



(11) EP 1 977 860 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
08.10.2008 Patentblatt 2008/41

(51) Int Cl.:
B24C 1/04 (2006.01) **B24C 1/08 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: 08102962.1

(22) Anmeldetag: 27.03.2008

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MT NL NO PL PT
RO SE SI SK TR**

Benannte Erstreckungsstaaten:

AL BA MK RS

(30) Priorität: 04.04.2007 CH 5412007

(71) Anmelder: **FISBA OPTIK AG**
9016 St. Gallen (CH)

(72) Erfinder:

- Fähnle, Oliver
9012 St. Gallen (CH)
- Messelink, Wilhelmus
9000 St. Gallen (CH)
- Meeder, Mark
9000 St. Gallen (CH)

(74) Vertreter: **Hepp, Dieter et al**
Hepp, Wenger & Ryffel AG,
Friedtalweg 5
9500 Wil (CH)

(54) Verfahren und Vorrichtung zum Herstellen von optischen Elementen

(57) In einem Verfahren zum Herstellen von optischen Elementen wird auf einem Rohling (20) mit einem abrasiven Flüssigkeitsstrahl (32) Material abgetragen. Der Flüssigkeitsstrahl (32) weist eine Strahldicke (d) auf, die grösser ist als die Dimension (D) des Rohlings (20)

in einer Ebene (E) senkrecht zur Richtung (R) des Flüssigkeitsstrahls. Indem der Flüssigkeitsstrahl (32) unter unterschiedlichen Einfallswinkeln (α) auf den Rohling (20) geführt wird, können vordefinierte Abtragprofile in asphärischer Form erzielt werden.

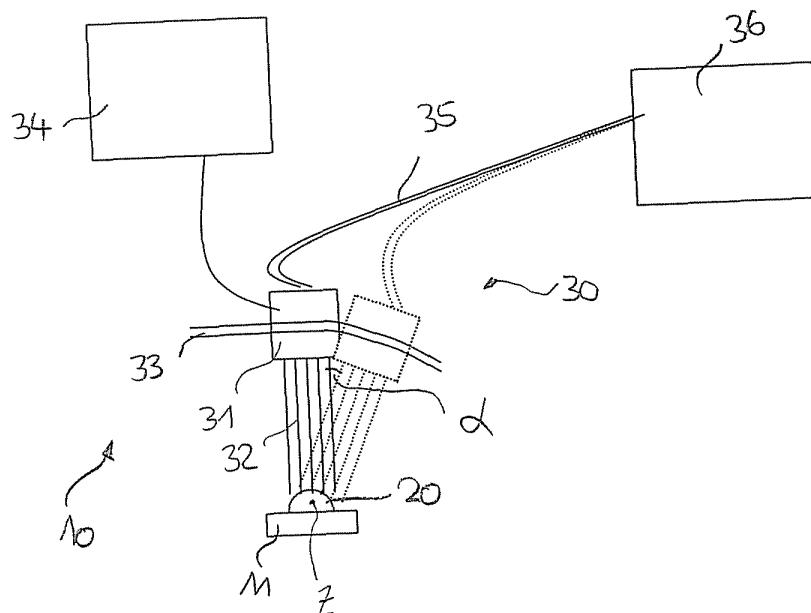


FIG.4

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Herstellen von optischen Elementen gemäss den Merkmalen des Oberbegriffs der unabhängigen Patentansprüche.

5 **[0002]** Zum Auspolieren, Korrigieren oder Bearbeiten von optischen Elementen ist es bekannt, mit einem abrasiven Flüssigkeitsstrahl Material abzutragen. Bei dieser Fluid Jet Polishing genannten Technologie ist es möglich, optische Oberflächen beispielsweise von Glaskörpern zu formen und zu polieren. Die Fluid Jet Polishing Technik ist beispielsweise von O. W. Fähnle/H. van Brug/H. J. Franken in "Fluid Jet Polishing of optical surfaces", Applied Optics 37(28), 6771-6773, 1998, beschrieben.

10 **[0003]** Für optische Anwendungen wie beispielsweise DVD Systeme oder für Laseroptiken zur Einkopplung in Lichtleitfasern werden asphärische Linsen mit sehr kleinen Dimensionen benötigt.

[0004] Mit heute bekannten Herstellmethoden ist es schwierig, solche kleinen Mini- oder Mikrolinsen mit ausreichender Präzision herzustellen. Unter Mini- und Mikrolinsen werden hier und im Folgenden Linsen verstanden, welche einen Durchmesser von 0.1 bis 5 mm aufweisen. Es ist deshalb eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die Nachteile des 15 Bekannten zu vermeiden, insbesondere also ein Verfahren und eine Vorrichtung zu schaffen, mittels welchen sich asphärische Mini- und Mikrolinsen mit hoher Präzision auf einfache Art und Weise herstellen lassen. Die erfindungsgemäss Vorrichtung und das erfindungsgemäss Verfahren sollen ausserdem auf flexible Weise die Herstellung von solchen Linsen erlauben.

20 **[0005]** Erfindungsgemäss werden diese Aufgaben mit einem Verfahren und einer Vorrichtung mit den Merkmalen des kennzeichnenden Teils der unabhängigen Patentansprüche gelöst.

[0006] Das Verfahren dient zum Herstellen von optischen Elementen. Insbesondere sollen damit asphärische Mini- und Mikrolinsen hergestellt werden. Es ist aber auch denkbar, andere optische Elemente mit kleinen Dimensionen erfindungsgemäss herzustellen.

25 **[0007]** In einem ersten Schritt des Verfahrens wird ein Rohling bereitgestellt. Der Rohling besteht aus einem transparenten Material, typischerweise aus Glas. Der Rohling wird mit einem abrasiven Flüssigkeitsstrahl bearbeitet. Dadurch wird Material vom Rohling abgetragen.

30 **[0008]** Erfindungsgemäss weist der Flüssigkeitsstrahl einen Strahldurchmesser auf, der grösser ist als die Dimension des Rohlings in einer Ebene senkrecht zur Richtung des Flüssigkeitsstrahls. Der Rohling weist typischerweise eine Grösse von 0.1 bis 5 mm auf. Grundsätzlich funktioniert das erfindungsgemäss Verfahren auch bei grösseren Durchmessern, sofern ein Abrasivstrahl mit ausreichend grossem Durchmesser zur Verfügung gestellt wird. Es hat sich gezeigt, dass in diesem Fall ein bestimmtes, inhomogenes Abtragprofil auf der Oberfläche des Rohlings erzeugt wird. Dieses Profil ist unter anderem abhängig von den unterschiedlichen Einfallswinkeln des Strahls an den verschiedenen Stellen des Rohlings, insbesondere eines kugelförmigen Rohlings. Wenn ein derart grösserer Flüssigkeitsstrahl verwendet wird, wird die typischerweise kugelförmige Oberfläche des Rohlings unregelmässig abgetragen, typischerweise asphärisiert.

35 **[0009]** Für die Bearbeitung des Rohlings wird gemäss der Erfindung der Flüssigkeitsstrahl derart unter mindestens zwei unterschiedlichen Einfallswinkeln gegen den Rohling geführt, dass ein vorbestimmtes Abtragprofil erzeugt wird.

[0010] Bevorzugt wird ein Rohling bearbeitet, der zumindest im Bereich der zu bearbeitenden Oberfläche kugelförmig ausgebildet ist. Ausgehend von der Kugelform des Rohlings lässt sich das gewünschte Profil bzw. die gewünschte Asphärität besonders einfach aufgrund der Differenz der gewünschten Form zur Rohlingform erzielen.

40 **[0011]** Es ist auch denkbar, bei bestimmten Anwendungen andere Formen von Rohlingen, beispielsweise auch zylindrische Rohlinge zu verwenden.

[0012] Das erfindungsgemäss Verfahren erfolgt nach dem an sich bekannten Prinzip des Fluid Jet Polishing. Dabei wird typischerweise als Flüssigkeit Wasser verwendet, in die als Abrasivmaterial CeO₂ oder SiC oder andere handelsübliche Schleif- oder Poliermittel beigemischt sind.

45 **[0013]** Die Rohlinge weisen typischerweise Dimensionen von einigen Zehntel Millimetern auf. Erfindungsgemäss weist der Flüssigkeitsstrahl einen Strahldurchmesser von ca. 1 - 6 mm auf. Typischerweise wird der Strahl mit einem Förderdruck von 5 bis 20 bar gefördert und trifft mit einer Geschwindigkeit von 40 bis 80 m/s auf der Oberfläche des Rohlings auf.

[0014] Besonders bevorzugt werden der Strahl und der Rohling in Bezug zueinander derart bewegt, dass der Strahl um den Mittelpunkt des zumindest teilweise kugelförmigen Rohlings gedreht wird. Auf diese Weise lassen sich besonders 50 genau vorbestimmte Abtragprofile bezogen auf einen kugelförmigen Rohling vorhersagen.

[0015] Der Rohling wird dabei besonders bevorzugt in eine vorbestimmte Form gebracht, indem ein gewünschtes Abtragprofil als Differenz zwischen der Form des Rohlings und der gewünschten Form als Kombination einer Mehrzahl von Basisabtragprofilen gebildet wird. Dabei entspricht jedes Basis-Abtragprofil der Bearbeitung des Rohlings unter einem vorbestimmten Einfallsinkel des Flüssigkeitsstrahls. Aus einer Mehrzahl von solchen Basis-Abtragungsprofilen lässt sich daher das gewünschte Abtragungsprofil als lineare Kombination herstellen. Diese Kombination der Abtragungsprofile stellt die räumliche Abweichung des gewünschten optischen Elements, insbesondere der asphärischen Linse von dem Rohling, insbesondere von der Basiskugel dar. Durch die Bestimmung der Abtragungsrate bzw. des Abtragungsprofils bei verschiedenen Einfallswinkeln, beispielsweise um 10° voneinander getrennt, kann ein Satz von 55

Basis-Abtragprofilen ermittelt werden. Das Abtragprofil des Rohlings wird dann als lineare Kombination der Basis-Abtragprofile zusammengestellt. Außerdem ist es bevorzugt möglich, ausgehend von einem bekannten Abtragprofil bei einem Winkel von 0° die weiteren Basisprofile für einen beliebigen Auftreffwinkel zu simulieren. Dies ermöglicht es, mit einem einzigen gespeicherten Abtragsprofil (für einen Auftreffwinkel von 0°) die weiteren Basisprofile zu simulieren, ohne Messungen durchführen zu müssen. Die gewünschte Abtragsrate kann einfach aus einer linearen Kombination der simulierten Basisprofile erzeugt werden. Deshalb ist es auch ohne weiteres möglich, Basisprofile mit besonders geeigneten Auftreffwinkeln zu bestimmen und auszuwählen. Es muss daher nicht von festen Winkelpositionen mit fixen Abständen ausgegangen werden. Damit können optimierte Winkel ausgewählt werden, so dass die Asphäre auch mit minimalen Verweilzeiten hergestellt werden kann.

[0016] Die erfindungsgemäße Vorrichtung dient zum Herstellen von optischen Elementen, typischerweise asphärischen Mini- und Mikrolinsen. Die Vorrichtung weist eine Halteanordnung für wenigstens einen Rohling auf. Die Vorrichtung ist außerdem mit einer Strahlvorrichtung zur Abgabe eines abrasiven Flüssigkeitsstrahls versehen. Die Strahlvorrichtung ist zur Abgabe eines Flüssigkeitsstrahls ausgebildet, der einen Strahldurchmesser aufweist, der grösser ist als die Dimension des Rohlings in einer Ebene senkrecht zur Richtung des Flüssigkeitsstrahls. Die Strahlvorrichtung zur Abgabe des abrasiven Flüssigkeitsstrahls und die Haltevorrichtung sind bezogen zueinander derart bewegbar, dass der Flüssigkeitsstrahl unter unterschiedlichen Einfallswinkeln auf den Rohling auftrifft. Bevorzugt ist die Halteanordnung mit dem Rohling bewegbar. Diese Art der gegenseitigen Bewegung ist besonders einfach, da es ausreicht, die Haltevorrichtung so zu bewegen, dass sich der Rohling um seinen Mittelpunkt bewegt. Es ist aber grundsätzlich auch denkbar, nur die Strahlvorrichtung oder die Strahlvorrichtung und die Halteanordnung für den Rohling zu bewegen. Die Steuerung der Bewegungen ist dabei zwar etwas komplexer. Sie kann mit einer CNC-Steuerung jedoch ohne weiteres realisiert werden.

[0017] Bevorzugt ist die Haltevorrichtung zur Aufnahme eines Rohlings mit einer Grösse von 0.1 - 5 mm ausgebildet.

[0018] Die Strahlvorrichtung ist typischerweise zum Erzeugen eines Flüssigkeitsstrahls mit einem Förderdruck von 5 bis 20 bar und mit einer Auftreffgeschwindigkeit des Flüssigkeitsstrahls auf den Rohling von 40 bis 80 m/s ausgebildet.

[0019] Die Vorrichtung ist außerdem bevorzugt mit einer Rechneranordnung versehen, mittels welcher die Relativposition zwischen der Richtung des Flüssigkeitsstrahls und der Position der Haltevorrichtung des Rohlings einstellbar ist. Auf diese Weise lässt sich besonders einfach automatisiert ein gewünschtes Abtragprofil erstellen.

[0020] Insbesondere können die Rechenmittel zum Bestimmen einer Kombination von vordefinierten Basis-Abtragprofilen zum Erzeugen eines gewünschten Abtragungsprofils ausgebildet sein. Dazu sind vorteilhaft eine Mehrzahl von Basis-Abtragprofilen in der erfindungsgemässen Vorrichtung gespeichert und einzelnen Einfallswinkeln zugeordnet.

[0021] Die Erfindung betrifft außerdem ein Computerprogrammprodukt, welches eine Mehrzahl von vordefinierten Basis-Abtragprofilen enthält, welche unterschiedlichen Einfallswinkeln eines abrasiven Flüssigkeitsstrahls unter vorbestimmten Bedingungen wie Glassorte, Grösse des Rohlings, Eigenschaften des Strahls zugeordnet sind. Erfindungsgemäss führt das Computerprogramm das vorstehend beschriebene Verfahren zum Herstellen von optischen Elementen in der vorbeschriebenen Vorrichtung aus, wenn das Programm auf einem Computer läuft.

[0022] Die Erfindung wird im Folgenden anhand der Zeichnungen und in Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen:

Figur 1: schematische Darstellung der Erzeugung eines bestimmten Abtragprofils bei einem ersten Einfallwinkel

Figur 2: schematische Darstellung der Erzeugung eines Abtragsprofils bei einem zweiten Einfallwinkel

Figur 3: Diagramm der Messung von verschiedenen Abtragprofilen bei unterschiedlichen Einfallwinkeln

Figur 4: schematische Darstellung einer erfindungsgemässen Vorrichtung

Figur 5: schematische Darstellung eines Rohlings und einer Linse

Figur 6: Darstellung der Optikrechnung einer Linse

Figur 7: Vergleich eines Sollabtragprofils mit einer linearen Kombination von Basisprofilen und

Figur 8: Diagramm von durch Simulation erzeugten Abtragprofilen unter verschiedenen Winkeln

[0023] Figuren 1 und 2 zeigen schematisch das Grundprinzip der vorliegenden Erfindung. Ein Rohling 20 in der Form einer Teilkugel ist in einer Halteanordnung 11 gelagert. Der Rohling 20 ist ein Glasrohling mit einem Radius von 0.45 mm, das heisst einem Durchmesser D von 0.9 mm. Mittels eines abrasiven Flüssigkeitsstrahls 32 wird Material von der Oberfläche 22 des Rohlings 20 abgetragen. Der abrasive Flüssigkeitsstrahl 32 wird von einer Düse 31 abgegeben. In

Figur 1 ist der Flüssigkeitsstrahl 32 in eine Richtung R gerichtet, die etwa senkrecht zur Oberfläche der Halterung 11 steht. Der Winkel zwischen der Lotrechten und der Richtung R des Flüssigkeitsstrahls beträgt 0° . Der abrasive Flüssigkeitsstrahl 32 weist einen Strahldurchmesser d auf, der ca. 1.5 mm beträgt. Der Strahldurchmesser d ist also grösser als der Durchmesser D des Rohlings in einer Ebene E senkrecht zur Richtung R des Flüssigkeitsstrahls. Daraus ergeben sich unterschiedliche Abtragraten an unterschiedlichen Oberflächenbereichen des Rohlings 20. Beispielsweise ist insbesondere die Abtragung in ersten Oberflächenbereichen 22a und 22b, in denen der Flüssigkeitsstrahl 32 senkrecht oder parallel auf den Rohling 20 auftrifft, gering. Die Rate ist grösser in einem zweiten Oberflächenbereich 22c, in dem der Flüssigkeitsstrahl unter einem Winkel zwischen 0° und 90° auf die Oberfläche auftrifft. Dadurch ergibt sich eine von dem Oberflächenbereich des Rohlings abhängige Abtragung und dadurch ein bestimmtes Abtragprofil.

[0024] In Figur 2 ist der Rohling 20 bezogen auf die Düse 3 und sein Zentrum Z verschwenkt, so dass sich zwischen der Richtung R des Flüssigkeitsstrahls 32 und der Lotrechten L ein Winkel α von ca. 10° ergibt. In der Situation gemäss Figur 2 ist die Abtragrate im Oberflächenbereich 22f am grössten, während die Abtragrate in den Bereichen 22e und 22d nahezu Null ist. Bei der Bearbeitung des Rohlings 20 mit einer Position der Düse 31 gemäss Figur 2 ergibt sich daher ein unterschiedliches Abtragungsprofil am Rohling 20.

[0025] Durch weitere Variationen der Position der Düse 31 lässt sich eine Vielzahl von verschiedenen Abtragungsprofilen erzeugen. Figur 3 zeigt verschiedene Abtragprofile unter sechs verschiedenen Einfallswinkeln α des Flüssigkeitsstrahls 32. Figur 3 zeigt jeweils nur das halbe Profil (d. h. das Abtragungsprofil von einer Mittenebene des Rohlings bis zu einem Winkel von 50° bezogen auf die Mittenebene. Die X-Achse von 0 bis 50° entspricht dem Messbereich eines Interferometers, mittels welchem die Abtragungsprofile gemessen wurden. Entlang der Y-Achse ist der relative normalisierte Materialabtrag senkrecht zur Kugelfläche ausgehend von einem kugelförmigen Rohling 20 dargestellt.

[0026] Wie Figur 3 zeigt, ergeben sich je nach Winkellage des Flüssigkeitsstrahls 32 unterschiedliche Abtragprofile. Eine Kombination aus diesen einzelnen Basis-Abtragprofilen lässt sich zur Erzeugung eines vordefinierten Abtragprofils rechnerisch vorherbestimmen. Dieses Abtragprofil entspricht der Differenz zwischen der Form des Rohlings 20 und der gewünschten, asphärischen Form der herzustellenden optischen Komponente, insbesondere einer Linse.

[0027] Figur 4 zeigt schematisch eine Vorrichtung 10 gemäss der vorliegenden Erfindung. Die Vorrichtung 10 besteht im Wesentlichen aus einer Halteanordnung 11 zum Halten des Rohlings 20. Beim Betrieb muss insbesondere auf die Zentrierung des Rohlings geachtet werden. Die Relativbewegung zwischen dem Rohling 20 und der Düse 31 muss sehr genau um den Mittelpunkt des Rohlings erfolgen. Dazu ist der Rohling so gehalten, dass er wenigstens zur Hälfte aus der Halteanordnung 11 vorsteht und vom Flüssigkeitsstrahl beaufschlagt werden kann.

Der Flüssigkeitsstrahl 32 ist durch die Düse 31 als Teil einer Strahlvorrichtung 30 abgebbar. Die Düse 31 ist mit einer Düsenhalterung 33 bewegbar gelagert, so dass der Flüssigkeitsstrahl 32 um das Zentrum Z des Rohlings 20 schwenkbar ist. Gemäss einem Ausführungsbeispiel wurde ein Rohling in drei Translationsachsen in X-, Y- und Z-Richtung bewegbar gehalten. Die Rotationsbewegungen wurden durch die Düse 31 erzeugt. Die Steuerung der einzelnen Bewegungen erfolgte durch eine hochpräzise CNC-Maschine. Selbstverständlich sind aber auch andere Anordnungen denkbar, bei denen beispielsweise ausschliesslich die Halteanordnung 11 zum Halten des Rohlings 20 verschwenkt würde.

[0028] Die Düse 31 ist in an sich bekannter Art und Weise über eine Flüssigkeitsverbindung 35 mit einer Vorrichtung 36 zur Erzeugung eines abrasiven Flüssigkeitsstrahls verbunden. Dabei handelt es sich typischerweise um eine volumetrische Pumpe.

[0029] Ausserdem weist die Vorrichtung 10 eine Rechneranordnung 34 auf. In der Rechneranordnung 34 sind verschiedene Basis-Abtragprofile gespeichert. Die Basis-Abtragprofile entsprechen jeweils dem Abtragprofil für einen bestimmten Einfallswinkel α des Flüssigkeitsstrahls 32 auf den Rohling 20. Pro vorbestimmte Betriebsbedingungen (Material und Grösse des Rohlings, Art des Flüssigkeitsstrahls) ist jeweils für mehrere verschiedene Winkel je ein Abtragprofil gespeichert. Mittels der Rechneranordnung 34 lässt sich durch lineare Kombination von verschiedenen Basis-Abtragprofilen ein gewünschtes Abtragprofil als Differenz zwischen der Form des Rohlings und der Form der gewünschten asphärischen Komponente errechnen. Die Rechneranordnung 34 steuert entsprechend die Position der Düse 31 via eine CNC-Maschine.

[0030] Die Düse 32 kann in der Halterung 33 um einen Winkel α bezogen auf das Zentrum Z des Rohlings 20 verschwenkt werden (gestrichelt dargestellt). Typischerweise sind vorbestimmte Winkelpositionen im Abstand von 5° oder 10° denkbar. Alternativ ist es auch denkbar, Winkelpositionen in unregelmässigen Abständen zu verwenden, welche den Herstellvorgang optimieren, insbesondere Verweilzeiten pro Winkelbereich minimieren. Die Bestimmung von Profilen in den diversen Winkelpositionen kann dabei aufgrund von Simulationen ausgehend von einem realen Basisprofil erfolgen. Eine reale Messung in bestimmten Winkelpositionen ist daher in diesem Fall nicht notwendig.

[0031] Das Abtragprofil entspricht der Differenz zu einem teilweise kugelförmigen Rohling 20. Die Rückseite 23 des Rohlings wird plan geschliffen, vorzugsweise bevor der Rohling in die Halteanordnung positioniert wird.

[0032] Die Optikrechnung der Linse, d. h. die Differenz zwischen der sphärischen Form des Rohlings und der asphärischen Form der Linse 21 ist in Figur 6 dargestellt. Die Differenz entspricht dem Sollabtragprofil. In Abhängigkeit der Winkelposition (0° = Mitte der Linse, ca. 58° = äusserer Rand der Linse) werden unterschiedliche Abtragungen im Bereich zwischen 0 und maximal 12 μm vorgesehen. Dadurch ergibt sich die asphärische Form.

[0033] In Figur 7 ist schematisch ein Vergleich zwischen einem gewünschten Abtragprofil (desired profile) und einer linearen Kombination von Basisabtragprofilen gezeigt, welche eine Näherung für das gewünschte Profil bilden. Die Abtragsrate ist normalisiert (maximaler Abtrag entspricht -1).

[0034] Mit bekannten Abtragprofilen (konkret Abtragprofile für 0°, 10°, 20°, 30°, 40° und 50° des Einfallswinkels des Strahls auf den Rohling) wurde eine lineare Kombination bestimmt, mit welcher das Sollprofil möglichst gut angenähert werden kann. Diese lineare Kombination ist in Fig. 7 im Vergleich zum Sollprofil dargestellt. Typischerweise wurde zum Erzielen des in Figur 7 dargestellten Profils aus einer linearen Kombination eine Bearbeitung wie folgt errechnet:

	Verweilzeit / normalisiert auf Gesamtzeit	Basisprofil	verwenden
10	0	0°-Profil	nein
	0	10°-Profil	nein
15	0.0851	20°-Profil	ja
	0.1501	30°-Profil	ja
	0	40°-Profil	nein
20	0.7647	50°-Profil	ja

[0035] Im konkreten (errechneten) Beispiel werden also Abtragungen mit einem Einfallswinkel von 20°, 30° und 50° vorgeschlagen. Die Verweilzeit der Abtragung des Profils, welches durch Einstrahlwinkel von 50° erzeugt wird, beträgt 76%. Die Bearbeitungszeit für Abtragungen mit einem Einfallswinkel von 20° bzw. 30° betragen 8.5% bzw. 15%. Das gezeigte Ausführungsbeispiel erfolgte durch Simulation in Theorie. Entsprechend könnte das Profil in Praxis hergestellt werden.

[0036] In Figur 8 ist ein alternatives Ausführungsbeispiel gezeigt. Anstelle der in Figur 3 dargestellten gemessenen Basisprofile beruht das Beispiel gemäss Figur 8 auf simulierten Basisprofilen, welche ausgehend von einer Messung für einen Einfallswinkel von 0° errechnet werden. Die Unterschiede zwischen den simulierten und den gemessenen Basisprofilen sind ausreichend gering, so dass eine entsprechende Linse auch auf der Grundlage von solch simulierten Profilen herstellbar wäre. Vorteilhaft dabei ist, dass damit auch beliebige Profile für unterschiedliche Einfallswinkel berechnet werden können.

Patentansprüche

35 1. Verfahren zum Herstellen von optischen Elementen (21), insbesondere asphärischen Mini- und Mikrolinsen, enthaltend die Schritte

- Bereitstellen wenigstens eines Rohlings (20)
- Bearbeiten des Rohlings (20) mit einem abrasiven Flüssigkeitsstrahl (32) zum Abtragen von Material des Rohlings (20),

dadurch gekennzeichnet,

dass der Flüssigkeitsstrahl (32) einen Strahldurchmesser (d) aufweist, der grösser ist als die Dimension (D) des Rohlings (20) in einer Ebene (E) senkrecht zur Richtung (R) des Flüssigkeitsstrahls (32) und

dass für die Bearbeitung des Rohlings (20) der Flüssigkeitsstrahl (32) unter mindestens zwei unterschiedlichen Einfallswinkeln (α) derart auf den Rohling (20) gerichtet wird, dass ein gewünschtes Abtragprofil erreicht wird.

50 2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Rohling (20) verwendet wird, der im Bereich der zu bearbeitenden Oberfläche wenigstens teilweise kugelförmig ausgebildet ist.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Flüssigkeit des Flüssigkeitsstrahls Wasser ist.

55 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** dem Flüssigkeitsstrahl (32) als Abrasivmaterial CeO₂ oder SiC beigefügt ist.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Flüssigkeitsstrahl (32) einen

Strahldurchmesser (d) von 1 - 6 mm aufweist.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Rohling einen Durchmesser von 1 bis 5 mm aufweist.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der abrasive Flüssigkeitsstrahl (32) mit einem Förderdruck von 5 bis 20 bar in einer Förderanordnung (35) gefördert wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Flüssigkeitsstrahl (32) mit einer Geschwindigkeit von 40 bis 80 m/s auf die zu bearbeitende Oberfläche (22) des Rohlings (20) auftrifft.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Bearbeitung des Rohlings (20) unter verschiedenen Winkeln des Flüssigkeitsstrahls (32) **dadurch** erfolgt, dass eine Halteanordnung (11) für den Rohling (20) um den Mittelpunkt (Z) des wenigstens teilweise kugelförmigen Rohlings (20) verschwenkt wird.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Rohling (20) **dadurch** bearbeitet wird, dass dem Rohling (20) Material gemäss einem Abtragprofil entfernt wird, wobei das Abtragprofil als Kombination einer Mehrzahl von Basis-Abtragprofilen gebildet ist und wobei jedes Basis-Abtragprofil der Bearbeitung des Rohlings (20) unter einem vorbestimmten Einfallswinkel (α) des Flüssigkeitsstrahls (32) auf den Rohling (20) entspricht.
11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein erstes Basisprofil ein gemessenes Basisprofil für die Bearbeitung des Rohlings (20) unter einem ersten Einfallswinkel ist, und dass weitere Basisabtragprofile für weitere vorbestimmte Einfallswinkel durch Simulation aufgrund des ersten Basisprofils berechnet werden.
12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die vorbestimmten Einfallswinkel α der unteren Basisprofile derart ausgewählt werden, dass eine Asphäre mit minimalen Verweilzeiten pro Einfallswinkel herstellbar ist.
13. Vorrichtung (10) zum Herstellen von optischen Elementen (21), insbesondere von asphärischen Mini- und Mikrolinsen, mit, insbesondere zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 12,
 - einer Halteanordnung (11) für wenigstens einen Rohling (20)
 - einer Strahlvorrichtung (30) zur Abgabe eines abrasiven Flüssigkeitsstrahls (32),
14. Vorrichtung nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Strahlvorrichtung (30) zur Abgabe des abrasiven Flüssigkeitsstrahls (32) derart ausgebildet ist, dass ein Flüssigkeitsstrahl (32) erzeugbar ist, der einen Strahldurchmesser (d) aufweist, der grösser ist als die Dimension (D) des Rohlings (20) in einer Ebene (E) senkrecht zu der Strahlrichtung (R) des Flüssigkeitsstrahls (32) und **dass** die Strahlvorrichtung (30) zur Abgabe des abrasiven Flüssigkeitsstrahls (32) und die Haltevorrichtung (11) für den Rohling (20) gegenseitig derart bewegbar sind, dass der Flüssigkeitsstrahl (32) unter wenigstens zwei unterschiedlichen Einfallswinkeln (α) auf den Rohling (20) auftrifft.
15. Haltevorrichtung nach einem der Ansprüche 13 oder 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Strahlvorrichtung (30) zum Erzeugen eines Flüssigkeitsstrahls mit einem Strahldurchmesser (d) von 1 - 6 mm ausgebildet ist.
16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Strahlvorrichtung (30) zum Erzeugen eines abrasiven Flüssigkeitsstrahls ausgelegt ist, der mit einer Geschwindigkeit von 40 bis 80 m/s auf die Oberfläche (22) des zu bearbeitenden Rohlings (20) auftrifft.
17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorrichtung Rechnermittel (34) aufweist, mittels welchen die relative Position der Richtung des Flüssigkeitsstrahls (32) bezogen auf die Halterung (11) des Rohlings (20) einstellbar ist.
18. Vorrichtung nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Rechnermittel (34) zum Bestimmen einer Kombination von vordefinierten Basisabtragprofilen zur Erzeugung eines gewünschten Abtragprofils ausgebildet

sind.

5 19. Vorrichtung nach Anspruch 18, **dadurch gekennzeichnet, dass** in der Vorrichtung eine Mehrzahl von Basis-Abtragprofilen gespeichert sind, welche der Bearbeitung eines Rohlings (20) unter einem bestimmten Einfallswinkel des Flüssigkeitsstrahls (32) zugeordnet sind.

10 20. Vorrichtung nach Anspruch 18, **dadurch gekennzeichnet, dass** in der Vorrichtung ein Basisabtragprofil für einen ersten Abtragwinkel gespeichert ist, und dass die Vorrichtung zum Berechnen einer Mehrzahl von weiteren Basis-Abtragprofilen für weitere bestimmte Einfallswinkel des Flüssigkeitsstrahls (32) durch Simulation ausgebildet ist.

15 21. Computerprogrammprodukt, in welchem wenigstens ein Basis-Abtragprofil gespeichert ist, welches dem Materialabtrag eines Rohlings (20) unter einem bestimmten Einfallswinkel (α) eines Flüssigkeitsstrahls (32) auf die Oberfläche des Rohlings (20) entspricht, wobei das Computerprogrammprodukt ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12 in einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 18 oder 19 ausführt, wenn das Computerprogrammprodukt auf einem Computer läuft.

20

25

30

35

40

45

50

55

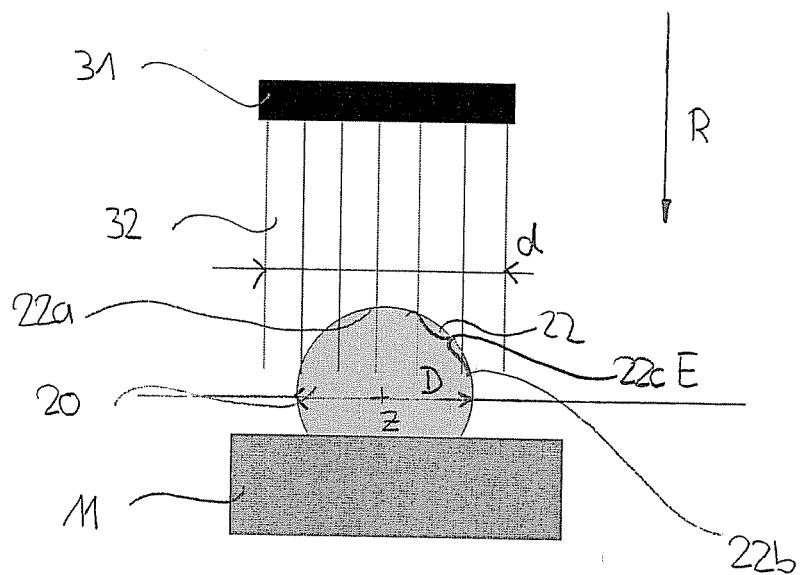


FIG.1

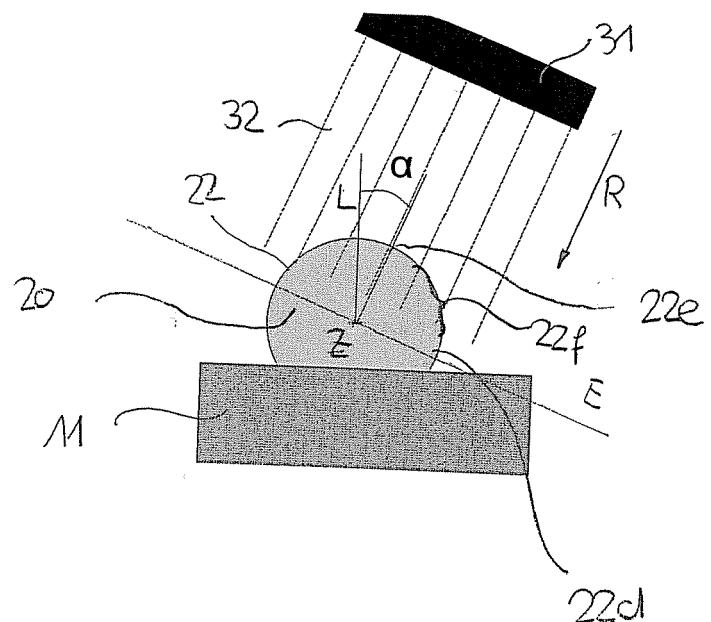


FIG.2

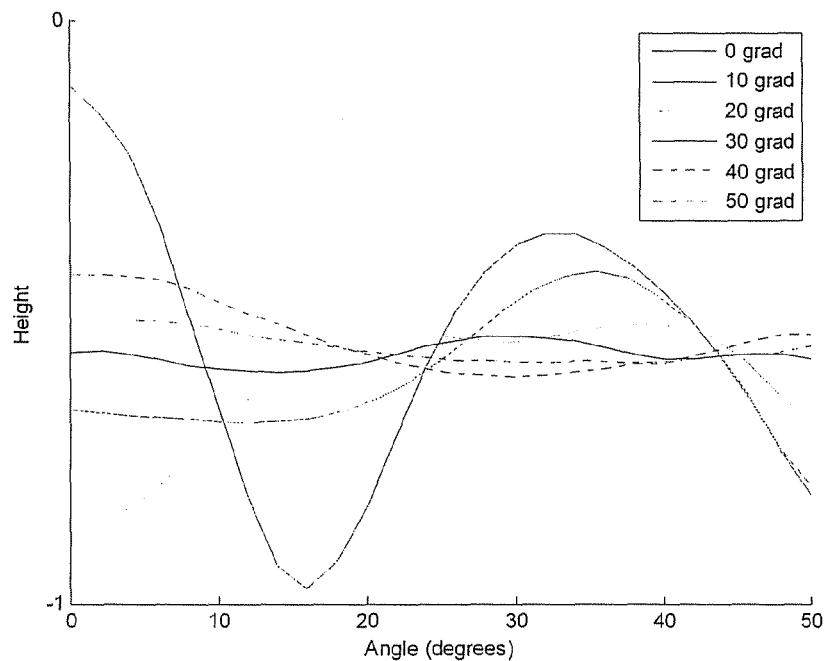


FIG.3

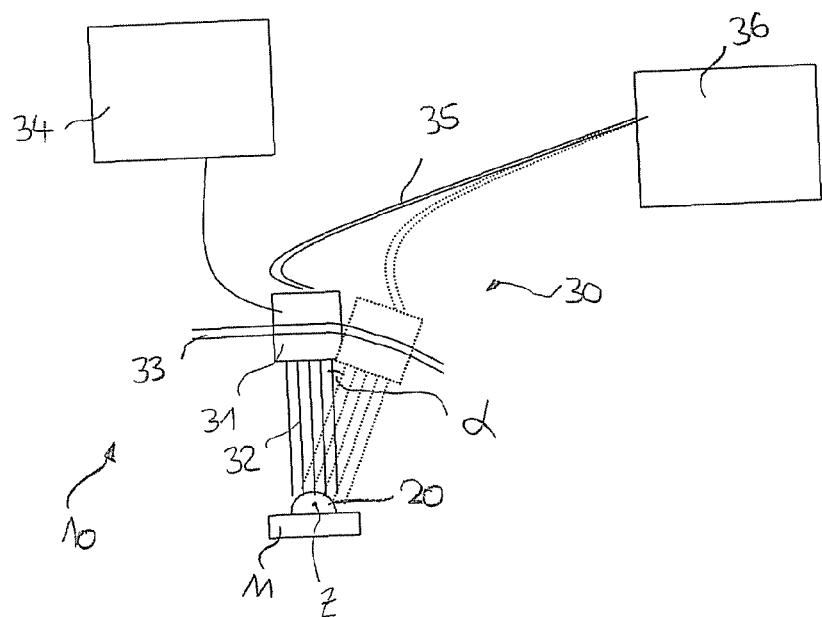


FIG.4

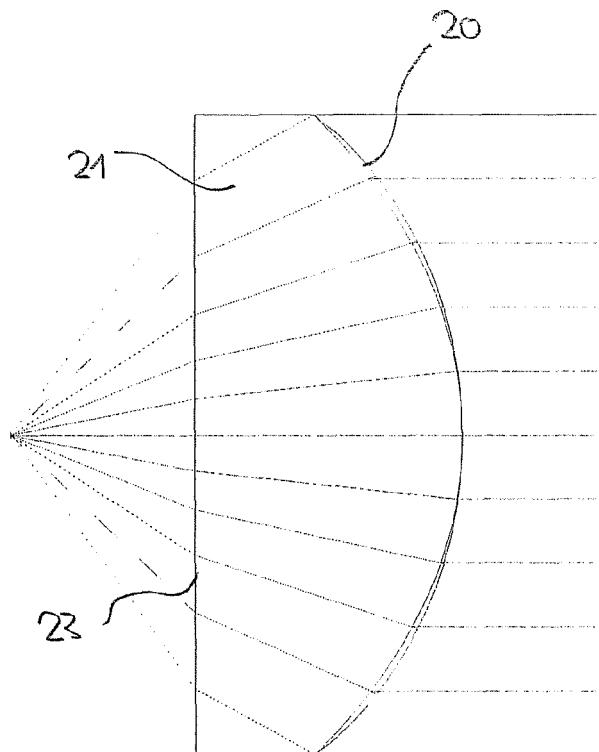


FIG. 5

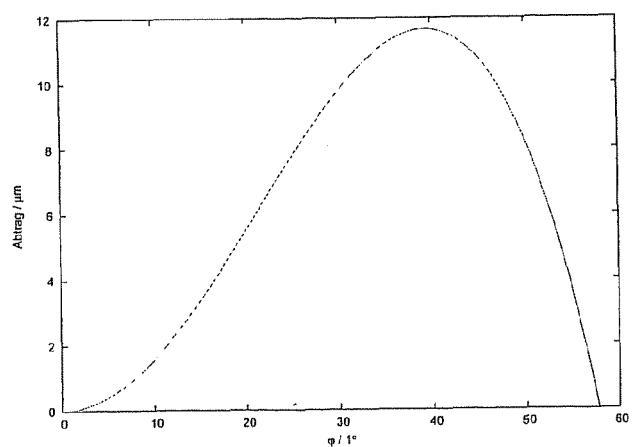


FIG. 6

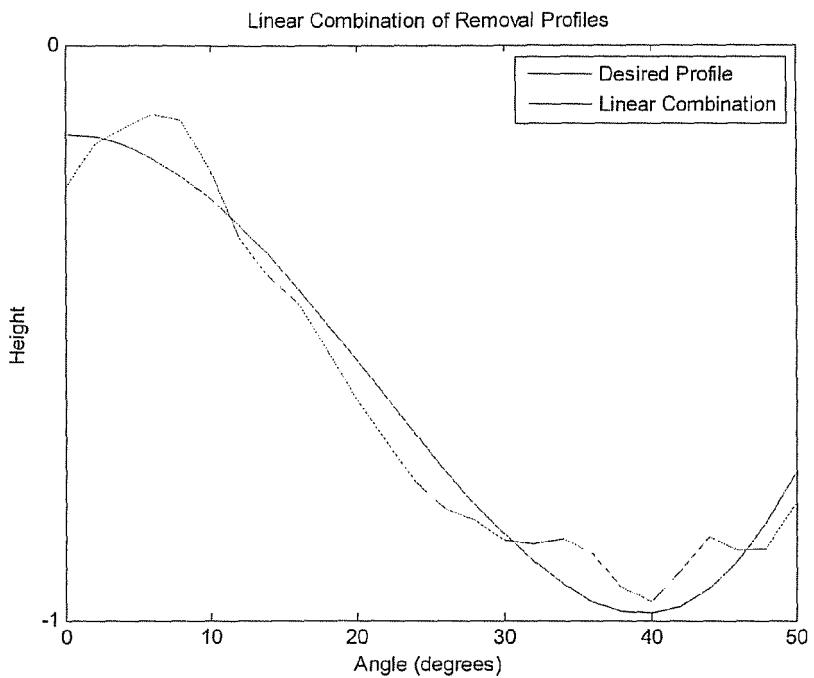


FIG.7

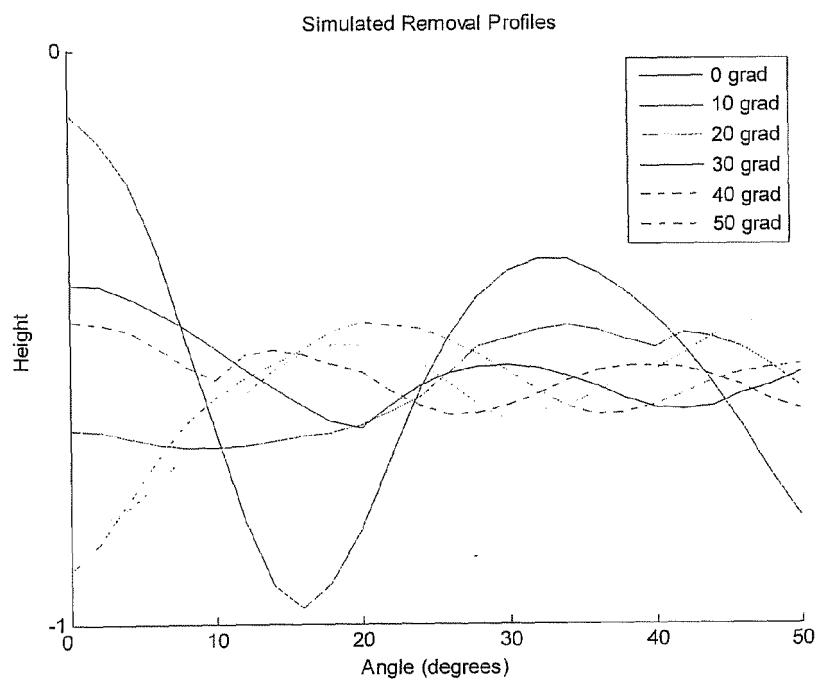


FIG.8



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER TEILRECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

der nach Regel 63 des Europäischen Patent-
übereinkommens für das weitere Verfahren als
europäischer Recherchenbericht gilt

EP 08 10 2962

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich der maßgeblichen Teile	Betreff Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
Y	WO 02/49804 A (QED TECHNOLOGIES INC [US]) 27. Juni 2002 (2002-06-27) * Seite 2, Zeilen 13-30 * * Seite 3, Zeile 24 - Seite 4, Zeile 6 * * Seite 4, Zeile 26 - Seite 5, Zeile 7 * * Seite 5, Zeile 31 - Seite 7, Zeile 30 * * Abbildungen 1A,1B,4A-4H,5A-5D * -----	1-10	INV. B24C1/04 B24C1/08
Y	WO 01/12386 A (KONINKL PHILIPS ELECTRONICS NV [NL]) 22. Februar 2001 (2001-02-22) * Seite 1, Zeilen 11-19 * * Seite 3, Zeile 1 - Seite 4, Zeile 8 * * Seite 7, Zeile 2 - Seite 9, Zeile 10 * * Abbildungen 1,4-7 * -----	1-10	
A	US 2003/060132 A1 (KUROGOUCHI TOSHI [JP]) 27. März 2003 (2003-03-27) * Absätze [0003], [0009], [0087] - [0091], [0098] * * Abbildungen 9,10 * -----	1-10	
			RECHERCHIERTE SACHGEBiete (IPC)
			B24C
UNVOLLSTÄNDIGE RECHERCHE			
<p>Die Recherchenabteilung ist der Auffassung, daß ein oder mehrere Ansprüche, den Vorschriften des EPÜ in einem solchen Umfang nicht entspricht bzw. entsprechen, daß sinnvolle Ermittlungen über den Stand der Technik für diese Ansprüche nicht, bzw. nur teilweise, möglich sind.</p> <p>Vollständig recherchierte Patentansprüche:</p> <p>Unvollständig recherchierte Patentansprüche:</p> <p>Nicht recherchierte Patentansprüche:</p> <p>Grund für die Beschränkung der Recherche:</p> <p>Siehe Ergänzungsblatt C</p>			
2	Recherchenort München	Abschlußdatum der Recherche 1. Juli 2008	Prüfer Eder, Raimund
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		<p>T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument</p> <p>.....</p> <p>& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument</p>	
EPO FORM 1503/03-82 (P04EE9)			



Nicht recherchierte Ansprüche:
12-21

Grund für die Beschränkung der Recherche:

Anspruch 12 beschreibt ein zu erzielendes Ergebnis, ohne die technischen Merkmale anzugeben, die erforderlich sind dieses Ergebnis zu erzielen.

Anspruch 13 und die davon abhängigen Ansprüche 14 bis 20 sowie der Anspruch 21 beziehen sich auf Abmessungen eines Werkstücks, die jedoch nicht angegeben oder standardisiert sind. Es ist daher nicht möglich, die technischen Merkmale der Vorrichtung oder des Computerprogramms im Vergleich zu einer beliebigen Vorrichtung oder einem beliebigen Computerprogramm mit Einstellmöglichkeit des Strahlwinkels (wie sie z.B. in allen im Recherchenbericht zitierten Dokumenten gegeben ist) abzugrenzen.

Sowohl der Vorrichtungsanspruch 13 als auch der Computerprogrammanspruch 21 scheinen sich eher auf ein Verfahren zu beziehen.

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 08 10 2962

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

01-07-2008

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
WO 0249804	A	27-06-2002	AU EP JP	3273502 A 1349701 A1 2004520946 T	01-07-2002 08-10-2003 15-07-2004	
WO 0112386	A	22-02-2001	CN JP US	1327405 A 2003507198 T 6422920 B1	19-12-2001 25-02-2003 23-07-2002	
US 2003060132	A1	27-03-2003	DE JP JP	10241716 A1 3896265 B2 2003089063 A	24-04-2003 22-03-2007 25-03-2003	

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **O. W. FÄHNLE ; H. VAN BRUG ; H. J. FRANKENA.**
Fluid Jet Polishing of optical surfaces. *Applied Optics*,
1998, vol. 37 (28), 6771-6773 **[0002]**