahren auch auf sehr kleine Lochdurchmesser im Bereich von 100 µm und darunter anwendbar ist. Darüber hinaus ist das Bohrverfahren im Vergleich zu bekannten Bohrverfahren erheblich schneller, wodurch sich beim Einsatz in der industriellen Produktion merkliche Kostenvorteile realisieren lassen.

[0005] Aus der DE 10 2005 047 328 B3 ist eine Vorrichtung zum Bohren und für den Materialabtrag mittels Laserstrahl bekannt, die einen drehenden Bildrotator, einen in Strahlrichtung gesehen vor dem Bildrotator angeordneten Strahlmanipulator für die Winkel- und Lageeinstellung des Strahls relativ zur Rotationsachse des Bildrotators und eine Fokussiereinrichtung ausgangsseitig des Bildrotators aufweist. Der bekannten Vorrichtung liegt die Aufgabe zugrunde, die Auswirkungen der fertigungsbedingten Geometriefehler von Bildrotatoren als Teil der Vorrichtung zum Bohren und für den Materialabtrag mittels Laserstrahl auszugleichen. Bildrotatoren können Strahlung transmittierende Prismen wie das Dove-Prisma oder das Abbe-König-Prisma aber auch reflektierende Systeme wie eine K-Spiegelanordnung sein. Diese Aufgabe wird dadurch gelöst, dass zwischen Bildrotator und Fokussiereinrichtung eine Ausgleichsvorrichtung angeordnet ist, die in gleicher Drehrichtung

und mit gleicher Drehfrequenz mit dem Bildrotator dreht, wobei die Ausgleichsvorrichtung eine Parallelversatzeinheit und Winkeländerungseinheit aufweist, und dass die Ausgleichsvorrichtung in ihrer relativen Drehposition zu dem Bildrotator in einer Grundeinstellung einstellbar ist. Mit der bekannten Anordnung kann in der Bearbeitungsebene eine gleichförmige Rotationsbewegung (Strahlform) und damit ein gleichmäßiger Abtrag erreicht werden, wodurch eine runde Bohrung gebildet werden kann.

[0006] Beispielsweise bei der Herstellung von Einspritzdüsen für Verbrennungskraftmaschinen kommen die technologischen Vorteile des Wendelbohrens bemerkenswert zum Tragen. Die bekannten Wendelbohrereinrichtungen erfordern allerdings einen hohen Investitions- und Justageaufwand, der sich wiederum dann nachteilig auswirkt, wenn eine Vielzahl von Bohrungen mit gegebenenfalls abweichenden Parametern wie Durchmesser, Konizität, Bohrachsenwinkel usw. vorzunehmen sind. Hieraus ergibt sich die Aufgabenstellung der Erfindung, die Effizienz des Wendelbohrens insbesondere bei der Bearbeitung von Werkstücken mit einer Mehrzahl von Mikrolöchern zu verbessern.

[0007] Die Lösung der Aufgabe erfolgt, indem gemäß Patentanspruch 1 eine Vorrichtung zur Erzeugung von Mikrolöchern aus einer Laser-Strahlquelle und einer optischen Einrichtung zum Versetzen des Laserstrahls in eine Rotation und/oder eine Taumelbewegung und Mitteln zum Fokussieren des in sich rotierenden und/oder taumelnden Laserstrahls besteht, wobei am Ausgang der optischen Einrichtung ein Strahlteiler mit einer Mehrzahl von Ausgängen angeordnet ist. Vorzugsweise ist wenigstens einem der Ausgänge des Strahlteilers ein Ablenkspiegel zugeordnet, wobei vorteilhaft wenigstens ein Ablenkspiegel verstellbar ausgebildet ist. Zur Fokussierung des Laserstrahls kann vor dem Eingang des Strahlteilers eine Fokussiereinheit hinreichend großer Brennweite angeordnet sein, so dass die Umlenkspiegel durch den Laserstrahl mit einer Fluenz deutlich unterhalb der Ablationsschwelldosis getroffen werden. Andernfalls ist eine Fokussiereinheit jedem Ausgang des Strahlteilers nachgeschaltet. Der Strahlteiler zerlegt den eintretenden, in sich rotierenden und/oder taumelnden Laserstrahl so in Teilstrahlen, dass mit jedem Teilstrahl Mikrolöcher gebohrt werden können. Dadurch reduziert sich die Zykluszeit der Werkstückbearbeitung bei n Bohrungen auf ein n -tel. Der Aufbau des Strahlteilers und die Anordnung der ausgangsseitigen Ablenkspiegel ergeben der Bearbeitungsaufgabe entsprechende Teilstrahlen. Durch geeignete Verstellung der Ablenkspiegel werden die Teilstrahlen justiert und fokussiert. Die Verstellung kann translatorisch und/oder rotatorisch erfolgen. Dabei ist von der Erfindung selbstverständlich auch eine automatische Nachführung der Ablenkspiegelstellungen umfasst, etwa für den Fall,

dass ein Werkstück in mehreren Teilzyklen bearbeitet wird oder um Fokussierung und/oder Auftreffwinkel etwa bei gewölbten Werkstückoberflächen zu regeln. Die Anordnung der Fokussiereinheit im Strahlengang vor dem Eingang des Strahlteilers stellt eine kosten sparende Variante der Erfindung dar, die Anordnung einer Mehrzahl Fokussiereinheiten an dessen Ausgängen in den Teilstrahlengängen nach den Ablenkspiegeln hingegen ermöglicht eine Bearbeitung mit Objektiven unterschiedlicher Brennweite.

[0008] Nachfolgend wird ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel der Erfindung anhand der Zeichnung näher erläutert. Die Zeichnung zeigt in

[0009] Fig. 1 den Strahlengang einer ersten erfindungsgemäßen Vorrichtung mit nachgeschalteter Fokussiereinheit und

[0010] Fig. 2 den Strahlengang einer zweiten erfindungsgemäßen Vorrichtung mit vorgeschalteter Fokussiereinheit.

[0011] Ausgehend von einem geeigneten, vorzugsweise einem ns- oder ps-Laser **1** mit hoher Pulsenergie wird ein Laserstrahl **S** einer Wendeloptik **2** zugeleitet. Die Wendeloptik **2** des bevorzugten Ausführungsbeispiels ist an sich bekannt und basiert vorzugsweise im Wesentlichen auf der Lösung nach der DE 10 2005 047 328 B3. Darin passiert der Laserstrahl **S** zunächst einen Strahlmanipulator **22**, wo er hinsichtlich seines Auftreffwinkels und seiner Axialität auf die Rotationsachse eines Bildrotators **21** ausgerichtet wird. Der Bildrotator **21** verfügt in bekannter Weise über Mittel, den Laserstrahl **S** in Rotation um seine Strahlachse und in eine Taumelbewegung zu versetzen. Zum Ausgleich von Fertigungstoleranzen und damit zur Verbesserung der Strahlqualität ist dem Bildrotator **21** eine Symmetrievorrichtung **23** nachgeordnet. Anstelle der gezeigten Wendeloptik **2** kann selbstverständlich jede andere Vorrichtung Verwendung finden, die einen Eingangslaserstrahl **S** in Rotation und eine Taumelbewegung um seine Strahlachse versetzt, so dass der Ausgangsstrahl zum Wendelbohren geeignet ist. Erfindungsgemäß tritt der Laserstrahl **S** nunmehr in einen Strahlteiler **3** ein, der aus einer dem Anwendungsfall angepassten Anordnung von Halb- und Vollspiegeln, einem diffraktiven optischen Element oder anderen zur Strahlteilung geeigneten Einrichtungen besteht, so dass der Laserstrahl **S** in eine Vielzahl von Teilstrahlen **TS** zerlegt wird. Die Strahlteilungsmittel können translatorisch und rotatorisch verstellbar sein, um applikationsgerecht Auftreffpunkt und -winkel der Teilstrahlen **TS** auch bei unebenen oder gewölbten Werkstückoberflächen **5** einstellen zu können. Gemäß Fig. 1 ist dem aus Halb- und Vollspiegeln bestehenden Strahlteiler **3** eine Fokussiereinrichtung **4** mit translatorisch und rotatorisch verstellbaren, in den Strahlachsen der Teilstrahlen **TS** angeordneten Linsen

nachgeschaltet um den Fokus der Teilstrahlen dem Fortgang der Bohrungen nachzuführen und/oder gegebenenfalls in seiner Ausbildung anzupassen oder zu verändern. Gemäß Fig. 2 hingegen ist dem als diffraktives optisches Element ausgeführten Strahlteiler **3** eine vergleichbare, jedoch nur einen Strahl bündelnde Fokussiereinrichtung **4** vorgeschaltet. Die zur Nachführung der Fokussiereinrichtung erforderlichen Mess-, Regel- und Stelleinrichtungen sind nicht dargestellt, allerdings dem Fachmann hinreichend geläufig. Die Zeichnung zeigt eine rein schematische Anordnung von Strahlteilungsmitteln und Fokussierlinsen. Selbstverständlich ist jede Art der Aufteilung des Laserstrahls S in Teilstrahlen TS möglich, die der zur Verfügung stehenden Pulsenergie und der Anordnung der Bohrlöcher genügt. Ebenso ist die Auswahl von geeigneten Strahlteilern **3** und ihre Verbindung mit vor- und/oder nachgeschalteten Fokussiermitteln **4** in jeder Kombination von der Erfindung umfasst.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 19745280 A1 [0002, 0003]
- DE 19905571 C1 [0002, 0004]
- DE 102005047328 B3 [0002, 0005, 0011]

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Erzeugung von Mikrolöchern mit einer Laser-Strahlquelle (1), einer optischen Einrichtung (2) zum Versetzen des Laserstrahls in eine Rotation und/oder eine Taumelbewegung und Mitteln zum Fokussieren des in sich rotierenden und/oder taumelnden Laserstrahls, **dadurch gekennzeichnet**, dass am Ausgang der optischen Einrichtung (2) ein Strahlteiler (3) mit einer Mehrzahl von Ausgängen angeordnet ist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens einem der Ausgänge des Strahlteilers (3) ein Ablenkspiegel zugeordnet ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens ein Ablenkspiegel verstellbar ausgebildet ist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass vor dem Eingang des Strahlteilers (3) eine Fokussiereinheit (4) angeordnet ist.

5. Vorrichtung nach Anspruch 1, 2, 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass jedem Ausgang des Strahlteilers (3) eine Fokussiereinheit (4) nachgeschaltet ist.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

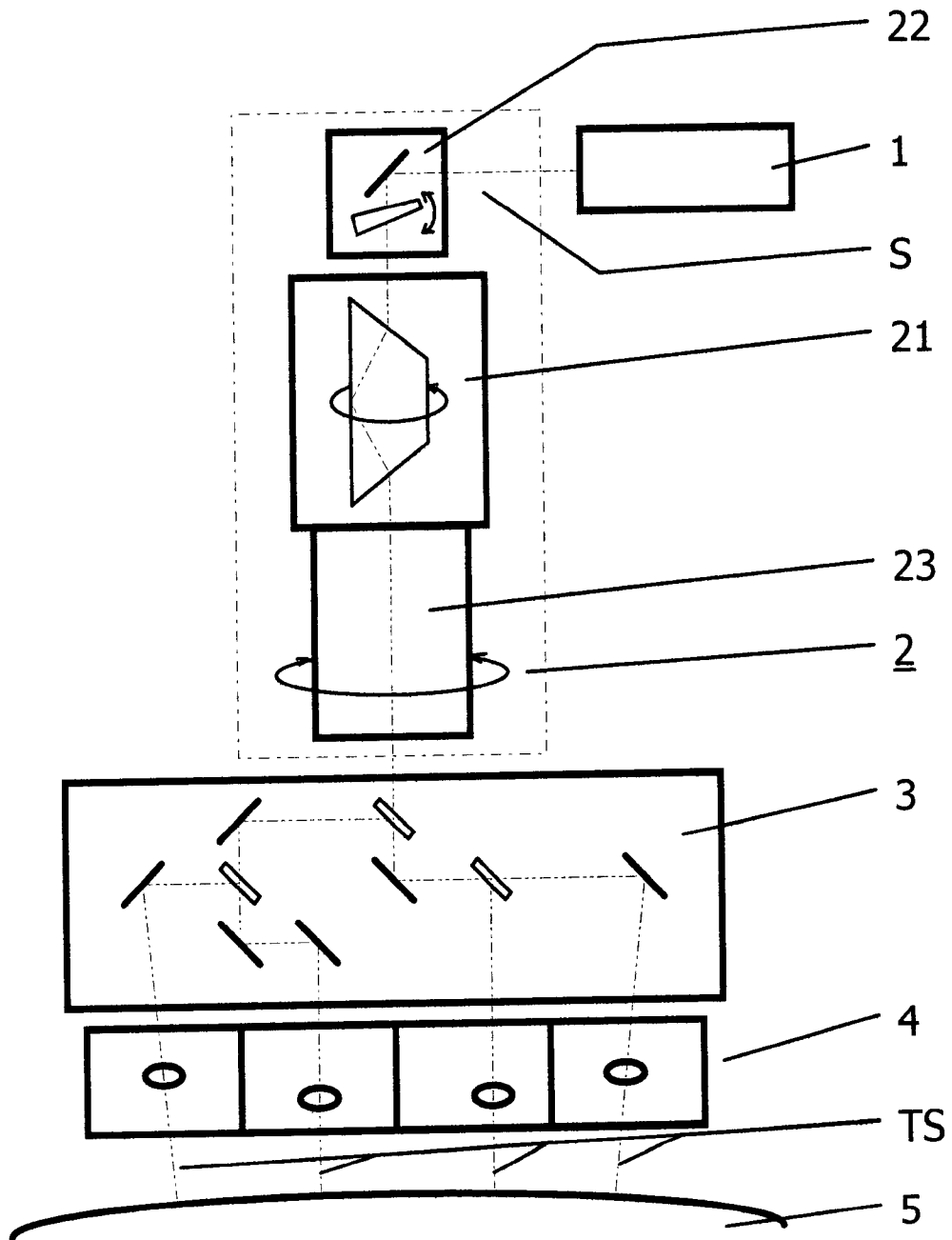


Fig. 1

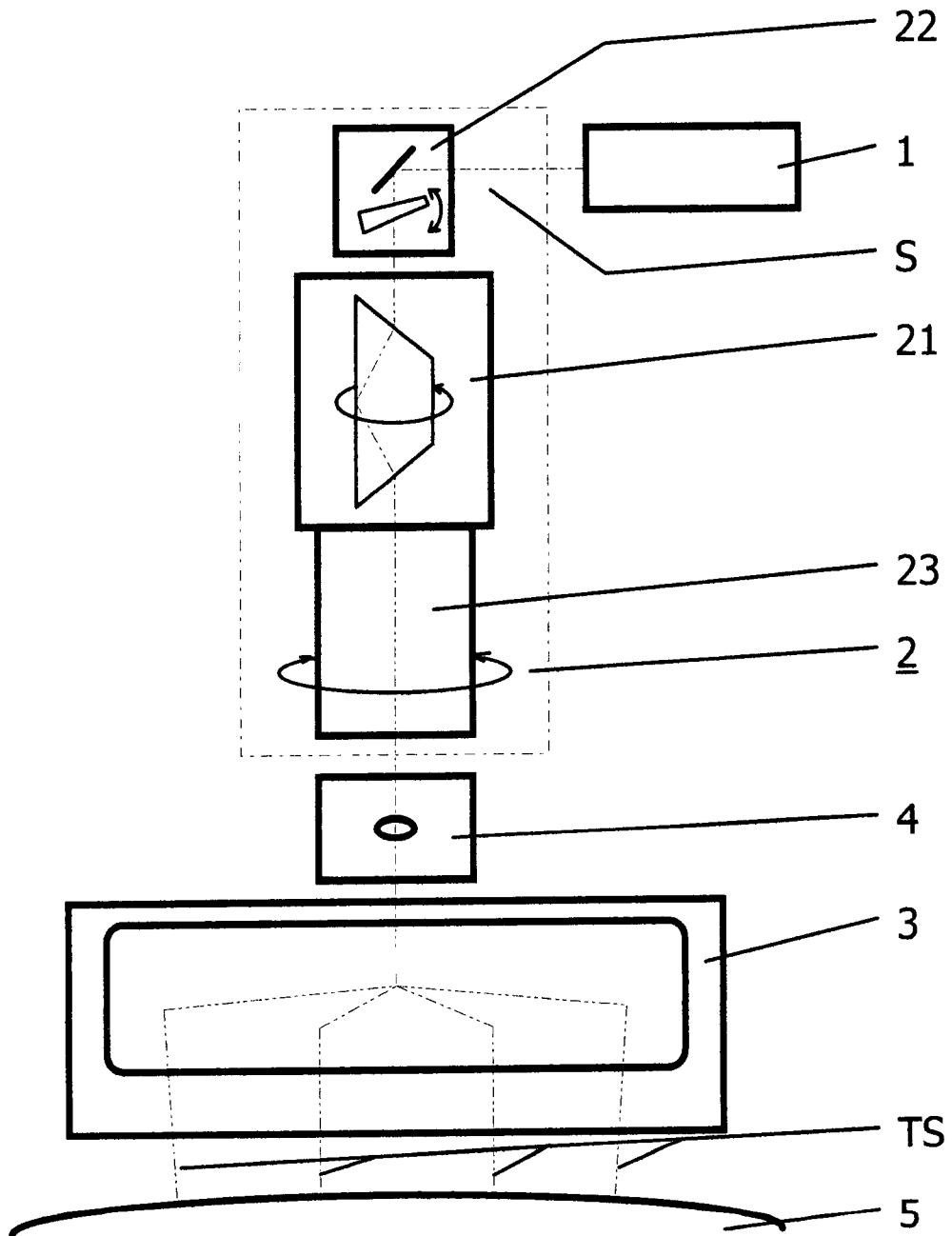


Fig. 2