

(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
29. November 2012 (29.11.2012)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2012/159963 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
B23K 26/14 (2006.01) **B23K 26/40** (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2012/059162

(22) Internationales Anmeldedatum:
16. Mai 2012 (16.05.2012)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2011 102 166.7 20. Mai 2011 (20.05.2011) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): **FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR**

FÖRDERUNG DER ANGWANDTEN FORSCHUNG
E.V. [DE/DE]; Hansastraße 27c, 80686 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **FELL, Andreas**
[DE/DE]; Kandelstr. 53, 79106 Freiburg (DE). **GRANEK,**
Filip [PL/PL]; UL. Tanskiego 7M9, Polen Wroclaw (DE).

(74) Anwalt: **PFENNING, MEINIG & PARTNER GBR;**
Theresienhöhe 13, 80339 München (DE).

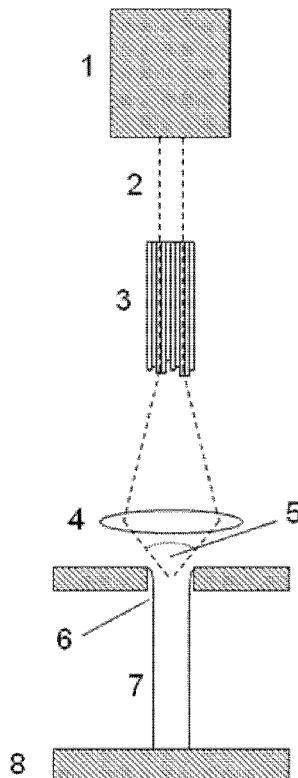
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR HOMOGENIZING THE LASER BEAM PROFILE IN PROCESSES USING A LASER GUIDED BY
A LIQUID JET AND CORRESPONDING DEVICE

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUR HOMOGENISIERUNG DES LASERSTRAHLPROFILS BEI PROZESSEN UNTER
EINSATZ EINES FLÜSSIGKEITSSTRAHLGEFÜHRTEN LASERS UND ENTSPRECHENDE VORRICHTUNG

Fig. 1



(57) Abstract: The invention relates to a method for homogenizing the laser beam profile in processes using a laser guided by a liquid jet, in which the laser beam (2) generated in a laser source (1) is coupled by means of focusing optics (4) into a liquid jet (7) that is emerging from a nozzle (6) and is directed onto the surface to be worked. Homogenizing the laser beam profile allows the quality of the working performed to be improved in processes in which the laser is guided by a liquid jet.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Homogenisierung des Laserstrahlprofils bei Prozessen unter Einsatz eines flüssigkeitsstrahlgeführten Lasers, bei dem der in einer Laserquelle (1) erzeugte Laserstrahl (2) in einen auf die zu bearbeitende Oberfläche gerichteten und aus einer Düse (6) austretenden Flüssigkeitsstrahl (7) mittels einer Fokussieroptik (4) eingekoppelt wird. Durch die Homogenisierung des Laserstrahlprofils kann die Bearbeitungsqualität bei Prozessen mit dem flüssigkeitsstrahlgeführten Laser verbessert werden.

WO 2012/159963 A1



HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ,

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

Verfahren zur Homogenisierung des Laserstrahlprofils
bei Prozessen unter Einsatz eines flüssigkeitsstrahl-
geführten Lasers und entsprechende Vorrichtung

5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Homogenisie-
rung des Laserstrahlprofils bei Prozessen unter Ein-
satz eines flüssigkeitsstrahlgeführten Lasers, bei
dem der in einer Laserquelle erzeugte Laserstrahl in
einen auf die zu bearbeitende Oberfläche gerichteten
10 und aus einer Düse austretenden Flüssigkeitsstrahl
mittels einer Fokussieroptik eingekoppelt wird. Durch
die Homogenisierung des Laserstrahlprofils kann die
Bearbeitungsqualität bei Prozessen mit dem flüssig-
keitsstrahlgeführten Laser verbessert werden.

15 Das Prinzip des flüssigkeitsstrahlgeführten Lasers
ist aus der US 5,902,499 A bekannt. Hier wird durch
eine scharfkantige Düsenöffnung in der Größenordnung
50 µm Wasser oder andere Flüssigkeiten mit einem
20 Druck in der Größenordnung von 100 bar gepumpt, wo-

durch ein einige cm langer laminarer Flüssigkeitsstrahl entsteht. Durch ein Fenster oberhalb der Düsenöffnung wird mittels einer geeigneten Optik ein Laserstrahl fokussiert, welcher mittels Totalreflexion zusammen mit dem Flüssigkeitsstrahl zum zu bearbeitenden Substrat geführt wird.

Üblicherweise wurde der flüssigkeitsstrahlgeführte Laser zum Materialabtrag mit hohen Laserleistungen verwendet. Die Optik zur Einkopplung ist nach dem Stand der Technik daher darauf ausgelegt, eine möglichst geringe störende Erwärmung der Flüssigkeit in der Druckkammer zu erreichen. Es wird ein möglichst großer Einkoppelwinkel hergestellt, wodurch die optischen Leistungsdichten in geringer Entfernung von der Düsenöffnung niedrig gehalten werden. Der große Einkoppelwinkel hat weiterhin den Vorteil, dass Hochleistungslaser mit schlechter Strahlqualität dennoch auf eine Spotgröße deutlich kleiner als die Düsenöffnung fokussiert werden können. Zwischen Laser und Einkopplungsoptik ist üblicherweise eine Multimode-Glasfaser angebracht.

Für die Photovoltaikindustrie wurde das Verfahren derart weiterentwickelt, dass chemisch aktive Substanzen als Flüssigkeit verwendet werden, um insbesondere eine Dotierung von kristallinem Silicium zu erreichen (US 2009/238994 A). Hierbei wird z.B. Phosphorsäure verwendet, welche bei den hohen Temperaturen am Reaktionsspot zersetzt wird und dadurch als atomarer Phosphor in das durch den Laser geschmolzene Silicium eindiffundiert. Gleichzeitig wird eine Öffnung der Isolationsschicht erreicht.

Der Flüssigkeitsstrahl weist die Eigenschaften eines Multimode-Lichtwellenleiters auf, was bei den im aktuellen Stand der Technik verwendeten Methoden der Laserlichteinkopplung eine stark unregelmäßige Ausleuchtung im Querschnitt des Flüssigkeitsstrahls zur Folge hat. Besonders bei Prozessen mit geringer Laserpulsenergie, z.B. beim lokalen Dotieren mit dem Laser-Chemical-Processing (LCP) Verfahren, führt dies zu einer Abbildung des Ausleuchtungsmusters auf das zu bearbeitende Substrat und damit zu starken lateralen Unregelmäßigkeiten des Prozessergebnisses, z.B. zu einer inhomogenen Dotierung.

Durch die unregelmäßige Ausleuchtung entsteht nach einem Laserpuls eine nachteilige inhomogene Öffnung und Dotierung, welche beim Stand der Technik nur durch eine starke räumliche Überlappung der aufeinanderfolgenden Laserpulse homogenisiert werden kann (Fell, A., S. Hopman und F. Granek, „Simulation supported description of the local doping formation using laser chemical processing (LCP)“, Applied Physics A, 2010). Dies reduziert jedoch erheblich die erreichbare Prozessgeschwindigkeit und ist daher für eine industrielle Anwendung eine sehr ungünstige Maßnahme.

Weiterhin besteht eine Limitierung des flüssigkeitsstrahlgeführten Lasers darin, dass prozessierbare Strukturgrößen nicht wesentlich kleiner als der Flüssigkeitsstrahldurchmesser sein können.

Das Auftreten von unregelmäßigen Ausleuchtungen aufgrund von Multimode-Eigenschaften ist bei festen Lichtwellenleitern gut bekannt und untersucht. Das auftretende Muster wird als „Speckles“ bezeichnet und der sog. „Speckle-Kontrast“ ist umso stärker, je bes-

ser die Kohärenz des Laserlichts ist. Bekanntermaßen ist die Ausprägung der Speckles ebenfalls abhängig von Bedingungen der Laserlichteinkopplung in den Lichtwellenleiter, insbesondere dem Einkoppelwinkel und dem Ort der Einkopplung (Abweichung von einer exakt mittigen Einkopplung).

Das Speckle-Muster ist bei statischen Bedingungen zeitlich konstant, ändert sich jedoch in Abhängigkeit von der Länge des Lichtwellenleiters.

Es sind Verfahren aus den Gebieten der Projektionstechnik und der Messtechnik bekannt, um die Kohärenz des Laserlichts vor der Einkopplung in die bildgebende Optik zu reduzieren, um eine vorteilhafte Reduzierung des Speckle-Kontrastes zu erreichen (US 6,898,216).

Ausgehend hiervon war es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die Bearbeitungsqualität bei Prozessen mit flüssigkeitsstrahlgeführten Lasern zu verbessern, ohne dabei die Prozessgeschwindigkeit negativ zu beeinflussen.

Diese Aufgabe wird durch das Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und die Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 13 gelöst. Die weiteren abhängigen Ansprüche zeigen vorteilhafte Weiterbildungen auf.

Erfindungsgemäß wird ein Verfahren zur Homogenisierung des Laserstrahlprofils bei Prozessen unter Einsatz eines flüssigkeitsstrahlgeführten Lasers bereitgestellt, bei dem der in einer Laserquelle erzeugte Laserstrahl in einen auf die zu bearbeitende Oberfläche gerichteten und aus einer Düse austretenden

Flüssigkeitsstrahl mittels einer Fokussieroptik eingekoppelt wird. Dabei kennzeichnet die Erfindung, dass vor der Einkopplung die Kohärenz des Laserstrahls reduziert wird und/oder der Laserstrahl in den Flüssigkeitsstrahl mit einem Einkopplungswinkel im Bereich von 0° bis 6° eingekoppelt wird.

Hierdurch wird eine deutlich homogenere bzw. radial gleichmäßig abfallende Ausleuchtung über die gesamte Querschnittsfläche des Laserstrahls ermöglicht.

Vorzugsweise erfolgt die Reduzierung der Kohärenz des Laserstrahls durch Anordnen mindestens eines geeigneten optischen Elementes zur Reduzierung der Kohärenz vor der Fokussieroptik. Hierbei kann es sich bevorzugt um ein Element mit definierter Oberflächenrauigkeit zur Lichtstreuung oder ein Glasfaserbündel mit unterschiedlichen Längen der Glasfasern oder eine Anordnung von semitransparenten Spiegeln für Mehrfachreflexionen oder eine auf das Laserstrahlprofil angepasste Strahlformungsoptik handeln. Ebenso ist es aber auch möglich, einen rotierenden Diffusor einzusetzen. Die zuvor aufgeführten optischen Elemente können auch miteinander kombiniert werden.

Vorzugsweise liegt der Einkopplungswinkel des Laserstrahls im Bereich von 1° bis 3° , insbesondere für die Erzeugung von Laserspots mit einem deutlich geringeren Durchmesser als dem Durchmesser des Flüssigkeitsstrahls.

Ein weiterer erfindungsgemäßer Aspekt betrifft die Tatsache, dass überraschenderweise festgestellt wurde, dass Laserlicht auf einen kleineren, näherungsweise gaußförmigen Spot nahe der Strahlmitte durch eine geeignete Modenausbildung konzentriert werden

kann. Dies wird erreicht, indem ein Laserstrahl mit einer guten Kohärenz und Strahlqualität (M^2 nahe 1), wie sie vorzugsweise bei einer Einkopplung des Laserstrahls mittels eines Single-Mode-Lichtwellenleiters oder direkt mittels Freistrahloptik gewährleistet werden kann, mit einem kleinen Einkoppelwinkel $< 6^\circ$, insbesondere $< 3^\circ$, mittig auf die Düsenöffnung fokussiert wird. Dabei zeigt eine Abweichung von der exakt mittigen Einkopplung von einigen μm , welche technisch ohne weiteres eingehalten werden kann, keinen großen Einfluss. Weiterhin ist bei einem kleinen Einkoppelwinkel die Längenskala, auf der eine Änderung des Speckle-Musters, z.B. von einem Punkt zu einer Ringform, auftritt, groß. Für einen Einkoppelwinkel von zum Beispiel 3° ist das Muster über eine Flüssigkeitsstrahllänge von wenigen 100 μm näherungsweise konstant und damit mit einer mechanischen Höhenverstellung der Düsen einfach einstellbar und zudem unempfindlich auf kleinere Höhenänderungen des zu bearbeitenden Substrats. Ein großer Vorteil dieses erfindungsgemäßen Aspektes ist die Möglichkeit, Strukturen deutlich kleiner als der Düsendurchmesser und auch deutlich kleiner als ein technisch erzeugbarer Flüssigkeitsstrahl zu prozessieren. Der Spot weist eine gleichmäßige Verteilung des Laserlichts auf, wodurch auch eine homogene Bearbeitungsqualität gegeben ist. Die Pulsenergie muss hinreichend klein gewählt werden, sodass die Intensitäten außerhalb des Spots unterhalb der Prozessierungsschwelle liegen.

Vorzugsweise kann der Laserspot auf der zu bearbeitenden Oberfläche einen Durchmesser im Bereich von 1 bis 200 μm aufweisen. Ist der Laserspot an den Durchmesser des Flüssigkeitsstrahls angelegt, hat er vorzugsweise einen Durchmesser im Bereich von 40 bis 50 μm . Soll der Laserspot deutlich kleiner als der

Durchmesser des Flüssigkeitsstrahls ausgelegt werden, so weist er vorzugsweise einen Durchmesser im Bereich von 3 bis 10 μm auf.

5 Vorzugsweise liegt das Verhältnis des Durchmessers des Laserspots zum Durchmesser des Flüssigkeitsstrahls im Bereich von 1:1 bis 1:1,25 für einen dem Durchmesser des Flüssigkeitsstrahls im Wesentlichen entsprechenden Laserspot oder im Bereich von 1:5 bis
10 1:20 für einen gegenüber dem Durchmesser des Flüssigkeitsstrahls deutlich reduzierten Laserspot.

Sofern Laserspots mit geringem Durchmesser angestrebt werden, ist es bevorzugt, dass der Abstand zwischen
15 Düse und Oberfläche justiert wird, um eine möglichst hohe Homogenität des Laserstrahlprofils zu erreichen.

Es ist weiterhin bevorzugt, dass zwischen Laserquelle und Fokussieroptik ein Singlemode-Lichtwellenleiter
20 oder eine Freistrahloptik zur Bereitstellung von Laserstrahlen hoher Kohärenz und Strahlqualität angeordnet wird.

Die beschriebenen erfindungsgemäßen Aspekte sind abhängig von den Einkoppelbedingungen und auch von der Strahllänge des Flüssigkeitsstrahls. Für eine praktische Anwendung kann es daher hilfreich sein, die Ausleuchtung im Flüssigkeitsstrahl vor dem Prozess zu messen und einzustellen und möglicherweise nach jeder
30 Änderung beeinflussender Parameter zu wiederholen.

Es ist daher bevorzugt, dass das Laserstrahlprofil mit einer Kamera und gegebenenfalls einem Mikroskopobjektiv, eventuell mit abschwächenden Filtern für
35 die auftretenden Intensitäten, kontrolliert wird. Diese Kamera kann schräg neben den Düsen angeordnet

werden, was eine direkte Messung während des Prozesses ermöglicht.

5 Eine andere Möglichkeit besteht darin, dass eine transparente Scheibe auf gleicher Höhe und neben der zu bearbeitenden Oberfläche angeordnet wird und unter dieser Scheibe die Kamera angebracht ist. Diese Anordnung kann dann in Ent- und Beladungsphasen unter die Düse zur Prozesskontrolle gefahren werden.

10 Mittels des Kamerabildes und einer geeignet programmierten Bildverarbeitungssoftware kann dann die Höhe der Düse(n), die Laserleistung und eventuell die Einkopplungsoptik zum gewünschten Ergebnis hin geregelt werden. Unabhängig von der Reduzierung des
15 Speckle-Problems wird durch die Kameraregelung eine industriell sehr wertvolle Prozesskontrolle ermöglicht, wie sie nach dem Stand der Technik nicht gegeben ist.

20 Anhand der nachfolgenden Figuren soll der erfindungsgemäße Gegenstand näher erläutert werden, ohne diesen auf die hier gezeigten spezifischen Ausführungsformen einschränken zu wollen.

25 Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung einer ersten erfindungsgemäßen Ausführungsform.

30 Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung einer zweiten erfindungsgemäßen Ausführungsform.

Fig. 3 zeigt eine mikroskopische Aufnahme eines Strahlprofils gemäß dem Stand der Technik.

35 Fig. 4 zeigt eine mikroskopische Aufnahme eines Strahlprofils eines erfindungsgemäß homogenisierten

Laserstrahlprofils.

Fig. 5 zeigt eine mikroskopische Aufnahme eines Laserstrahlprofils eines erfindungsgemäßen Laserstrahls mit kleinem Laserspot.

Fig. 1 zeigt eine Vorrichtung zur Bearbeitung von Oberflächen mit einer Laserquelle 1, die z.B. Laserstrahlen mit einer Wellenlänge von 532 nm, einer Pulsdauer von 15 ns, einer Pulsenergie von 100 μ J und einer Frequenz von 100 kHz erzeugt. Der kohärente Laserstrahl 2, z.B. mit einem Gauss-Durchmesser von 3 mm und $M^2=1,2$, wird in ein Glasfaserbündel 3 mit unterschiedlichen Längen zur Kohärenzreduzierung geleitet. Aus dem Glasfaserbündel 3 treten die Laserstrahlen auf eine Fokussieroptik 4, z.B. mit einer Brennweite von 25,4 mm. Der durch die Fokussieroptik 4 fokussierte Laserstrahl wird in die Düsenöffnung 6 eingekoppelt, wobei der Einkoppelwinkel 5 im vorliegenden Beispiel etwa 20° beträgt. Durch die Düsenöffnung 6, z.B. mit einem Durchmesser von 50 μ m, wird ein Flüssigkeitsstrahl 7 mit einem Durchmesser von 41,5 μ m erzeugt. Dieser Flüssigkeitsstrahl 7 wird auf den Silicium-Wafer 8 gerichtet.

In Fig. 2 ist eine Laserquelle 1 dargestellt, die einen kohärenten Laserstrahl 2 erzeugt, der auf eine Fokussieroptik 4 gerichtet ist. Im vorliegenden Fall erfolgt eine Fokussierung, so dass ein kleiner Einkoppelwinkel von etwa 3,4° resultiert. Der Laserstrahl 2 wird in die Düsenöffnung 6 gekoppelt, durch die ein Flüssigkeitsstrahl 7 erzeugt wird.

Im vorliegenden Fall ist der Flüssigkeitsstrahl 7 nicht auf den Silicium-Wafer 8 gerichtet, sondern auf eine Glasscheibe 9, unter der eine Kamera 10 mit

Mikroskopobjektiv angeordnet ist. Mit dieser Anordnung kann eine Prozesskontrolle durchgeführt werden, so dass die Prozessparameter für den Flüssigkeitsstrahl und/oder den Laserstrahl optimiert werden.

5

In Fig. 3 ist ein Strahlprofil im Flüssigkeitsstrahl gemäß dem Stand der Technik dargestellt. Hierbei ist deutlich zu erkennen, dass unterschiedliche helle Punkte auf Inhomogenitäten hinweisen.

10

In Fig. 4 ist ein gemäß der vorliegenden Erfindung modifiziertes Laserstrahlprofil im Flüssigkeitsstrahl dargestellt. Es zeigt sich eine wesentlich gleichmäßige Ausleuchtung der Fläche, was für eine verbesserte Homogenität spricht.

15

In Fig. 5 ist ein erfindungsgemäßes Laserstrahlprofil dargestellt, wobei hier der Durchmesser des Laserspots deutlich geringer als der Durchmesser des Flüssigkeitsstrahls (äußerer weißer Kreis) ist.

20

Patentansprüche

5

1. Verfahren zur Homogenisierung des Laserstrahl-
profils bei Prozessen unter Einsatz eines
flüssigkeitsstrahlgeführten Lasers, bei dem der
in einer Laserquelle erzeugte Laserstrahl in ei-
nen auf die zu bearbeitende Oberfläche gerichte-
ten und aus einer Düse austretenden Flüssig-
keitsstrahl mittels einer Fokussieroptik einge-
koppelt wird,

dadurch gekennzeichnet, dass vor der Einkopplung
die Kohärenz des Laserstrahls reduziert wird
und/oder der Laserstrahl in den Flüssigkeits-
strahl mit einem Einkopplungswinkel im Bereich
von 0° bis 6° eingekoppelt wird.

20

2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass die Reduzierung der
Kohärenz des Laserstrahls durch Anordnen mindes-
tens eines optischen Elementes zur Reduzierung
der Kohärenz vor der Fokussieroptik erfolgt.

25

3. Verfahren nach Anspruch 2,
dadurch gekennzeichnet, dass das mindestens eine
optische Element ein Element mit definierter
Oberflächenrauigkeit zur Lichtstreuung, ein
Glasfaserbündel mit unterschiedlichen Längen der
Glasfasern, eine Anordnung von semitransparenten
Spiegeln für Mehrfachreflexionen, eine auf das
Laserstrahlprofil angepasste Strahlformungsop-

30

tik, ein rotierender Diffusor oder eine Kombination von diesen ist.

- 5 4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass der Einkopplungswinkel des Laserstrahls im Bereich von 1° bis 3° liegt.
- 10 5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass der Laserspot auf der zu bearbeitenden Oberfläche einen Durchmesser im Bereich von 1 bis 200 μm aufweist, insbesondere 40 bis 50 μm für einen dem Durchmesser des Flüssigkeitsstrahls im Wesentlichen entsprechenden Laserspot oder 3 bis 10 μm für einen gegenüber dem Durchmesser des Flüssigkeitsstrahls deutlich reduzierten Laserspot.
- 15
- 20
- 25 6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass das Verhältnis des Durchmessers des Laserspots zum Durchmesser des Flüssigkeitsstrahls im Bereich von 1:1 bis 1:1,25 für einen dem Durchmesser des Flüssigkeitsstrahls im Wesentlichen entsprechenden Laserspot oder im Bereich von 1:5 bis 1:20 für einen gegenüber dem Durchmesser des Flüssigkeitsstrahls deutlich reduzierten Laserspot liegt.
- 30

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass zwischen Laserquelle und Fokussieroptik ein Singlemode-
5 Lichtwellenleiter oder eine Freistrahloptik zur Bereitstellung von Laserstrahlen hoher Kohärenz und Strahlqualität angeordnet wird.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
10 dadurch gekennzeichnet, dass für einen gegenüber dem Durchmesser des Flüssigkeitsstrahls deutlich reduzierten Laserspot eine Justierung des Abstands zwischen Düse und Oberfläche vorgenommen wird.
15
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass eine Prozesskontrolle mittels einer Kamera und einer Bildverarbeitungssoftware zur Optimierung des Abstandes
20 zwischen Düse und zu bearbeitender Oberfläche, der Laserleistung und/oder der Fokussieroptik erfolgt.
- 25 10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass die Kamera unter einer transparenten Scheibe, die auf gleicher Höhe und neben der zu bearbeitenden Oberfläche
30 angeordnet ist, so dass zwischen den Bearbeitungsschritten bei der Entfernung der zu bearbeitenden Oberfläche die Kamera und die transparente Scheibe unter die Düse gefahren werden.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass die Kamera neben
der Düse angeordnet ist und auf den Laserspot
auf der zu bearbeitenden Oberfläche gerichtet
ist.
12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass die Bearbeitung der
Oberfläche eine Dotierung, eine Mikrostrukturierung und/oder eine Metallisierung ist und der
Flüssigkeitsstrahl mindestens eine Komponente
zur Bearbeitung der Oberfläche aus der Gruppe
Dotierstoffe, Ätzmittel, Metallverbindungen und
Kombinationen hiervon enthält.
13. Vorrichtung zur Bearbeitung von Oberflächen enthaltend eine Düseneinheit mit einer
Fokussieroptik zum Einkoppeln eines Laserstrahls, eine Laserstrahlquelle, eine Flüssigkeitszufuhr und eine auf eine Oberfläche des Festkörpers gerichtete Düsenöffnung,
dadurch gekennzeichnet, dass vor der Fokussieroptik ein optisches Element angeordnet wird, das eine Reduzierung der Kohärenz des Laserstrahls bewirkt.
14. Vorrichtung nach Anspruch 13,
dadurch gekennzeichnet, dass das mindestens eine optische Element ein Element mit definierter Oberflächenrauigkeit zur Lichtstreuung, ein Glasfaserbündel mit unterschiedlichen Längen der Glasfasern, eine Anordnung von semitransparenten

Spiegeln für Mehrfachreflexionen, eine auf das Laserstrahlprofil angepasste Strahlformungsop-
tik, ein rotierender Diffusor oder eine Kombina-
tionen von diesen ist.

5

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 oder 14,
dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung zu-
sätzliche eine Vorrichtung zur Prozesskontrolle
aufweist.

10

16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 15,
dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung zur
Prozesskontrolle mindestens eine Kamera und min-
destens eine Bildverarbeitungssoftware zur Opti-
mierung des Abstandes zwischen Düse und zu bear-
beitender Oberfläche, der Laserleistung und/oder
der Fokussieroptik aufweist.

15

17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 16,
dadurch gekennzeichnet, dass die Kamera neben
der Düse angeordnet ist und auf den Laserspot
auf der zu bearbeitenden Oberfläche gerichtet
ist.

20

18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 17,
dadurch gekennzeichnet, dass die Kamera unter-
halb einer transparenten Scheibe angeordnet ist,
die transparente Scheibe neben und auf gleicher
Höhe mit der zu bearbeitenden Oberfläche ange-
ordnet ist, so dass zwischen den Bearbeitungs-
schritten bei der Entfernung der zu bearbeiten-
den Oberfläche die Kamera und die transparente
Scheibe unter die Düse gefahren werden kann.

25

30

Fig. 1

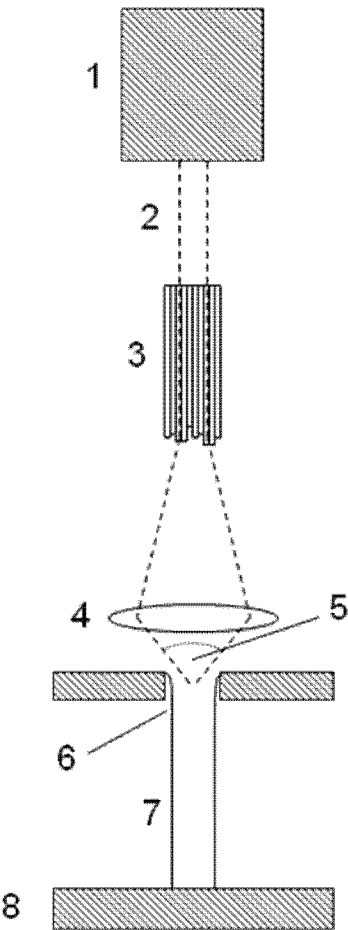
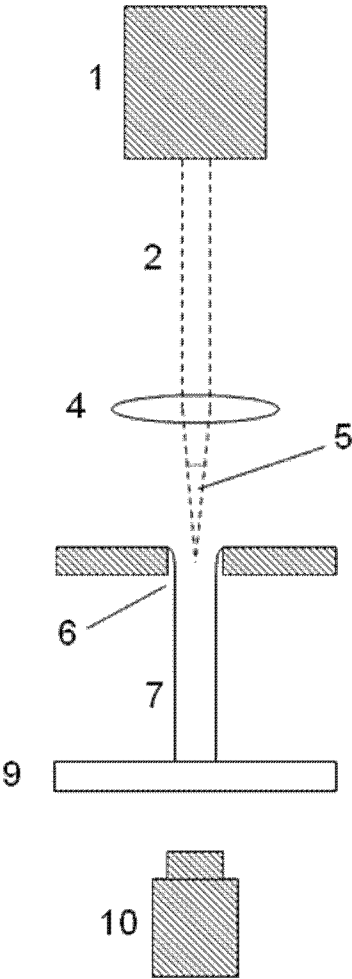
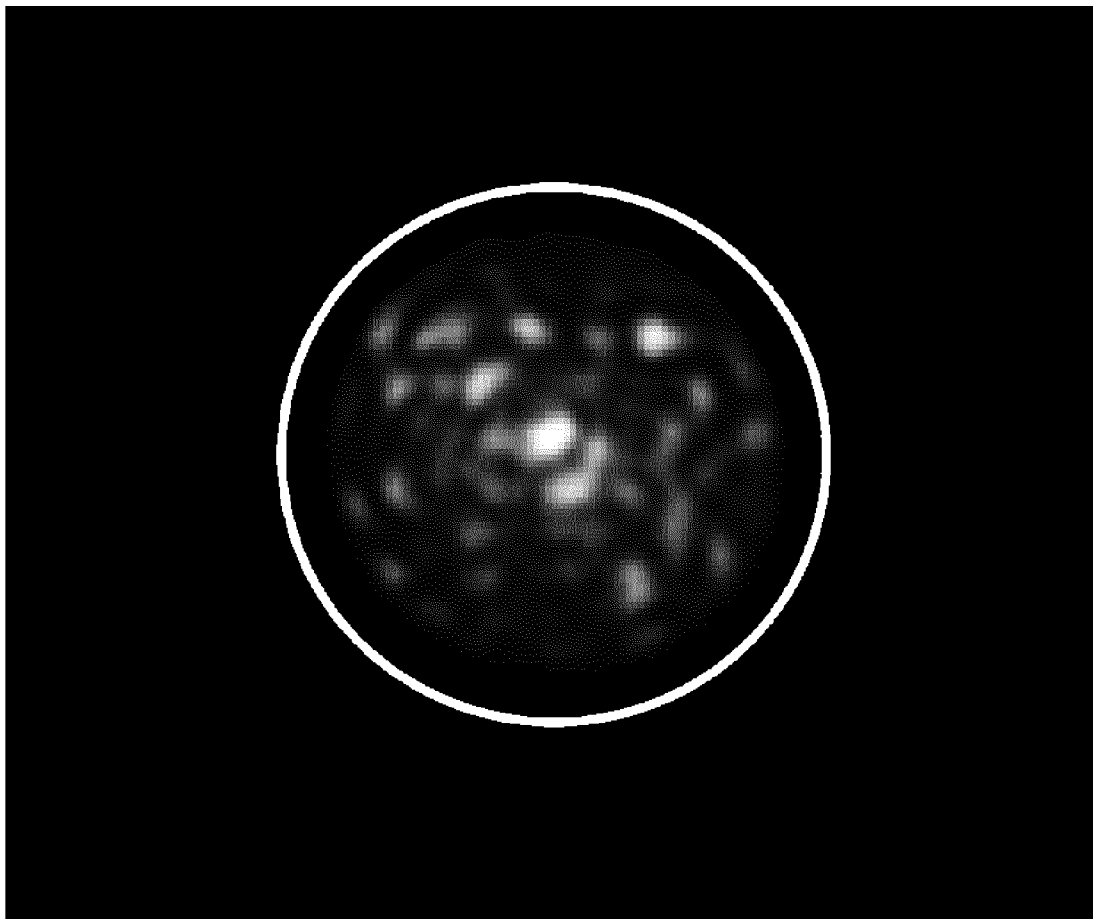


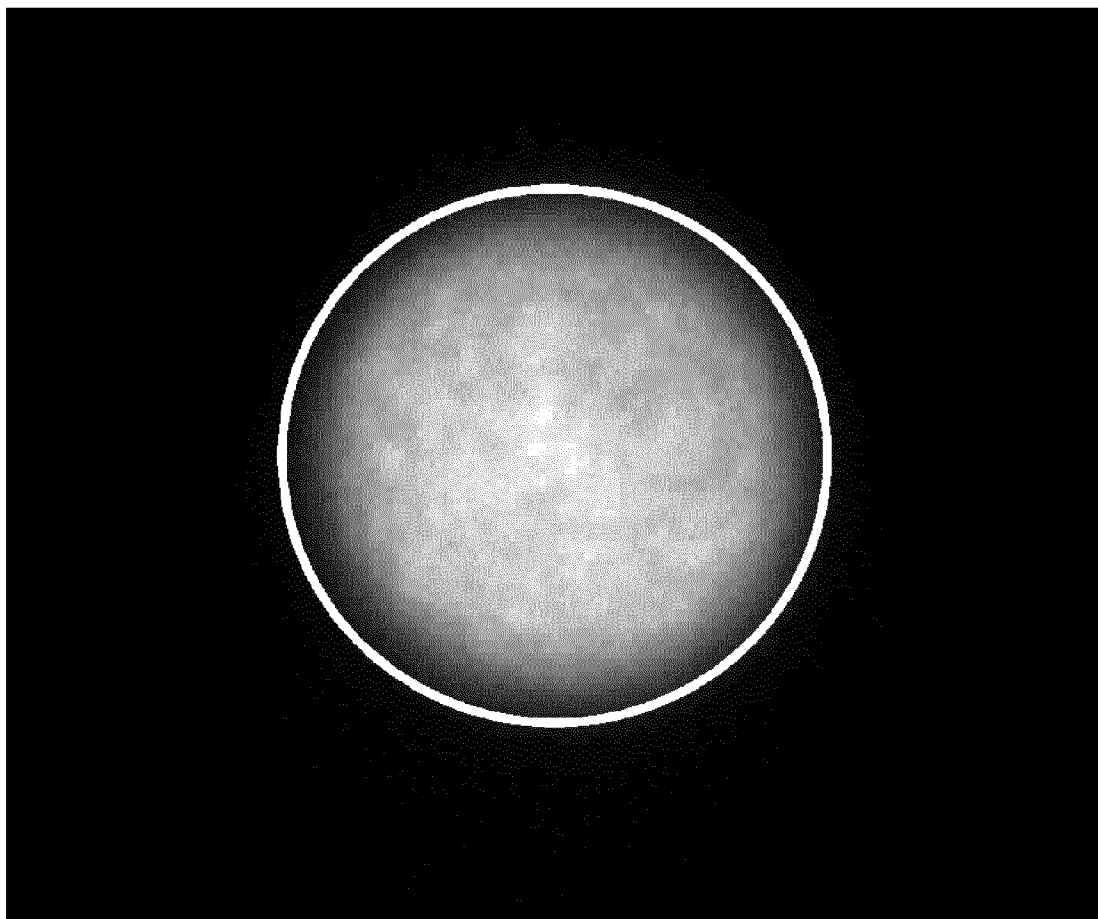
Fig. 2



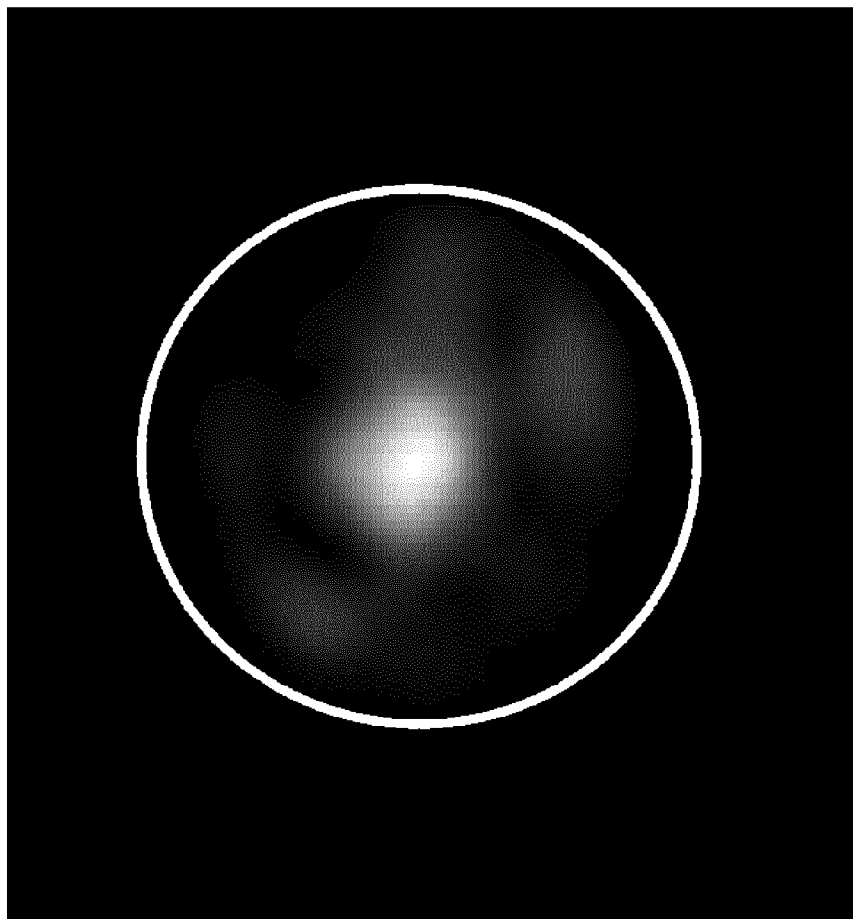
Figur 3



Figur 4



Figur 5



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2012/059162

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. B23K26/14 B23K26/40
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
B23K H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 902 499 A (RICHERZHAGEN BERNOLD [CH]) 11 May 1999 (1999-05-11) cited in the application	1
A	figure 1	2-18
Y	----- ANDREAS FELL ET AL: "Simulation supported description of the local doping formation using laser chemical processing (LCP)", APPLIED PHYSICS A; MATERIALS SCIENCE & PROCESSING, SPRINGER, BERLIN, DE, vol. 104, no. 1, 26 October 2010 (2010-10-26), pages 165-170, XP019915936, ISSN: 1432-0630, DOI: 10.1007/S00339-010-6089-Y cited in the application the whole document ----- -/-	2-18



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

28 August 2012

Date of mailing of the international search report

04/09/2012

Name and mailing address of the ISA/

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

Authorized officer

Caubet, J

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2012/059162

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 6 898 216 B1 (KLEINSCHMIDT JUERGEN [DE]) 24 May 2005 (2005-05-24) cited in the application abstract	2-18
A	----- DE 10 2008 035898 A1 (ZEISS CARL MEDITEC AG [DE]) 12 February 2009 (2009-02-12) the whole document -----	1-18

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2012/059162

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5902499	A	11-05-1999	DE 4418845 C1 28-09-1995
			DE 19518263 A1 07-12-1995
			DE 59510608 D1 30-04-2003
			EP 0762947 A1 19-03-1997
			JP 3680864 B2 10-08-2005
			JP H10500903 A 27-01-1998
			US 5902499 A 11-05-1999
			WO 9532834 A1 07-12-1995

US 6898216	B1	24-05-2005	JP 2001060550 A 06-03-2001
			US 6898216 B1 24-05-2005

DE 102008035898 A1	12-02-2009	DE 102008035898 A1	12-02-2009
		WO 2009019006 A2	12-02-2009

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. B23K26/14 B23K26/40
ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
B23K H01L

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 5 902 499 A (RICHERZHAGEN BERNOLD [CH]) 11. Mai 1999 (1999-05-11) in der Anmeldung erwähnt	1
A	Abbildung 1	2-18
Y	----- ANDREAS FELL ET AL: "Simulation supported description of the local doping formation using laser chemical processing (LCP)", APPLIED PHYSICS A; MATERIALS SCIENCE & PROCESSING, SPRINGER, BERLIN, DE, Bd. 104, Nr. 1, 26. Oktober 2010 (2010-10-26), Seiten 165-170, XP019915936, ISSN: 1432-0630, DOI: 10.1007/S00339-010-6089-Y in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument ----- -/-	2-18



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert,
aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach
dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft er-
scheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer
anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden
soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie
ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung,
eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach
dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum
oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der
Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der
Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden
Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung
kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf
erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung
kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet
werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren
Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und
diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

28. August 2012

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

04/09/2012

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Caubet, J

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	US 6 898 216 B1 (KLEINSCHMIDT JUERGEN [DE]) 24. Mai 2005 (2005-05-24) in der Anmeldung erwähnt Zusammenfassung -----	2-18
A	DE 10 2008 035898 A1 (ZEISS CARL MEDITEC AG [DE]) 12. Februar 2009 (2009-02-12) das ganze Dokument -----	1-18

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2012/059162

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5902499 A	11-05-1999	DE 4418845 C1	28-09-1995
		DE 19518263 A1	07-12-1995
		DE 59510608 D1	30-04-2003
		EP 0762947 A1	19-03-1997
		JP 3680864 B2	10-08-2005
		JP H10500903 A	27-01-1998
		US 5902499 A	11-05-1999
		WO 9532834 A1	07-12-1995

US 6898216 B1	24-05-2005	JP 2001060550 A	06-03-2001
		US 6898216 B1	24-05-2005

DE 102008035898 A1	12-02-2009	DE 102008035898 A1	12-02-2009
		WO 2009019006 A2	12-02-2009
