

(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  
27. Februar 2003 (27.02.2003)

PCT

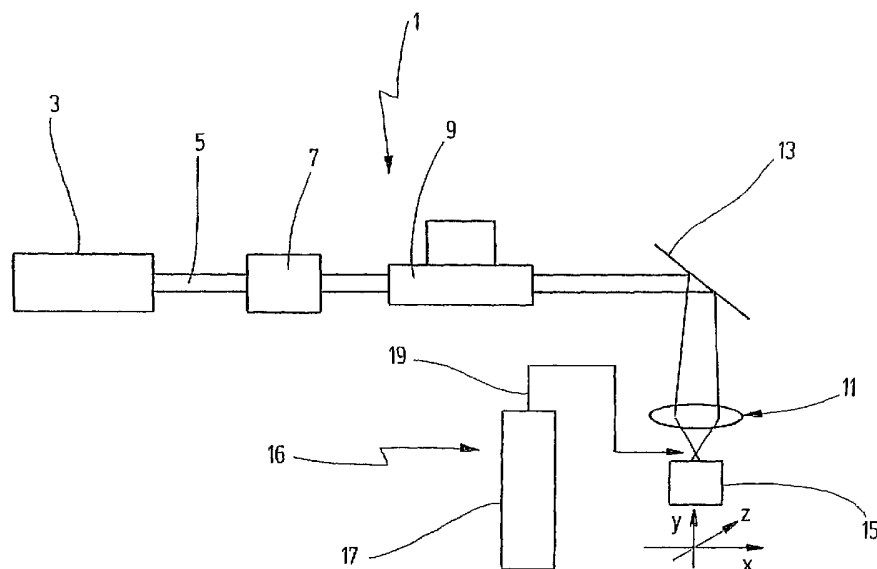
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 03/015978 A1**

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **B23K 26/38**, 26/14
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE02/02504
- (22) Internationales Anmeldedatum: 9. Juli 2002 (09.07.2002)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität: 101 38 866.7 8. August 2001 (08.08.2001) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **ROBERT BOSCH GMBH** [DE/DE]; Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **CALLIES, Gert** [DE/DE]; Danngrabenweg 10, 77815 Buehl (DE). **WILLERT, Markus** [DE/DE]; Schlehenweg 17, 89551 Koenigsbronn (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (national): JP, US.
- (84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR).
- Veröffentlicht:  
— mit internationalem Recherchenbericht  
— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR DRILLING HOLES IN WORKPIECES BY MEANS OF LASER BEAMS

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM EINBRINGEN VON LÖCHERN IN WERKSTÜCKE MITTELS LASERSTRAHLEN



(57) Abstract: The invention relates to a method for producing holes in workpieces by means of at least one laser beam, especially a short pulse or ultrashort pulse laser beam, wherein the point of incidence of the laser beam on the workpiece is supplied with a process gas. The invention further relates to a device for carrying out the inventive method. According to the invention, at least one parameter of the process gas, for example its composition, pressure and volume flow are selected in such a manner and the process gas is supplied to the zone of interaction between the laser beam (5) and the workpiece (15) in such a manner that the hole (29) produced by means of the laser beam (5) has a desired quality (hole geometry, reduced or no ablation remainders, and the like).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 03/015978 A1



*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

---

**(57) Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen von Löchern in Werkstücken mittels mindestens eines Laserstrahls, insbesondere Kurzpuls- oder Ultrakurzpuls-Laserstrahls, wobei der Auftreffstelle des Laserstrahls auf dem Werkstück ein Prozessgas zugeführt wird, sowie eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens. Es ist vorgesehen, dass mindestens ein Parameter des Prozessgases, also beispielsweise dessen Zusammensetzung, der Druck, der Volumenstrom so gewählt und das Prozessgas der Wechselwirkungszone zwischen dem Laserstrahl (5) und dem Werkstück (15) derart zugeführt wird, dass das mittels des Laserstrahls (5) hergestellte Loch (29) eine gewünschte Qualität (Lochgeometrie, reduzierte oder keine Ablationsrückstände und dergleichen) aufweist.

5

Verfahren und Vorrichtung zum Einbringen von Löchern in Werkstücke mittels Laserstrahlen

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen  
10 von Löchern in Werkstücken mittels mindestens eines  
Laserstrahls, gemäß Oberbegriff des Anspruchs 1,  
und eine Vorrichtung zum Einbringen von Löchern in  
Werkstücke, gemäß Oberbegriff des Anspruchs 15.

Stand der Technik

15 Vorrichtungen und Verfahren der hier angesprochenen  
Art sind bekannt. Sie dienen zum Herstellen von  
präzisen Kleinstlöchern in Werkstücken mittels La-  
serstrahlen, wobei die Löcher einen Durchmesser  
kleiner als 250  $\mu\text{m}$  aufweisen können.

20 Beim Laserstrahlbohren, insbesondere mit Kurzpuls-  
lasern, mit den bekannten Vorrichtungen in aus me-  
tallischem Werkstoff bestehenden Werkstücken bilden  
sich auf der Laserstrahleintrittsseite des Werk-  
stücks Schmelzgrate, die in einem Nacharbeitsvor-  
25 gang entgratet werden müssen. Ferner bildet sich im  
Loch, das heißt auf der Umfangsfläche des Lochs ein  
Schmelzfilm, der ebenfalls nachträglich entfernt  
werden muss. Dabei kann es zu nicht erwünschten  
Ausbrüchen an den Kanten des Lochs und/oder zu ei-  
30 ner Verstopfung des Lochs kommen.

Beispielweise auf dem Gebiet der Kraftstoffein-  
spritzung werden im zunehmenden Maße konische Lö-  
cher, beispielsweise in Düsen, dahingehend gefor-  
dert, dass in der Regel die Laserstrahleintritts-  
5 Öffnung (Kraftstoffauslauf) einen kleineren Durch-  
messer als die Laserstrahlaustrittsöffnung (Kraft-  
stoffeinlauf) aufweist. Zur Herstellung dieser Lö-  
cher mit einer gewünschten Konizität ist es be-  
kannt, das Werkstück gegenüber dem Laserstrahl zu  
10 kippen und/oder die Bearbeitungsstrategie bezie-  
hungsweise die Parameter des Laserstrahls entspre-  
chend einzustellen. Es hat sich gezeigt, dass die  
mit den bekannten Verfahren realisierbare Konizi-  
tät, die über den k-Faktor definierbar ist, je nach  
15 Lochdurchmesser relativ begrenzt ist.

#### Vorteile der Erfindung

Das erfindungsgemäße Verfahren mit den in Anspruch  
1 genannten Merkmalen weist demgegenüber den Vor-  
teil auf, dass aufgrund der gezielten Einstellung  
20 mindestens eines Prozessgasparameters, insbesondere  
der Zusammensetzung, des Drucks und/oder des Volu-  
menstroms des Prozessgases und einer speziellen  
Prozessgaszuführung die Herstellung einer gewünsch-  
ten Lochqualität möglich ist. Hierzu ist es nicht  
25 erforderlich, die Laserstrahlparameter zu ändern  
oder das Werkstück gegenüber dem Laserstrahl zu  
verkippen. Im Zusammenhang mit der hier vorliegen-  
den Erfindung bestimmen zumindest die Folgenden  
Kriterien die "Qualität" des Lochs: Die Form des  
30 Lochs und -bei aus mindestens einem metallischen  
Werkstoff bestehenden Werkstücken- die Ablations-  
rückstände. Unter Ablationsrückständen werden ins-  
besondere Schmelzgrate ("Schmelztürmchen") auf der

laserstrahleintrittsseitigen Werkstückfläche und  
der Schmelzfilm an den Lochwänden beziehungsweise  
der Lochwand verstanden. Es hat sich gezeigt, dass  
sich mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens  
5 Schmelzgrade vollständig vermeiden lassen und der  
sich bildende Schmelzfilm nur eine sehr geringe Di-  
cke aufweist. Die Ablationsrückstände lassen sich  
also vermeiden beziehungsweise auf zumindest ein  
unschädliches Maß reduzieren, so dass die Nachar-  
10 beitung des Lochs reduziert beziehungsweise vereinfacht  
oder gegebenenfalls ganz darauf verzichtet  
werden kann. Das erfindungsgemäße Verfahren ermög-  
licht ferner eine gezielte Beeinflussung der Loch-  
form. Es sind sowohl Löcher mit kreisrundem Quer-  
15 schnitt, der über die gesamte Länge des Lochs kon-  
stant oder im Wesentlichen konstant ist, und auch  
Löcher mit einer gewünschten Konizität realisier-  
bar. Die "konischen" Löcher weisen vorzugsweise ei-  
nen kreisrunden Querschnitt auf, wobei sich deren  
20 Durchmesser über die Länge des Lochs ändert. Da-  
durch, dass sich durch das Verfahren zumindest die  
vorstehend genannten Lochformen realisieren lassen,  
wobei Ablationsrückstände vermieden beziehungsweise  
deutlich reduziert werden, ist eine kostengünstige  
25 Herstellung eines Lochs oder mehrere dieser Löcher  
möglich. Ferner hat sich gezeigt, dass sich die Be-  
arbeitungszeiten gegenüber bekannten Verfahren ver-  
kürzen lassen.

Das dem erfindungsgemäßen Verfahren zu Grunde lie-  
30 gende Prinzip beruht darauf, dass das der Wechsel-  
wirkungszone zwischen dem Laserstrahl und dem Werk-  
stück zugeführte Prozessgas die Eigenschaften des  
Materialdampf-Plasmagemisches und damit die Wech-

selwirkung zwischen Laserstrahl und Werkstück bestimmt. Durch verdampfendes Material des Werkstücks wird die das Loch umgebende Atmosphäre komprimiert, so dass sich eine starke Stoßwelle ausbilden kann, die beispielsweise bei der Bearbeitung des Werkstücks mit einem Kurzpuls laser eine Ausbreitungsgeschwindigkeit von bis zu mehreren 10 km/s erreichen kann. Die Stoßwelle bildet eine Barriere für das vom Werkstück abdampfende Material, wobei der Druck, die Dichte und die Temperatur und damit auch der Ionisationsgrad und das Absorptionsvermögen im Materialdampf-Plasmagemisch mit den Eigenschaften der Stoßwelle zusammenhängen. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Stoßwelle und deren thermodynamischen Eigenschaften sind wiederum eine Funktion der das Loch umgebenden Atmosphäre. Mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens lassen sich solche atmosphärische Bedingungen um das Loch schaffen, dass sich die obengenannten Vorteile realisieren lassen.

Besonders bevorzugt wird eine Ausführungsform des Verfahrens, das sich dadurch auszeichnet, dass vorzugsweise für jeden speziellen Anwendungsfall die Zusammensetzung, der Druck und/oder der der Wechselwirkungszone zugeführte Volumenstrom des Prozessgases und/oder die Zuführstrategie (Prozessgasführung) in Abhängigkeit mindestens eines charakteristischen Merkmals des Lochs, beispielsweise des Lochdurchmessers, der gewünschten Konizität, einer definierten Verrundung mindestens eines der Lochränder beziehungsweise -kanten und dergleichen, und/oder wenigstens eines charakteristischen Merkmals des Werkstücks, beispielsweise die Wandstärke, das Werkstückmaterial und dergleichen, eingestellt

werden/wird. Dabei müssen die Parameter des Prozessgases während der Herstellung eines Lochs nicht zwingend konstant sein, sondern können -wie bei einer vorteilhaften Ausführungsvariante vorgesehen- auch gesteuert, vorzugsweise zeitlich gesteuert werden. So ist beispielsweise ein "Vorbohren" des Lochs mit einem aus Helium bestehenden Prozessgas und ein anschließendes "Nachbohren/Aufbohren" mit einem aus Argon bestehenden Prozessgas möglich.

10 Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens ist vorgesehen, dass der Laserstrahl ein Kurzpuls laserstrahl (ns-Pulse) mit einer Pulsdauer von vorzugsweise kleiner 100 ns oder ein Ultrakurzpuls laserstrahl (fs/ps-Pulse) ist. Selbstverständlich können zur Realisierung des Verfahrens auch andere Laserkonzepte Anwendung finden.

In bevorzugter Ausführungsform ist vorgesehen, dass ein Loch mit einer gewünschten Konizität hergestellt wird, wobei der Konizitäts-Faktor (k) des Lochs durch eine entsprechende Prozessgasführung und Einstellung der Prozessgasparameter variierbar ist. Es hat sich gezeigt, dass sich ohne weiteres Löcher mit einem Konizitäts-Faktor k von -3 bis +3 herstellen lassen. Mittels dem erfindungsgemäßen Verfahren lassen sich jedoch auch Konizitäts-Faktoren realisieren, die größer als +/- 3 sind. Der Konizitäts-Faktor k ist folgendermaßen definiert:

$$(\varnothing_A - \varnothing_E) / 10$$

30 wobei  $\varnothing_A$  der Durchmesser der Laseraustrittsöffnung und  $\varnothing_E$  der Durchmesser der Lasereintrittsöffnung

ist und die Dimensionen der Durchmesser  $\mu\text{m}$  (Mikrometer) sind.

- Mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens lässt sich für Löcher mit einem Durchmesser von kleiner 250  $\mu\text{m}$  und für Wandstärken des Werkstücks von in etwa 0,2 mm bis 2 mm praktisch jede gewünschte Konizität einstellen, wobei der Konizitäts-Faktor  $k$  beispielsweise in einem Bereich von -3 bis +3 liegen kann.
- 10 Das während der Herstellung zur Anwendung kommende mindestens eine Prozessgas besteht aus wenigstens einem Gas, beispielsweise Helium (He), Sauerstoff ( $\text{O}_2$ ), Argon (Ar) oder Stickstoff ( $\text{N}_2$ ). Das Prozessgas kann jedoch auch aus mehreren, insbesondere aus den vorstehend genannten Gasen bestehen, die zusammengemischt werden, vorzugsweise bevor sie der Wechselwirkungszone zugeführt werden beziehungsweise bevor die Wechselwirkungszone erreicht wird. Sofern das Prozessgas aus mehreren Gasen zusammengemischt wird, kann der Anteil jedes der Gase am Prozessgas zwischen 0% und 100% betragen, wobei die Summe der Anteile aller Gase des Prozessgases 100% beträgt. Da verschiedene Gase unterschiedliche physikalische Eigenschaften aufweisen, wird das Prozessgas aus verschiedenen Gasen in einem bestimmten Mischungsverhältnis zusammengemischt, so dass sich eine gewünschte Atmosphäre um das mittels des Laserstrahls zu bohrende Loch einstellen lässt, bei der sich eine gewünschte Lochform, beispielsweise Lochkonizität ergibt und vorzugsweise Schmelzgrate und die Schmelzschicht an den Lochwänden bei der Lasermaterialbearbeitung von metallischen Werkstoffen minimiert oder beseitigt werden.



Es hat sich als vorteilhaft herausgestellt, wenn der der Wechselwirkungszone zugeführte Volumenstrom in einem Bereich von in etwa 0,8 Nl/min bis 270 Nl/min und der Druck des Prozessgases in einem Bereich von 0,1 bar bis 20 bar, vorzugsweise von 0,3 bar bis 15 bar, insbesondere von 0,5 bar bis 10 bar, liegt.

Weitere vorteilhafte Ausführungsformen des Verfahrens ergeben sich aus Kombinationen der in den Unteransprüchen genannten Merkmale.

Der Gegenstand der Erfindung betrifft auch eine Vorrichtung mit den in Anspruch 15 genannten Merkmalen, die insbesondere zur Durchführung des Verfahrens gemäß einem der Ansprüche 1 bis 14 geeignet ist. Sie umfasst eine Laserstrahlquelle zum Erzeugen mindestens eines auf das Werkstück richtbaren Laserstrahls und eine Düsenanordnung, die mindestens eine mit wenigstens einem unter Druck stehenden Prozessgas beaufschlagbare Düse aufweist, wobei der aus der Düse austretende Gasstrahl in Richtung auf die Auftreffstelle des Laserstrahls an dem Werkstück beziehungsweise in die Wechselwirkungszone zwischen Laserstrahl und Werkstück richtbar ist. Die Vorrichtung zeichnet sich durch eine Einrichtung zur Einstellung der Zusammensetzung, des Druckes und/oder der der Auftreffstelle zugeführten Menge des Prozessgases aus. Durch die Verwendung eines für den jeweiligen Anwendungsfall geeigneten Prozessgases und/oder der gezielten Einstellung des Prozessgasdrucks und/oder -volumenstroms können Lochkonizitäten variiert beziehungsweise gezielt eingestellt werden, ohne dass die Parameter des Laserstrahls verstellt werden müssen. Ferner können

bei metallenen Werkstücken Schmelzgrate beziehungsweise Schmelzfilme an der Lochwand minimiert, vorzugsweise vollständig beseitigt werden.

5 Nach einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Einrichtung mindestens eine Mischeinrichtung zum Mischen des Prozessgases und mindestens eine mit der Düse strömungstechnisch verbundene Zuführleitung zum Zuführen des gemischten Prozessgases aufweist. Das Prozessgas wird also zusammen-

10 mengemischt, bevor es die Wechselwirkungszone zwischen Laserstrahl und Werkstück erreicht. Die Mischeinrichtung weist vorzugsweise eine Steuerung zur Einstellung der Prozessgasparameter (Zusammensetzung, Druck, Volumenstrom) auf.

15 Weitere vorteilhafte Ausführungsformen der Vorrichtung ergeben sich aus Kombinationen der in den Unteransprüchen genannten Merkmale.

#### Zeichnungen

20 Die Erfindung wird nachfolgend in mehreren Ausführungsbeispielen anhand der zugehörigen Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

- Figur 1 eine Prinzipskizze des Aufbaus eines Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung;
- 25 Figuren 2 bis 4 jeweils ein Ausführungsbeispiel einer Düsenanordnung zum Zuführen von Prozessgas;
- Figuren 5 und 6 jeweils einen Querschnitt durch ein mittels eines Laserstrahls hergestellten

Lochs unter Verwendung verschiedener Prozessgase; und

Figur 7 ein Diagramm, in dem der laserstrahleintrittsseitige Lochdurchmesser und der Konizitäts-Faktor  $k$  als Funktion des Prozessgasdrucks aufgetragen sind.

#### Beschreibung der Ausführungsbeispiele

In Figur 1 ist in schematischer Darstellung der Aufbau eines Ausführungsbeispiels einer Vorrichtung 1 zum Einbringen von Löchern in Werkstücke gezeigt. Die Vorrichtung 1 umfasst eine Laserstrahlquelle 3, mittels derer sich Kurzpuls- oder Ultrakurzpuls-laserstrahlen erzeugen lassen, die im Folgenden kurz als Laserstrahlen 5 bezeichnet werden. Im Strahlengang des Lasers befinden sich eine Aufweitungsoptik 7, eine Trepanieroptik 9 und eine Fokussieroptik 11. Im Bereich zwischen der Trepanieroptik 9 und der Fokussieroptik 11 wird der Laserstrahl 5 mittels eines Umlenkungsspiegels 13 hier beispielhaft um  $90^\circ$  umgelenkt. Bei einem anderen, in den Figuren nicht dargestellten Ausführungsbeispiel der Vorrichtung 1 ist im Strahlengang keine Aufweitungsoptik 7 angeordnet.

In Figur 1 ist ein Werkstück 15 gezeigt, auf das der Laserstrahl 5 gerichtet ist, um ein Loch, insbesondere ein Durchgangsloch, mit einer präzisen Konizität zu bohren. Das Werkstück 15 ist -in Richtung des Strahlengangs des Laserstrahls 5 gesehen- der Fokussieroptik nachgeordnet. Um die Stelle des Werkstücks 15, an der das Loch gebohrt werden soll, exakt im Strahlengang des Laserstrahls 5 anzuord-

nen, ist eine nicht dargestellte Stelleinrichtung zur Positionierung des Werkstücks 15 vorgesehen, mittels derer das Werkstück 15 -wie mit Pfeilen angedeutet- in x-, y- und z-Richtung verstellbar ist.

5 Die Vorrichtung 1 weist ferner eine Einrichtung 16 zur Einstellung der Zusammensetzung des Prozessgases auf, die eine Mischeinrichtung 17 mit einer Steuerung zum Mischen des Prozessgases umfasst. Das  
10 Prozessgas besteht vorzugsweise aus mindestens einem der folgenden Gase oder einer Mischung aus denselben: Helium, Sauerstoff, Argon und Stickstoff. In der Mischeinrichtung 17 können diese Gase und gegebenenfalls noch weitere geeignete Gase in einem bestimmten, vorwählbaren Verhältnis zusammenge-  
15 mischt werden. Der Anteil jedes der Gase am Prozessgas kann zwischen 0% und 100% betragen, sofern das Prozessgas ein Mischgas ist. Der der Wechselwirkungszone zwischen Laserstrahl 5 und Werkstück 15 zugeführte Prozessgas-Volumenstrom liegt vor-  
20 zugsweise in einem Bereich von in etwa 0,8 Nl/min bis 270 Nl/min (Normliter/Minute). Der Prozessgas-Druck liegt vorzugsweise zwischen 0,1 bar und 20 bar, insbesondere zwischen 0,5 bar und 10 bar.

Das Prozessgas wird über eine Zuführleitung 19 ei-  
25 ner mindestens eine Düse umfassenden, in Figur 1 nicht dargestellten Düsenanordnung zugeführt. Mit Hilfe der Einrichtung 16 können/kann der Druck und/oder die der Wechselwirkungszone zwischen Laserstrahl 5 und Werkstück 15 zugeführte Menge des  
30 Prozessgases eingestellt werden. Eine zeitliche Steuerung der Prozessgasparameter ist ohne weiteres realisierbar. So ist beispielsweise ein Vorbohren

mit Helium und ein anschließendes Nachbohren mit Argon möglich.

Figur 2 zeigt in schematischer Darstellung einen Ausschnitt eines ersten Ausführungsbeispiels der Düsenanordnung 21, die eine mit dem unter Druck stehenden Prozessgas beaufschlagbare Düse 23 umfasst. Die Düse 23 weist im Längsschnitt eine konische Form auf, wobei deren vom Prozessgas durchströmter Querschnitt in Richtung auf das Werkstück 15 kleiner wird. Die Anordnung der Düse 23 ist hier so gewählt, dass der aus der Düse 23 austretende Prozessgasstrahl 25 koaxial zum Laserstrahl 5 verläuft. Der Prozessgasstrahl 25 und der Laserstrahl 5 sind hier senkrecht gegenüber einer Werkstückoberseite 27 ausgerichtet.

Figur 3 zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel der Düsenanordnung 21, die sich von der anhand der Figur 2 beschriebenen Düsenanordnung 21 lediglich dadurch unterscheidet, dass die Düse 23 so gegenüber dem Laserstrahl 5 ausgerichtet ist, dass der aus der Düse 23 ausströmende Prozessgasstrahl 25 unter einem Winkel  $\alpha$  von in etwa  $90^\circ$  dem Laserstrahl 5 beziehungsweise der Wechselwirkungszone zugeführt wird. Der Prozessgasstrahl 25 verläuft hier parallel zur ebenen Werkstückoberseite 27. Die Düse 23 ist vorzugsweise verstellbar ausgebildet, so dass eine Einstellung des Winkels  $\alpha$ , unter dem der Prozessgasstrahl 25 gegenüber dem Laserstrahl 5 verläuft, einstellbar ist und zwar zwischen  $0^\circ$  und  $90^\circ$ .

Figur 4 zeigt ein drittes Ausführungsbeispiel der Düsenanordnung 21, die Düsen 23A und 23B aufweist,

wobei die Düse 23A in Anordnung und Ausgestaltung der anhand der Figur 2 beschriebenen Düse 23 und die Düse 23B der anhand der Figur 3 beschriebenen Düse 23 entsprechen. Wie mit einem Doppelpfeil angedeutet, ist die Düse 23B so gegenüber der Düsen 23A verstellbar, dass der Winkel  $\alpha$ , unter dem die Prozessgasstrahlen 25 beziehungsweise der aus der Düsen 23B ausgeblasene Prozessgas 25 und der Laserstrahl 5 aufeinander treffen, zwischen  $0^\circ$  und  $90^\circ$  variierbar ist. Die Düsen 23A, 23B können mit dem gleichen Prozessgas oder aber mit unterschiedlichen Prozessgasen beaufschlagt werden. Vorzugsweise sind die Parameter der aus den Düsen 23A, 23B ausblasbaren Prozessgasstrahlen unabhängig voneinander einstellbar, was eine optimale Einstellung der Atmosphäre um das mittels des Laserstrahls 5 in das Werkstück 15 eingebrachte Loch ermöglicht.

Alternativ zu den anhand der Figuren beschriebenen Düsen mit konischem Querschnitt können beispielsweise auch Laval-Düsen, Ringdüsen, Freiformen oder ähnliche Arten ebenfalls eingesetzt werden, das heißt, die vorstehend beschriebenen Düsengeometrie ist nur eine von mehreren möglichen Düsengeometrien.

Mit der anhand der Figuren 1 bis 4 beschriebenen Vorrichtung 1 lässt sich das erfindungsgemäße Verfahren ohne weiteres realisieren. Es sieht vor, dass die Zusammensetzung, der Druck und/oder der Volumenstrom des Prozessgases so gewählt werden/wird und dieses der Wechselwirkungszone zwischen dem Laserstrahl und dem Werkstück derart zugeführt wird, dass das mittels des Laserstrahls hergestellte Loch eine gewünschte Qualität, insbe-

sondere Konizität und/oder keine beziehungsweise nur geringe Schmelzgrate oder Schmelzfilme, aufweist, ohne dass hierzu das Werkstück 15 in eine Taumelbewegung versetzt und/oder die Parameter des Laserstrahls 5 verändert werden müssen. Vorzugsweise sind die obengenannten Vorrichtungsteile zumindest während der Herstellung der Bohrung in einer feststehenden Position gegenüber dem Werkstück 15 angeordnet. Hierunter sind nicht die optischen Keilplatten der in Figur 1 angedeuteten Trepanieroptik 9 zu verstehen, die sich während des Betriebs der Vorrichtung 1 in Rotation befinden.

In Figur 5 ist ein Längsschnitt durch ein mittels der Vorrichtung 1 erzeugten konischen Lochs 29 dargestellt, dessen größter Durchmesser in etwa 100  $\mu\text{m}$  beträgt. Die Dicke D des Werkstücks 15 ist nur relativ gering und kann ohne weiteres in einem Bereich zwischen 0,2 mm und 2,0 mm liegen. Das während der Herstellung des Lochs 29 der Wechselwirkungszone zwischen Laserstrahl 5 und Werkstück 15 zugeführte Prozessgas besteht aus 80% Argon und 20% Helium. Es ist ersichtlich, dass das Loch 29 an der Laserstrahleintrittsöffnung 31 einen Durchmesser  $\varnothing_E$  aufweist, der größer ist als der Durchmesser  $\varnothing_A$  an der Laserstrahlaustrittsöffnung 33. Der Konizitätsfaktor k  $((\varnothing_A - \varnothing_E)/10)$  beträgt hier in etwa -2. Es ist ersichtlich, dass das Loch 29 praktisch keine Schmelzgrate und der nicht dargestellte Schmelzfilm an der Loch-/Bohrwand nur eine minimale Dicke aufweist. Die Lochränder am Laserstrahleintritt und -austritt weisen jeweils eine relativ scharfe Kante auf. Durch eine entsprechende Änderung der Prozessgasparameter und/oder der Zusammensetzung des Pro-

zessgases können auch verrundete Lochkanten realisiert werden.

In Figur 6 ist ein Längsschnitt durch ein konisches Loch 29 gezeigt, bei dessen Herstellung das der Wechselwirkungszone zwischen Laserstrahl 5 und Werkstück 15 zugeführte Prozessgas aus 20% Argon und 80% Helium besteht. Die übrigen Prozessgasparameter (Druck, Volumenstrom) und die Laserstrahlparameter sind die gleichen wie bei der Herstellung des in Figur 5 dargestellten Lochs 29. Es ist ohne weiteres ersichtlich, dass das Loch 29 einen deutlich größeren Konizitäts-Faktor  $k$  aufweist, der hier in etwa  $-1$  beträgt. Das bedeutet, dass die Konizität des Lochs 29 ausschließlich aufgrund der Änderung der Zusammensetzung des Prozessgases beziehungsweise der Höhe der Volumenanteile der zum Prozessgas zusammengemischten Gase unterschiedlich ist. Die Lochkonizität ist also gezielt, ausschließlich durch die Zusammensetzung des Prozessgases variierbar. Darüber hinaus ist auch eine gezielte Zuführung des Prozessgases an die Wechselwirkungszone erforderlich, wie sie beispielsweise anhand der Figuren 1 bis 4 beschrieben ist. Um eine noch präzisere Einstellung der Lochkonizität zu ermöglichen, kann bei dieser Ausführungsvariante gegebenenfalls auch noch der Druck und der der Wechselwirkungszone zwischen Laserstrahl 5 und Werkstück 15 zugeführte Prozessgasvolumenstrom entsprechend verändert werden.

Das in Figur 6 dargestellte Loch weist im Gegensatz zu dem in Figur 5 gezeigten Loch 29 auf der Werkstückoberseite 27 Schmelzgrate 35 auf, während der Lochrand an der Laserstrahlaustrittsöffnung 33



scharfkantig ist. Durch eine entsprechende Einstellung der Prozessgasparameter und gezielte Prozessgaszuführung an die Wechselwirkungszone können also die charakteristischen Merkmale des Lochs (Konizität, Durchmesser, Lochrand scharfkantig oder ver-  
5 rundet, und dergleichen) exakt gesteuert werden.

Festzuhalten bleibt, dass bei Löchern mit einem Durchmesser kleiner  $250\ \mu\text{m}$  und bei einer Wanddicke  $D$  des Werkstücks 15 kleiner oder gleich  $2\ \text{mm}$   
10 ohne weiteres jeder beliebige Konizitäts-Faktor ( $k$ ) im Bereich zwischen  $-3$  bis  $+3$  oder auch in einem größeren Bereich realisierbar ist, indem eine entsprechende Prozessgaszusammensetzung gewählt und eine gezielte Zuführung des Prozessgases an die  
15 Wechselwirkungszone erfolgt. Weitere wichtige Parameter zur Einstellung einer präzisen Lochkonizität sind der Druck und der Volumenstrom des Prozessgases.

Bei einem vorteilhaften Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist eine optische Einrichtung, insbesondere mit einer speziellen Trepap-  
20 nieroptik, zur Beeinflussung des Laserstrahls eingesetzt, mittels derer allein schon konische Löcher mit einem bestimmten, vorzugsweise einstellbaren  
25 Konizitäts-Faktor herstellen lassen, ohne dass dazu die Prozessgasparameter und -führung in spezieller Weise variiert beziehungsweise eingestellt werden müssen. Beispielsweise kann mit einer bestimmten Einstellung der Optik ein konisches Loch mit einem  
30 Konizitäts-Faktor von 5 erzeugt werden. Mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens, das eine gezielte Beeinflussung mindestens eines Prozessgasparameters und eine spezielle Zuführung des Prozessgases zur

- Wechselwirkungszone vorsieht, lässt sich nun in vorteilhafter Weise dieser Konizitäts-Faktor von 5, vorzugsweise sehr genau, vergrößern und verkleinern, beispielsweise auf 5,4 oder 3,7 oder 7,8. Mit anderen Worten, es ist eine Feineinstellung der durch die Laserstrahlparameter realisierten beziehungsweise bestimmten Lochkonizität möglich, ohne dass dazu die Laserstrahlparameter verändert werden müssen.
- 10 Figur 7 zeigt ein Diagramm, in dem auf der linken Ordinatenachse der laserstrahleintrittsseitige Lochdurchmesser  $\varnothing_E$  in  $\mu\text{m}$  (Mikrometer), auf der rechten Ordinatenachse der Konizitäts-Faktor  $k$  des Lochs 29 und auf der Abszissenachse der Druck  $p$  des aus 50% Helium und 50% Sauerstoff bestehenden Prozessgases in bar aufgetragen sind. In dem Diagramm sind mehrere gemessene Lochdurchmesser  $\varnothing_E$  und der jeweils zugehörige Konizitäts-Faktor  $k$  als Funktion des Prozessgasdrucks eingetragen. Die Löcher wurden alle unter gleichen Bedingungen hergestellt, das heißt, die Laserstrahlparameter und die Zusammensetzung des Prozessgases sind gleich sowie die Weise, wie es der Wechselwirkungszone zugeführt wurde. Lediglich der Druck des Prozessgases wurde verändert. Die ermittelten Werte sind der folgenden Tabelle zu entnehmen:

Prozessgasdruck $p$ [bar]	Lochdurchmesser $\varnothing$ [ $\mu\text{m}$ ]	Konizitäts-Faktor $k$
0,5	circa 131	circa 0,25
1,0	circa 152	circa 0,00

Prozessgasdruck p [bar]	Lochdurchmesser $\varnothing$ [ $\mu\text{m}$ ]	Konizitäts- Faktor k
1,5	circa 144	circa -0,25
2,0	circa 150	circa -0,30
2,5	circa 145	circa -0,90
3,0	circa 143	circa -1,50
3,5	circa 148	circa -1,90

Die Tabellenwerte zeigen, dass nur durch variieren des Prozessgasdrucks, also bei gleicher Zusammensetzung des Prozessgases deutlich unterschiedliche Lochkonizitäten und Lochdurchmesser herstellbar sind.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass mittels dem erfindungsgemäßen Verfahren die Querschnittsform der Bohrungen/Löcher (beispielsweise konisch oder mit konstantem Querschnitt über seine gesamte Länge) gezielt einstellbar ist. Besonders hervorzuheben ist, dass laserstrahleintrittsseitige Schmelzgrate auf dem Werkstück und Schmelzfilme an Lochwänden auf ein niedriges Maß gesenkt werden können, dass Lochkantenformen einstellbar sind und dass Nachbearbeitungsprozesse stark vereinfacht werden können oder im Idealfall ganz entfallen können. Insbesondere die vorstehend genannten Kriterien bestimmen die Lochqualität, die mittels der erfindungsgemäßen Vorrichtung beziehungsweise dem Verfahren hergestellten Löchern gegenüber bekannten Vorrichtungen/Verfahren besonders hoch ist. Das Verfahren eignet sich insbesondere zur Herstellung

von Präzisionsmikrolöchern mit einem Durchmesser, der kleiner 250  $\mu\text{m}$  ist, wie sie beispielsweise bei Düsen in Kraftstoffeinspritzsystemen vorgesehen sind. Mittels der erfindungsgemäßen Vorrichtung und dem damit realisierbaren Verfahren sind auch konische Löcher mit größerem Durchmesser präzise herstellbar.

### Patentansprüche

- 5 1. Verfahren zum Herstellen von Löchern (29) in  
Werkstücken (15) mittels mindestens eines Laser-  
strahls (5), insbesondere Kurzpuls- oder Ultrakurz-  
puls-laserstrahl, wobei der Auftreffstelle des La-  
serstrahls (5) auf dem Werkstück (15) mindestens  
10 ein Prozessgas zugeführt wird, dadurch gekennzeich-  
net, dass mindestens ein Parameter des Prozessgases  
so gewählt und das Prozessgas der Wechselwirkungs-  
zone zwischen dem Laserstrahl (5) und dem Werkstück  
(15) derart zugeführt wird, dass das mittels des  
15 Laserstrahls (5) hergestellte Loch (29) eine ge-  
wünschte Qualität aufweist.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeich-  
net, dass die Zusammensetzung, der Druck und/oder  
der der Wechselwirkungszone zugeführte Volumenstrom  
20 des Prozessgases und/oder die Prozessgaszuführung  
in Abhängigkeit mindestens eines charakteristischen  
Merkmals des Lochs (29) und/oder wenigstens eines  
charakteristischen Merkmals des Werkstücks (15)  
eingestellt werden/wird.
- 25 3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprü-  
che, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens einer  
der Parameter des Prozessgases während der Herstel-  
lung des Lochs (29) gesteuert, vorzugsweise zeit-  
lich gesteuert wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Loch (29) mit einer gewünschten Konizität hergestellt wird, wobei der Konizitäts-Faktor (k) des Lochs durch eine entsprechende Prozessgasführung und Einstellung der Prozessgasparameter variierbar ist.
- 5
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Löcher mit einem Durchmesser von kleiner 250  $\mu\text{m}$ , insbesondere kleiner 120  $\mu\text{m}$ , hergestellt werden.
- 10
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Parameter des Laserstrahls (5) zur Herstellung von Löchern (29) mit unterschiedlicher Konizität gleich sind.
- 15
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Prozessgas aus wenigstens einem Gas, vorzugsweise aus vier verschiedenen Gasen besteht.
- 20
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Prozessgas aus Helium (He), Sauerstoff ( $\text{O}_2$ ), Argon (Ar) und/oder Stickstoff ( $\text{N}_2$ ) besteht beziehungsweise zusammengemischt ist.
- 25
9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Anteil jedes der Gase am Prozessgas zwischen 0% und 100% betragen kann, wobei die Summe der Anteile aller Gase des Prozessgases 100% beträgt.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Zusammenmischen des sich aus mehreren Gasen zusammensetzenden Prozessgases vor seinem Erreichen der Wechselwirkungszone erfolgt.  
5
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der der Wechselwirkungszone zugeführte Prozessgasvolumenstrom in einem Bereich von in etwa 0,8 Nl/min bis 270 Nl/min  
10 liegt.
12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Druck des Prozessgases in einem Bereich von 0,1 bar bis 20 bar, vorzugsweise von 0,3 bar bis 15 bar, insbesondere von 0,5 bar bis 10 bar, liegt.  
15
13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Prozessgasstrahl (25) koaxial zum Laserstrahl (5) verläuft oder diesem unter einem Winkel  $\alpha$  zugeführt wird,  
20 der in einem Bereich von  $0^\circ$  bis  $90^\circ$  liegt.
14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass der Wechselwirkungszone mehrere Prozessgasstrahlen (25) zugeführt werden, wobei ein erster Prozessgasstrahl  
25 (25) koaxial zum Laserstrahl (5) verläuft und ein zweiter Prozessgasstrahl (25) unter einem Winkel  $\alpha$  zum Laserstrahl (5) gerichtet ist, der in einem Bereich von  $0^\circ$  und  $90^\circ$  liegt.
15. Vorrichtung (1) zum Einbringen von Löchern (29)  
30 in Werkstücke (15), mit einer Laserstrahlquelle (3)

- zum Erzeugen mindestens eines auf das Werkstück (15) richtbaren Laserstrahls (5), insbesondere Kurzpulslaserstrahl oder Ultrakurzpulslaserstrahl, und einer Düsenanordnung (21), die mindestens eine  
5 mit wenigstens einem unter Druck stehenden Prozessgas beaufschlagbare Düse (23;23A,23B) aufweist, wobei der aus der Düse (23;23A,23B) austretende Gasstrahl (25) in Richtung auf die Auftreffstelle des Laserstrahls (5) an dem Werkstück (15) richtbar  
10 ist, insbesondere zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 14, gekennzeichnet durch eine Einrichtung (16) zur Einstellung der Zusammensetzung, des Druckes und/oder der der Auftreffstelle zugeführten Menge des Prozessgases.
- 15 16. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Einstellung der mittels der Einrichtung (16) einstellbaren Prozessgasparameter zeitlich steuerbar ist.
- 20 17. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Prozessgas aus wenigstens einem Gas, vorzugsweise aus vier verschiedenen Gasen besteht.
- 25 18. Vorrichtung nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass das Prozessgas aus Helium (He), Sauerstoff (O<sub>2</sub>), Argon (Ar) und/oder Stickstoff (N<sub>2</sub>) besteht beziehungsweise zusammengemischt ist.
- 30 19. Vorrichtung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass der Anteil jedes der Gase am Prozessgas zwischen 0% und 100% betragen kann, wobei die Summe der Anteile aller Gase des Prozessgases 100% beträgt.



20. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der der Düse (23;23A,23B) zugeführte Volumenstrom in einem Bereich von in etwa 0,8 Nl/min bis 270 Nl/min liegt.
- 5 21. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Druck des Prozessgases in einem Bereich von 0,1 bar bis 20 bar, vorzugsweise von 0,3 bar bis 15 bar, insbesondere von 0,5 bar bis 10 bar, liegt.
- 10 22. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Einrichtung (16) mindestens eine Mischeinrichtung (17) zum Mischen des Prozessgases und mindestens eine mit der Düse (23;23A,23B) strömungstechnisch verbundene  
15 Zuführleitung (19) zum Zuführen des gemischten Prozessgases aufweist.
23. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der aus der  
20 Düse (23;23A) austretende Prozessgasstrahl (25) koaxial zum Laserstrahl (5) verläuft und vorzugsweise orthogonal oder im Wesentlichen orthogonal auf die Werkstückoberfläche (27) auftrifft.
24. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche 15 bis 22, dadurch gekennzeichnet, dass der  
25 aus der Düse (23;23B) austretende Prozessgasstrahl (25) senkrecht zum Laserstrahl (5) gerichtet ist oder in einem spitzen Winkel  $\alpha$  zum Laserstrahl (5) verläuft.
25. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
30 dadurch gekennzeichnet, dass die Düsenan-

- 24 -

ordnung mindestens zwei Düsen (23A,23B) umfasst, wobei der aus einer ersten Düse (23A) austretende Prozessgasstrahl (25) koaxial zum Laserstrahl (5) verläuft und der aus einer zweiten Düse (23B) austretende Prozessgasstrahl (25) unter einem Winkel  $\alpha$  zum Laserstrahl (5) verläuft, der in einem Bereich von  $0^\circ$  bis  $90^\circ$  liegt.

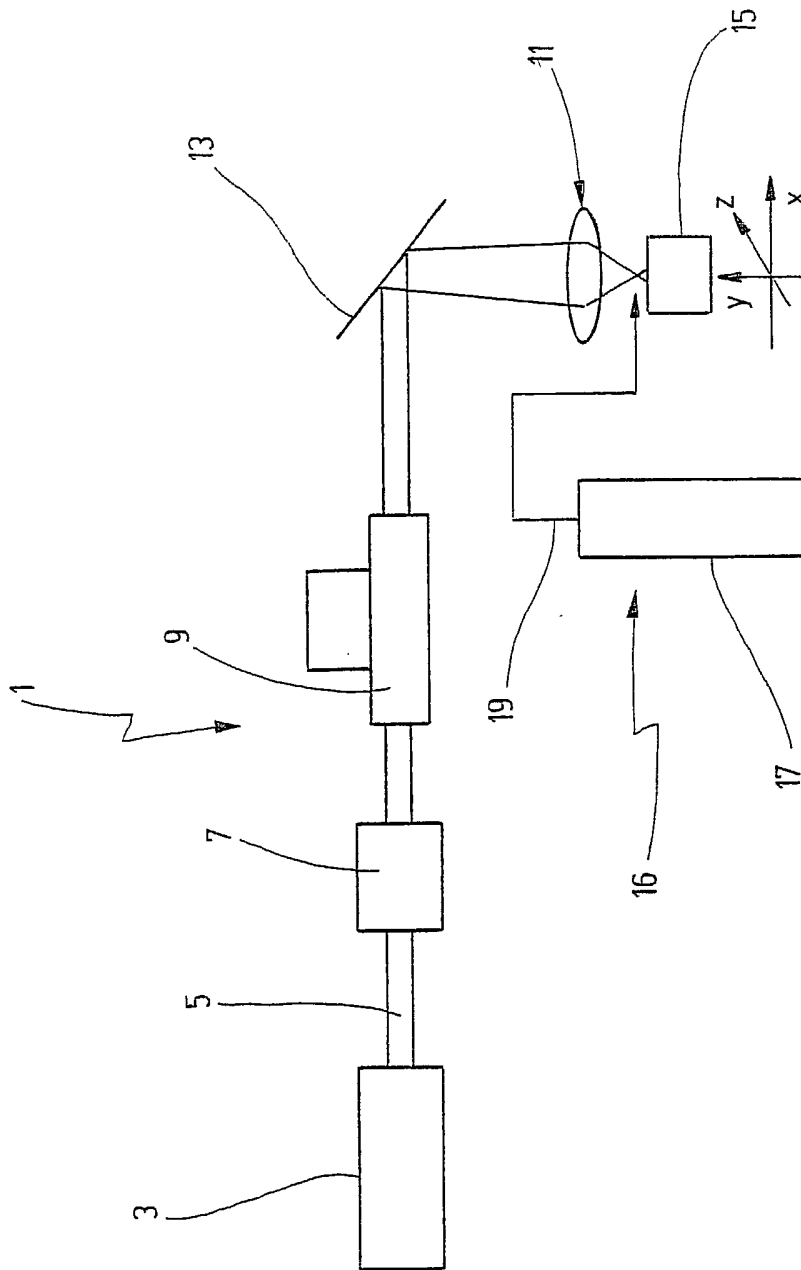


Fig.1

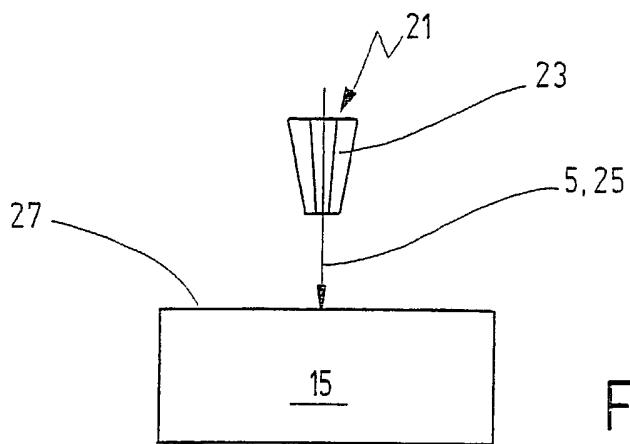


Fig.2

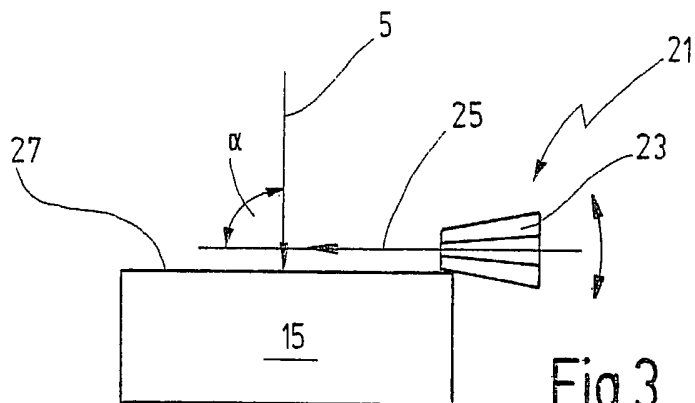


Fig.3

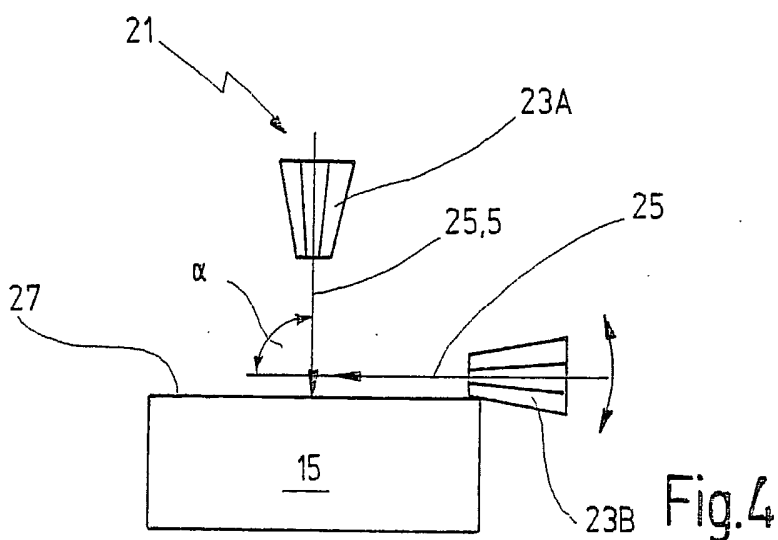
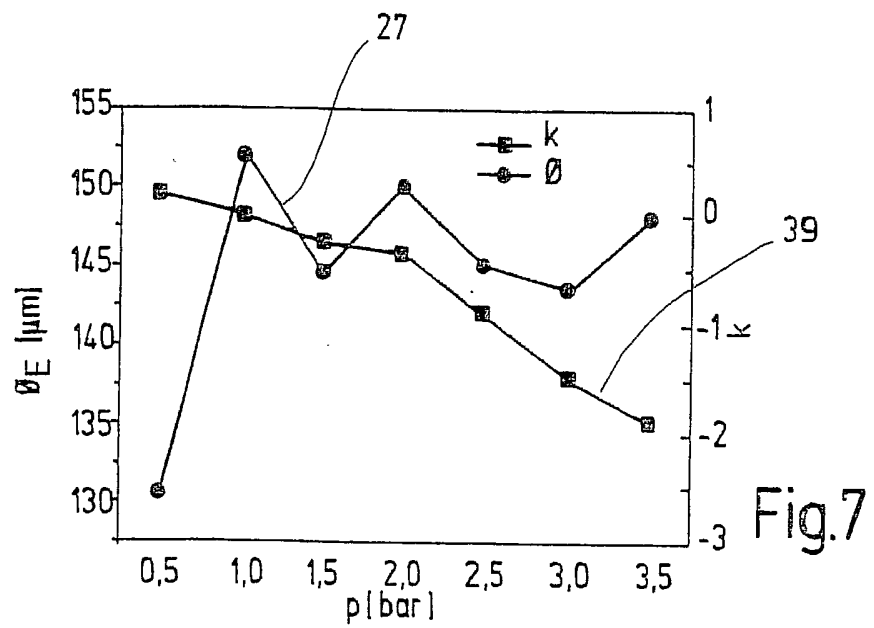
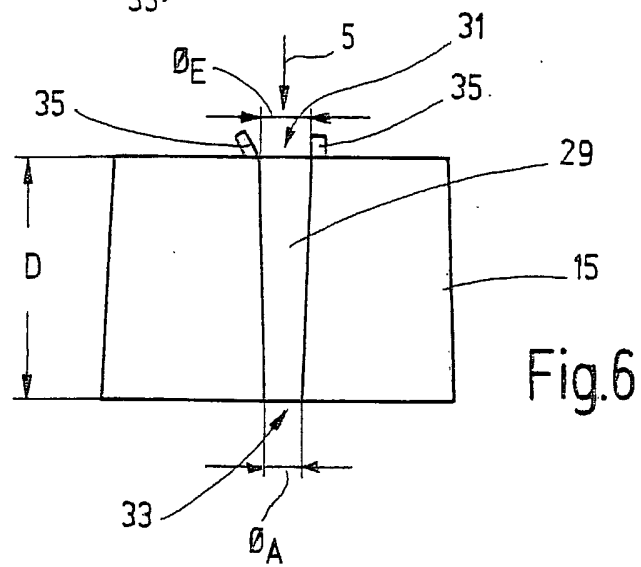
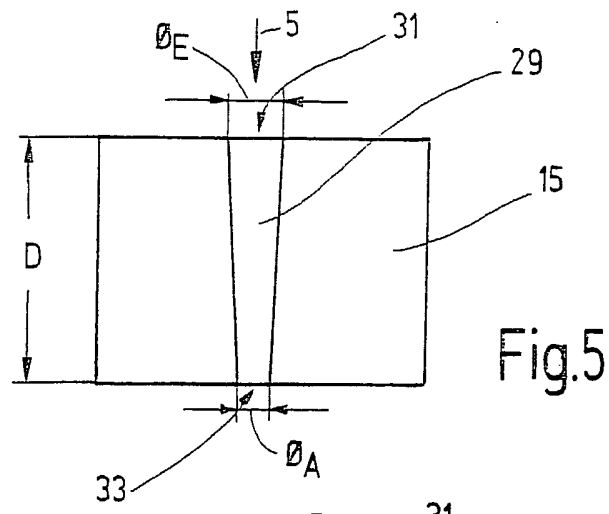


Fig.4



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

In ternational Application No  
PCT/DE 02/02504

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
IPC 7 B23K26/38 B23K26/14

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)  
IPC 7 B23K

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 practical, search terms used)

EPO-Internal

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	SUN J ET AL: "INERT GAS BEAM DELIVERY FOR ULTRAFAST LASER MICROMACHINING AT AMBIENT PRESSURE" JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS. NEW YORK, US, vol. 89, no. 12, 15 June 2001 (2001-06-15), pages 8219-8224, XP001066091 ISSN: 0021-8979 page 8221, column 2 -page 8223, column 1, paragraph 4 ---	1,2,5, 7-9, 11-13
X	US 4 220 842 A (EINSTEIN BERNHARD ET AL) 2 September 1980 (1980-09-02) abstract; figure 1 --- -/--	1,2, 7-10,13

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in 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 document 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.
- \*Z\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

Date of mailing of the international search report

13 December 2002

30/12/2002

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Caubet, J-S

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 02/02504

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 0 635 331 A (BEHRENS AG C) 25 January 1995 (1995-01-25) abstract; figure 1 ---	15-17, 19,22,23
X	EP 0 352 326 A (FANUC LTD) 31 January 1990 (1990-01-31) page 2, line 12 -page 8, line 19; figures 1,2 ---	15-17, 19,22,23
X	EP 0 985 484 A (TANAKA ENGINEERING WORKS LTD) 15 March 2000 (2000-03-15)  column 8, line 27 - line 43 ---	1,2, 7-10,13, 14
X	US 3 601 576 A (SCHLAFLI HANS ET AL) 24 August 1971 (1971-08-24) column 3, line 6 - line 63; figures ---	1,2,7, 13,14
E	WO 02 076666 A (XSIL TECHNOLOGY LTD ;WALSH GILLIAN (IE); BOYLE ADRIAN (IE); MAH KI) 3 October 2002 (2002-10-03) page 20, line 14 -page 23, line 10; claims 1,2,4-10 -----	1-3,12

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE 02/02504

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 4220842	A	02-09-1980	CH 605010 A5	29-09-1978
			DE 2740755 A1	13-04-1978
			FR 2366910 A1	05-05-1978
			GB 1585609 A	11-03-1981
-----				
EP 0635331	A	25-01-1995	DE 4324363 A1	26-01-1995
			EP 0635331 A1	25-01-1995
-----				
EP 0352326	A	31-01-1990	JP 1044296 A	16-02-1989
			DE 3887684 D1	17-03-1994
			DE 3887684 T2	11-05-1994
			EP 0352326 A1	31-01-1990
			WO 8901386 A1	23-02-1989
			US 4945207 A	31-07-1990
-----				
EP 0985484	A	15-03-2000	JP 2000084686 A	28-03-2000
			EP 0985484 A2	15-03-2000
			KR 2000022579 A	25-04-2000
			US 6316743 B1	13-11-2001
-----				
US 3601576	A	24-08-1971	AT 296894 B	25-02-1972
			BE 721320 A	03-03-1969
			CH 1335667 A	31-01-1969
			CH 497258 B	15-10-1970
			DE 1790129 A1	13-04-1972
			FR 1582352 A	26-09-1969
			GB 1233195 A	26-05-1971
			NL 6813464 A	27-03-1969
			SE 353252 B	29-01-1973
-----				
WO 02076666	A	03-10-2002	WO 02076666 A2	03-10-2002
			US 2002170891 A1	21-11-2002
-----				



**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

In  ionales Aktenzeichen

PCI/DE 02/02504

<b>A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES</b> IPK 7 B23K26/38 B23K26/14		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK		
<b>B. RECHERCHIERTE GEBIETE</b>		
Recherchiertes Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) IPK 7 B23K		
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		
<b>C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN</b>		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	SUN J ET AL: "INERT GAS BEAM DELIVERY FOR ULTRAFAST LASER MICROMACHINING AT AMBIENT PRESSURE" JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS. NEW YORK, US, Bd. 89, Nr. 12, 15. Juni 2001 (2001-06-15), Seiten 8219-8224, XP001066091 ISSN: 0021-8979 Seite 8221, Spalte 2 -Seite 8223, Spalte 1, Absatz 4 ---	1,2,5, 7-9, 11-13
X	US 4 220 842 A (EINSTEIN BERNHARD ET AL) 2. September 1980 (1980-09-02) Zusammenfassung; Abbildung 1 --- -/--	1,2, 7-10,13
<input checked="" 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* älteres Dokument, 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 anderen 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 13. Dezember 2002		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts 30/12/2002
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Caubet, J-S

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen  
PCT/DE 02/02504

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 0 635 331 A (BEHRENS AG C) 25. Januar 1995 (1995-01-25) Zusammenfassung; Abbildung 1 ----	15-17, 19,22,23
X	EP 0 352 326 A (FANUC LTD) 31. Januar 1990 (1990-01-31) Seite 2, Zeile 12 -Seite 8, Zeile 19; Abbildungen 1,2 ----	15-17, 19,22,23
X	EP 0 985 484 A (TANAKA ENGINEERING WORKS LTD) 15. März 2000 (2000-03-15)  Spalte 8, Zeile 27 - Zeile 43 ----	1,2, 7-10,13, 14
X	US 3 601 576 A (SCHLAFLI HANS ET AL) 24. August 1971 (1971-08-24) Spalte 3, Zeile 6 - Zeile 63; Abbildungen ----	1,2,7, 13,14
E	WO 02 076666 A (XSIL TECHNOLOGY LTD ;WALSH GILLIAN (IE); BOYLE ADRIAN (IE); MAH KI) 3. Oktober 2002 (2002-10-03) Seite 20, Zeile 14 -Seite 23, Zeile 10; Ansprüche 1,2,4-10 -----	1-3,12

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 02/02504

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 4220842	A	02-09-1980	CH 605010 A5	29-09-1978
			DE 2740755 A1	13-04-1978
			FR 2366910 A1	05-05-1978
			GB 1585609 A	11-03-1981
-----				
EP 0635331	A	25-01-1995	DE 4324363 A1	26-01-1995
			EP 0635331 A1	25-01-1995
-----				
EP 0352326	A	31-01-1990	JP 1044296 A	16-02-1989
			DE 3887684 D1	17-03-1994
			DE 3887684 T2	11-05-1994
			EP 0352326 A1	31-01-1990
			WO 8901386 A1	23-02-1989
			US 4945207 A	31-07-1990
-----				
EP 0985484	A	15-03-2000	JP 2000084686 A	28-03-2000
			EP 0985484 A2	15-03-2000
			KR 2000022579 A	25-04-2000
			US 6316743 B1	13-11-2001
-----				
US 3601576	A	24-08-1971	AT 296894 B	25-02-1972
			BE 721320 A	03-03-1969
			CH 1335667 A	31-01-1969
			CH 497258 B	15-10-1970
			DE 1790129 A1	13-04-1972
			FR 1582352 A	26-09-1969
			GB 1233195 A	26-05-1971
			NL 6813464 A	27-03-1969
			SE 353252 B	29-01-1973
			-----	
WO 02076666	A	03-10-2002	WO 02076666 A2	03-10-2002
			US 2002170891 A1	21-11-2002
-----				