

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
07. März 2019 (07.03.2019)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2019/043220 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation: *B23K 26/03* (2006.01) *B23K 26/53* (2014.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2018/073604
- (22) Internationales Anmeldedatum: 03. September 2018 (03.09.2018)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2017 120 187.4 01. September 2017 (01.09.2017) DE
10 2017 121 140.3 13. September 2017 (13.09.2017) DE
- (71) Anmelder: **FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V.** [DE/DE]; Hansastr. 27c, 80686 München (DE). **FRIEDRICH-SCHILLER-UNIVERSITÄT JENA** [DE/DE]; Fürstengraben 1, 07743 Jena (DE).
- (72) Erfinder: **BERGNER, Klaus**; Ernst-Zielinski-Str. 26, 07745 Jena (DE). **NOLTE, Stefan**; Starweg 5, 07751 Jena (DE).
- (74) Anwalt: **SCHNEIDERS & BEHRENDT PARTMBB** et al.; Huestr. 23, 44787 Bochum (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT,

(54) Title: LASER MACHINING A TRANSPARENT WORKPIECE

(54) Bezeichnung: LASERBEARBEITUNG EINES TRANSPARENTEN WERKSTÜCKS

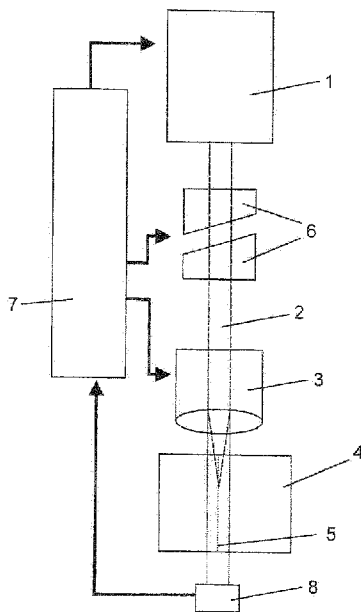


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to a method for machining a transparent workpiece (4) by generating non-linear absorption of laser beams in a laser beam focus located in the volume of the workpiece (4). The aim of the invention is to provide an improved method with regard to precision and quality and a corresponding device for laser machining workpieces. In particular, workpieces made from composite materials or from other special materials, e.g. filter glass, should also be machined with improved quality. The claimed method comprises the following steps: - spectroscopic measuring of the linear absorption of laser radiation in the workpiece (4), selecting a working wave length in which the linear absorption is low and machining the workpiece (4) by applying laser radiation at the working wave length. The invention further relates to a corresponding device for machining a transparent workpiece (4).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bearbeitung eines transparenten Werkstücks (4) durch Erzeugung nicht-linearer Absorption von Laserstrahlung in einem im Volumen des Werkstücks (4) befindlichen Laserstrahlfokus. Es ist Aufgabe der Erfindung, ein hinsichtlich Präzision und Qualität verbessertes Verfahren und eine entsprechende Vorrichtung für die Laserbearbeitung von Werkstücken bereit zu stellen. Insbesondere sollen auch Werkstücke aus Verbundmaterialien oder aus sonstigen Spezialmaterialien, wie z.B. Filtergläser, mit verbesserter Qualität bearbeitet werden können. Das erfindungsgemäße Verfahren umfasst hierzu die folgenden Schritte: - spektroskopische Vermessung der linearen Absorption der Laserstrahlung in dem Werkstück (4), - Auswahl einer Arbeitswellenlänge, bei der die lineare Absorption gering ist, und - Bearbeiten des Werkstücks (4) durch Applikation von Laserstrahlung bei der Arbeitswellenlänge. Außerdem betrifft die Erfindung eine entsprechende Vorrichtung zur Bearbeitung eines transparenten Werkstücks (4).

WO 2019/043220 A1

LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI,
SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN,
GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*
- *vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)*

Laserbearbeitung eines transparenten Werkstücks

- 5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bearbeitung eines transparenten Werkstücks durch Erzeugung nicht-linearer Absorption von Laserstrahlung in einem im Volumen des Werkstücks befindlichen Laserstrahlfokus.

Außerdem betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zur Bearbeitung eines transparenten Werkstücks.

- 10 Es ist aus dem Stand der Technik bekannt, dass Werkstücke aus transparenten Materialien, wie z. B. Glas oder Quarz oder auch (unpigmentiertes) Körpergewebe, durch Laserstrahlung hoch präzise bearbeitet werden können. Dies erfolgt im Wege einer lokalisierten Energiedeponierung durch nicht-lineare Absorption in einem Laserstrahlfokus, der sich nicht (nur) an der Oberfläche,
15 sondern an einer beliebigen Position im Volumen des Werkstücks befinden kann. In dem Laserstrahlfokus kommt es zu Mehrphotonenprozessen, z.B. in Form von Multiphotonenionisation oder Lawinenionisation, die zur Ausbildung eines Plasmas führen. Die Plasmabildungsrate nimmt oberhalb einer Schwelle, die von dem Material des Werkstücks und den Parametern der Laserstrahlung
20 abhängt, stark zu. Man spricht daher auch von einem „optischen Durchbruch“. Die dadurch bewirkte Modifikation und damit Bearbeitung des Materials weist eine hohe Präzision auf, da räumlich lokalisiert reproduzierbar geringe Energiemengen in das Material eingetragen werden können. Die gute räumliche Lokalisation wird in erster Linie durch Fokussierung der Laserstrahlung mittels
25 einer möglichst aberrationsfreien Einkoppeloptik hoher numerischer Apertur erreicht. Insbesondere ist es auch möglich, die Lage und Form der

Energiedeposition aufgabenspezifisch anzupassen. Dazu können z.B. Linsen mit geringer numerischer Apertur, Axikone oder Kombinationen daraus ebenso wie gezielt Aberrationen genutzt werden, um beispielsweise ausgedehnte Fokusbereiche in Laserpropagationsrichtung zu erzeugen.

- 5 Im Allgemeinen wird bei dieser Art der Materialbearbeitung durch nicht-lineare Absorption gepulste Laserstrahlung bestehend aus kurzen oder ultrakurzen Laserpulsen bei gleichzeitig hoher Pulsleistung verwendet. Dadurch lässt sich ein geringer Energieeintrag bei hoher Reproduzierbarkeit erreichen. Besonders vorteilhaft sind Laserpulse mit einer Pulsdauer im Bereich von einigen
- 10 Femtosekunden bis zu wenigen Pikosekunden. Die Pulsenergie liegt meist im Bereich von einigen Mikrojoule, für ausgedehnte Fokusbereiche im Bereich von einigen 10-100 Mikrojoule oder sogar im Millijoulebereich.

- Laserbasierte Materialbearbeitung wird im Stand der Technik z.B. dazu verwendet, Trennflächen oder Sollbruchstellen zum Zwecke der Glasseparation,
- 15 d.h. zum Trennen mehrerer zusammenhängender Werkstücke aus Glas zu erzeugen. Dabei spielt eine gleichmäßige Modifikation des Materials über die gesamte Dicke des Werkstücks eine wichtige Rolle. Dadurch wird z.B. die Brechbarkeit erleichtert, Produktionsfehler wie Ausplatzungen oder Spannungsunterschiede werden minimiert, und es werden höhere Kantenfestigkeiten
- 20 erzielt. Die zu bearbeitenden Glasmaterialien sind dabei im Allgemeinen über einen weiten Wellenlängenbereich der verwendeten Laserstrahlung transparent. Sobald aber spezielle Gläser (z.B. Filtergläser) oder Glasverbundwerkstoffe, bei denen unterschiedliche Gläser miteinander kombiniert sind oder Hilfsschichten (wie Folien oder Kleber) im Werkstück vorhanden sind, können diese
- 25 Materialien eine signifikante lineare Absorption für die eingesetzte Laserstrahlung aufweisen. Diese kann die gewünschte nicht-lineare Wechselwirkung behindern bzw. eine gleichmäßige Energiedeposition über die gesamte Werkstückdicke (entsprechend dem Beer-Lambert'schen Gesetz) verhindern.

- 30 Vor diesem Hintergrund ist es Aufgabe der Erfindung, ein hinsichtlich Präzision und Qualität verbessertes Verfahren und eine entsprechende Vorrichtung für die

Laserbearbeitung von Werkstücken bereit zu stellen. Insbesondere sollen auch Werkstücke aus Verbundmaterialien oder aus sonstigen Spezialmaterialien, wie z.B. Filtergläser, mit verbesserter Qualität bearbeitet werden können.

5 Diese Aufgabe löst die Erfindung durch ein Verfahren zur Bearbeitung eines transparenten Werkstücks durch Erzeugung nicht-linearer Absorption von Laserstrahlung in einem im Volumen des Werkstücks befindlichen Laserstrahlfokus, umfassend die folgenden Schritte:

- spektroskopische Vermessung der linearen Absorption der Laserstrahlung in dem Werkstück,
- 10 - Auswahl einer Arbeitswellenlänge, bei der die lineare Absorption gering ist, und
- Bearbeiten des Werkstücks durch Applikation von Laserstrahlung bei der Arbeitswellenlänge.

Außerdem löst die Erfindung die Aufgabe durch eine Vorrichtung zur Bearbeitung eines transparenten Werkstücks, mit

- 15 - einem Laser, der einen Laserstrahl bei einer einstellbaren Arbeitswellenlänge emittiert,
- einer Einkoppeloptik, die den Laserstrahl in das Volumen des Werkstücks einkoppelt und in einem im Volumen des Werkstücks befindlichen Laserstrahlfokus fokussiert,
- 20 - einer Messeinrichtung, die die lineare Absorption der Laserstrahlung in dem Werkstück vermisst,
- einer mit dem Laser, der Messeinrichtung und der Einkoppeloptik verbundenen Steuereinrichtung, die dazu eingerichtet ist, die Arbeitswellenlänge auf einen Wert einzustellen, bei der die lineare Absorption gering ist, und die
- 25 Position des Laserstrahlfokus während der Bearbeitung des Werkstücks zu variieren.

Erfindungsgemäß erfolgt vor der eigentlichen Bearbeitung eine spektroskopische Vermessung des Werkstücks, um einen idealen Wellenlängenbereich für die Arbeitswellenlänge zu identifizieren, in dem eine minimale, jedenfalls

30

aber möglichst geringe lineare Absorption der eingesetzten Laserstrahlung auftritt.

5 Durch die Unterdrückung oder Minimierung der linearen Absorption kann mittels Strahlfokussierung eine hohe Intensität in den gewünschten Wechselwirkungsbereichen erzielt werden. Dadurch kommt es nur in diesen Bereichen zu einer vorwiegend nicht-linearen Absorption. Bei entsprechender Strahlformung erlaubt dies eine gleichmäßige, maßgeschneiderte Energiedeposition über die gesamte Dicke des Werkstücks. Unerwünschte Defekte wie Spannungen, Risse, Voids etc. werden vermieden bzw. gleichmäßig oder spezifisch über die Substratdicke
10 verteilt.

Idealerweise sollte die lineare Absorption in dem Material des Werkstücks unterhalb von 20%, besser noch unterhalb von 10% auf einer Länge von einem Zentimeter in Laserstrahlrichtung liegen.

15 Das Ergebnis der Vermessung kann bei der Auswahl der Arbeitswellenlänge auch so verwendet werden, dass die erhaltene Transmissionskurve bei der Arbeitswellenlänge ein Maximum aufweist.

Nach der Vermessung erfolgt die Bearbeitung des Werkstücks im ausgewählten Wellenlängenbereich.

20 Dazu kann z.B. ein entsprechender Laser ausgewählt und verwendet werden, bei dem die fundamentale Laserwellenlänge im gewünschten Wellenlängenbereich liegt. Alternativ kann die gewünschte Arbeitswellenlänge durch Frequenzkonversion (z.B. Erzeugung der zweiten oder einer höheren Harmonischen, optisch parametrische Konversion, Frequenzmischung, Superkontinuumserzeugung, Raman-Konversion etc.) entsprechend eingestellt
25 werden.

Für die praktische Umsetzung der Erfindung geeignete, hinsichtlich der Wellenlänge durchstimmbare Lasersysteme sind kommerziell verfügbar.

Bei Verwendung eines durchstimmbaren Lasers kann dieser gleichzeitig auch für die Vermessung der linearen Absorption verwendet werden. Es wird in diesem Fall einfach für verschiedene Wellenlängeneinstellungen die Transmission der Laserstrahlung gemessen, und zwar möglichst ohne Fokussierung der Laserstrahlung im Volumen des Werkstücks.

Bei einer bevorzugten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird die Arbeitswellenlänge nach der Nebenbedingung ausgewählt, dass die nicht-lineare Absorption bei der Arbeitswellenlänge möglichst hoch ist. Das bedeutet, mit anderen Worten, dass die erfindungsgemäße Vermessung des Werkstücks vor der eigentlichen Bearbeitung zusätzlich dazu genutzt werden kann, um eine besonders geeignete Wellenlänge auch für die nicht-lineare Absorption auszuwählen. Dazu wird zweckmäßig anhand der Transmissionskurve die Arbeitswellenlänge so gelegt, dass die Absorption bei der Arbeitswellenlänge selbst minimal ist, jedoch bei einer Harmonischen davon (d.h. bei einem Bruchteil der Arbeitswellenlänge: z.B. $1/2$, $1/3$, $1/4$ etc.) einen hohen Wert annimmt. Durch entsprechende Wahl der Arbeitswellenlänge kann somit der Grad der Nichtlinearität in der Absorption gewählt werden und dadurch die nichtlineare Bearbeitung angepasst werden. Werden z.B. bei einer bestimmten Arbeitswellenlänge zwölf Photonen zur Überwindung einer Bandlücke des Materials benötigt, um freie Elektronen (Ionisation) zu erzeugen, ist die Wahrscheinlichkeit für eine solche Multiphotonenabsorption relativ gering. Eine Anpassung der Arbeitswellenlänge, immer noch im Bereich geringer linearer Absorption des Materials des Werkstücks, führt zu einer höheren Ionisationswahrscheinlichkeit, wenn bei der geänderten Arbeitswellenlänge beispielsweise nur noch sechs, vier oder zwei Photonen zur Ionisation benötigt werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren eignet sich besonders zur Separation von Glaswerkstücken, wobei die Position des Laserfokus während der Bearbeitung zwischen zwei oder mehr zusammenhängenden Glaswerkstücken entlang einer Trennfläche oder einer Sollbruchstelle geführt wird. Bei den Glaswerkstücken kann es sich z.B. um optische Filtergläser oder auch um Automobil(front)scheiben (z.B. mit lichtabsorbierender Tönung oder laminierten Zwischenschichten) oder sonstige Spezialgläser in der Optikindustrie handeln.

Durch das erfindungsgemäße Verfahren wird ein anschließendes Brechen vereinfacht, und Produktionsfehler werden minimiert.

Weitere Merkmale, Einzelheiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus dem Wortlaut der Ansprüche sowie aus der nachfolgenden Beschreibung eines

5 Ausführungsbeispielen anhand der Figur. Es zeigt:

Figur 1 schematisch eine erfindungsgemäße Vorrichtung als Blockdiagramm.

Die in der Figur 1 gezeigte Vorrichtung umfasst einen Laser 1, der Laserstrahlung 2 emittiert. Der Laser 1 ist hinsichtlich der Wellenlänge der
10 Laserstrahlung durchstimmbar. Die Laserstrahlung 2 wird mittels eines Objektivs 3 in Richtung auf ein Werkstück 4 gerichtet. Das Werkstück 4 besteht z.B. aus einem Spezialglas. Es kann sich z.B. um ein optisches Filterglas handeln. In das Werkstück 4 soll eine Trennfläche 5 durch Laserbearbeitung eingebracht werden. Das Objektiv 3 fokussiert die Laserstrahlung 2 so, dass die
15 Fokusposition innerhalb des Volumens des Werkstücks 4 auf der Trennfläche 5 liegt. Dabei ist eine steuerbare optische Baugruppe 6 vorgesehen, um die Strahlage in einer Ebene senkrecht zur Richtung des Laserstrahls 2 (d.h. in x- und y-Richtung) zu variieren. Das Objektiv 3 und die Baugruppe 6 bilden zusammen eine Einkoppeloptik, die den Laserstrahl 2 in das Volumen des
20 Werkstücks 4 einkoppelt. Die Brennweite des Objektivs 3 ist ebenfalls variabel ansteuerbar. Insgesamt kann so die Fokusposition in drei Dimensionen, d.h. in x-, y- und z-Richtung variiert werden. Bei einer alternativen Ausgestaltung kann die Position des Werkstücks 4 relativ zur Optik bewegt werden. Die Einkoppeloptik ist mit einer programmgesteuerten Steuereinrichtung 7
25 verbunden. Die programmgesteuerte Steuereinrichtung 7 steuert das Objektiv 3 und die Ablenkeinrichtung 6 an, um die Fokusposition während der Bearbeitung zu variieren. Dabei ist die programmgesteuerte Steuereinrichtung 7 dazu eingerichtet, durch nicht-lineare Absorption des Laserstrahls 2 im Fokus ein vorgegebenes Modifikationsprofil innerhalb des Werkstücks 4 zu erzeugen, und
30 zwar entlang der Trennfläche 5. Die programmgesteuerte Steuereinrichtung 7 steuert auch den Laser 1 an, um diesen für die Erzeugung der Laserstrahlung jeweils ein- und auszuschalten. Des Weiteren umfasst die Vorrichtung als

Messeinrichtung einen Fotodetektor 8, der mit der Steuereinrichtung 7 verbunden ist. Die Steuereinrichtung 7 kann das Objektiv 3 so ansteuern, dass der Laserstrahl 2 nicht innerhalb des Werkstücks 4 fokussiert ist, sondern durch das Werkstück 4 transmittiert wird. Der transmittierte Laserstrahl 2 fällt dann auf den Fotodetektor 8. Durch Variation der Wellenlänge des Lasers 1, durch entsprechende Ansteuerung mittels der Steuereinrichtung 7, kann eine Transmissionskurve des Werkstücks 4 aufgenommen werden, um erfindungsgemäß vor der eigentlichen Bearbeitung die lineare Absorption der Laserstrahlung in dem Material des Werkstücks 4 spektral zu vermessen. Die Steuereinrichtung 7 stellt dann die Arbeitswellenlänge des Lasers 1, d.h. die während der Bearbeitung zu verwendende Wellenlänge, nach Maßgabe der gemessenen Transmissionskurve auf einen Wert ein, bei der die lineare Absorption weniger als 10% pro Zentimeter in Richtung des Laserstrahls 2 beträgt. Zur spektroskopischen Vermessung der linearen Absorption kann der Laser 1 so angesteuert werden, dass er mit reduzierter Intensität emittiert, z.B. durch Reduktion der Leistung einer verwendeten Pumplichtquelle. Bei einer alternativen Ausgestaltung erfolgt die spektroskopische Vermessung ex-situ, z.B. mittels eines separaten Weißlichtspektrometers. Während der Bearbeitung emittiert der Laser 1 den Laserstrahl 2 dann mit einer höheren Intensität, bei der in dem Laserstrahlfokus nicht-lineare Absorption, insbesondere Ionisation auftritt.

- Patentansprüche -

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bearbeitung eines transparenten Werkstücks (4) durch Erzeugung nicht-linearer Absorption von Laserstrahlung in einem im
5 Volumen des Werkstücks (4) befindlichen Laserstrahlfokus, umfassend die folgenden Schritte:
- spektroskopische Vermessung der linearen Absorption der Laserstrahlung in dem Werkstück (4),
 - Auswahl einer Arbeitswellenlänge, bei der die lineare Absorption
10 gering ist, und
 - Bearbeiten des Werkstücks (4) durch Applikation von Laserstrahlung bei der Arbeitswellenlänge.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Arbeitswellenlänge nach der Maßgabe ausgewählt wird, dass bei der
15 Arbeitswellenlänge die lineare Absorption in Laserstrahlrichtung weniger als 20% pro Zentimeter, vorzugsweise weniger als 10% pro Zentimeter beträgt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die aus der Vermessung der linearen Absorption resultierende Transmissionskurve bei der Arbeitswellenlänge ein Minimum aufweist.
- 20 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Bearbeitung des Werkstücks (4) mittels eines hinsichtlich der Wellenlänge durchstimmbaren Lasers (1) erfolgt.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass auch die spektroskopische Vermessung mittels des hinsichtlich der Wellenlänge durchstimmbaren Lasers (1) erfolgt.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die
5 Intensität der Laserstrahlung bei der Vermessung des Werkstücks (4) unterhalb einer Schwelle bleibt, bei der Ionisationsprozesse in dem Volumen des Werkstücks (4) auftreten.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch
10 gekennzeichnet, dass die Laserstrahlung gepulst ist, wobei die Pulsdauer der Laserpulse 10 fs bis 100 ps beträgt.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Arbeitswellenlänge nach der Nebenbedingung ausgewählt wird, dass die Absorption bei einer Harmonischen der Arbeitswellenlänge möglichst hoch ist.

9. Verwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8
15 zur Separation von Glaswerkstücken, wobei die Position des Laserfokus während der Bearbeitung zwischen zwei oder mehr zusammenhängenden Glaswerkstücken entlang einer Trennfläche oder einer Sollbruchstelle geführt wird.

10. Vorrichtung zur Bearbeitung eines transparenten Werkstücks (4),
20 mit

- einem Laser (1), der einen Laserstrahl (2) bei einer einstellbaren Arbeitswellenlänge emittiert,
- einer Einkoppeloptik (3, 6), die den Laserstrahl (2) in das Volumen
25 des Werkstücks (4) einkoppelt und in einem im Volumen des Werkstücks (4) befindlichen Laserstrahlfokus fokussiert,
- einer Messeinrichtung (8), die die lineare Absorption der Laserstrahlung in dem Werkstück (4) misst,
- einer mit dem Laser (1), der Messeinrichtung (8) und der

Einkoppeloptik (3, 6) verbundenen Steuereinrichtung (7), die dazu eingerichtet ist, die Arbeitswellenlänge auf einen Wert einzustellen, bei der die lineare Absorption gering ist, und die Position des Laserstrahlfokus während der Bearbeitung des Werkstücks (4) zu variieren.

- 5 11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Laser (1) den Laserstrahl (2) bei der Bearbeitung mit einer Intensität emittiert, bei der in dem Laserstrahlfokus nicht-lineare Absorption, insbesondere Ionisation auftritt.

- Zusammenfassung -

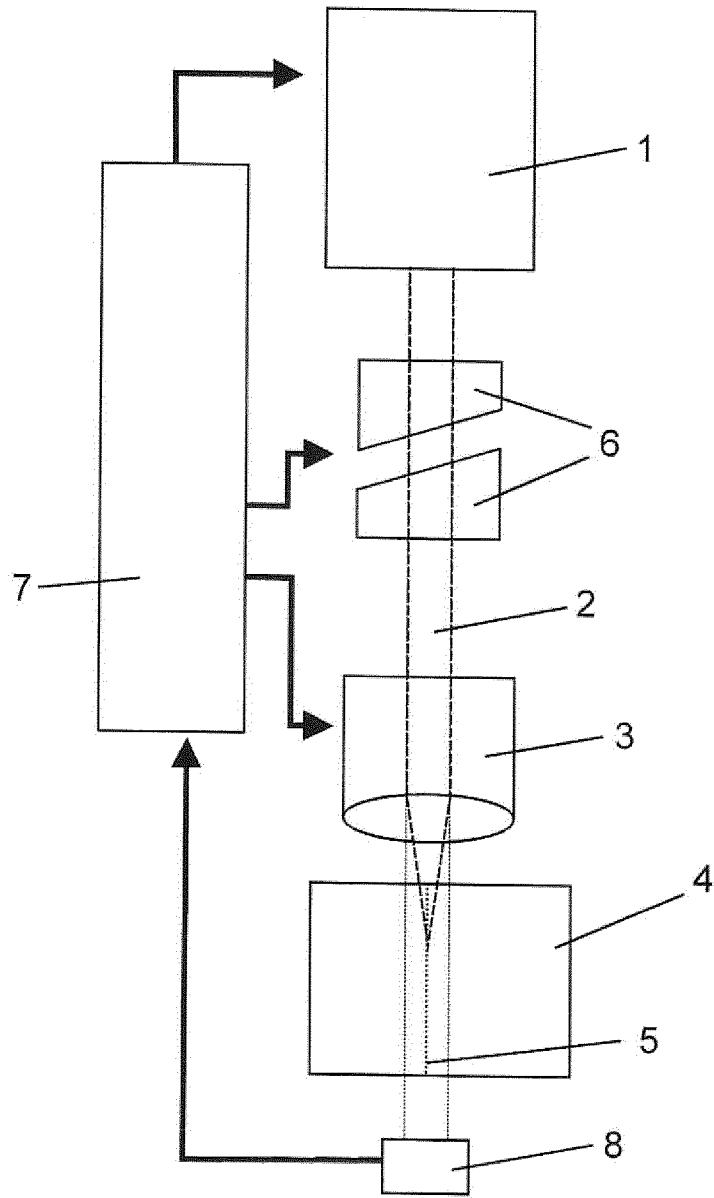


Fig. 1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2018/073604

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER <i>B23K 26/03</i> (2006.01)i; <i>B23K 26/53</i> (2014.01)i 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 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	EP 1338371 A1 (HAMAMATSU PHOTONICS KK [JP]) 27 August 2003 (2003-08-27)	1-3,6-9
Y	abstract; figure 21	4
A	paragraphs [0125], [0161]	5,10,11
Y	US 2016009066 A1 (NIEBER ALBERT ROTH [US] ET AL) 14 January 2016 (2016-01-14) claims 1,2	4
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“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)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&” document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search 07 January 2019		Date of mailing of the international search report 24 January 2019
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer Caubet, J Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2018/073604

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
EP	1338371	A1	27 August 2003	AT	552064	T	15 April 2012
				AU	8622701	A	26 March 2002
				CN	1473087	A	04 February 2004
				CN	1683106	A	19 October 2005
				CN	101110392	A	23 January 2008
				CN	101134265	A	05 March 2008
				CN	101136361	A	05 March 2008
				CN	101195190	A	11 June 2008
				CN	101502913	A	12 August 2009
				CN	101670484	A	17 March 2010
				CN	101670485	A	17 March 2010
				CN	101670493	A	17 March 2010
				CN	101670494	A	17 March 2010
				CN	103537796	A	29 January 2014
				CN	103537809	A	29 January 2014
				CN	103551736	A	05 February 2014
				CN	103551737	A	05 February 2014
				CN	103551738	A	05 February 2014
				CN	103551744	A	05 February 2014
				CN	103551745	A	05 February 2014
				CN	103551746	A	05 February 2014
				CN	103551747	A	05 February 2014
				CN	103551748	A	05 February 2014
				CN	103612338	A	05 March 2014
				CN	105108348	A	02 December 2015
				CN	105108349	A	02 December 2015
				CN	105108350	A	02 December 2015
				CN	106825940	A	13 June 2017
				EP	1338371	A1	27 August 2003
				EP	2204254	A2	07 July 2010
				EP	2204255	A2	07 July 2010
				EP	2213403	A1	04 August 2010
				EP	2218539	A1	18 August 2010
				EP	2228163	A1	15 September 2010
				EP	2228164	A1	15 September 2010
				EP	2228165	A1	15 September 2010
				EP	2228166	A1	15 September 2010
				EP	2251134	A1	17 November 2010
				EP	2251135	A1	17 November 2010
				EP	2324948	A1	25 May 2011
				EP	2359976	A1	24 August 2011
				ES	2383956	T3	27 June 2012
				ES	2526418	T3	12 January 2015
				ES	2527922	T3	02 February 2015
				ES	2528600	T3	10 February 2015
				ES	2529201	T3	17 February 2015
				JP	4659300	B2	30 March 2011
				JP	4880722	B2	22 February 2012
				JP	4890594	B2	07 March 2012
				JP	5138800	B2	06 February 2013

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2018/073604

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
		JP 2002192367 A	10 July 2002
		JP 2009214182 A	24 September 2009
		JP 2009241154 A	22 October 2009
		JP 2011245557 A	08 December 2011
		KR 20030029990 A	16 April 2003
		KR 20050073628 A	14 July 2005
		KR 20060108277 A	17 October 2006
		KR 20070097599 A	04 October 2007
		KR 20080039543 A	07 May 2008
		KR 20090100454 A	23 September 2009
		KR 20090115966 A	10 November 2009
		KR 20100091247 A	18 August 2010
		KR 20110022059 A	04 March 2011
		KR 20110127257 A	24 November 2011
		KR 20120092727 A	21 August 2012
		KR 20130063553 A	14 June 2013
		KR 20140033254 A	17 March 2014
		KR 20140142372 A	11 December 2014
		KR 20150065917 A	15 June 2015
		KR 20160014773 A	11 February 2016
		KR 20180031079 A	27 March 2018
		KR 20180042462 A	25 April 2018
		SG 146432 A1	30 October 2008
		SG 2009061698 A	28 August 2014
		SG 10201406382Y A	27 November 2014
		TW I250060 B	01 March 2006
		TW I271251 B	21 January 2007
		US 2004002199 A1	01 January 2004
		US 2005173387 A1	11 August 2005
		US 2005181581 A1	18 August 2005
		US 2005184037 A1	25 August 2005
		US 2005189330 A1	01 September 2005
		US 2005194364 A1	08 September 2005
		US 2006040473 A1	23 February 2006
		US 2006160331 A1	20 July 2006
		US 2010055876 A1	04 March 2010
		US 2010176100 A1	15 July 2010
		US 2011021004 A1	27 January 2011
		US 2011027971 A1	03 February 2011
		US 2011027972 A1	03 February 2011
		US 2011037149 A1	17 February 2011
		US 2012190175 A1	26 July 2012
		US 2012205357 A1	16 August 2012
		US 2012228276 A1	13 September 2012
		US 2012279947 A1	08 November 2012
		US 2013017670 A1	17 January 2013
		US 2015111365 A1	23 April 2015
		US 2018068897 A1	08 March 2018
		WO 0222301 A1	21 March 2002
US 2016009066 A1	14 January 2016	CN 105481236 A	13 April 2016

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2018/073604

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
<p>US 2016009066 A1 14 January 2016</p> <hr/>			

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2018/073604

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. B23K26/03 B23K26/53 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) 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, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 1 338 371 A1 (HAMAMATSU PHOTONICS KK [JP]) 27. August 2003 (2003-08-27)	1-3,6-9
Y	Zusammenfassung; Abbildung 21	4
A	Absätze [0125], [0161]	5,10,11
Y	US 2016/009066 A1 (NIEBER ALBERT ROTH [US] ET AL) 14. Januar 2016 (2016-01-14) Ansprüche 1,2	4
<input type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist		"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche 7. Januar 2019		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts 24/01/2019
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

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2018/073604

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 1338371	A1	27-08-2003	AT 552064 T 15-04-2012
			AU 8622701 A 26-03-2002
			CN 1473087 A 04-02-2004
			CN 1683106 A 19-10-2005
			CN 101110392 A 23-01-2008
			CN 101134265 A 05-03-2008
			CN 101136361 A 05-03-2008
			CN 101195190 A 11-06-2008
			CN 101502913 A 12-08-2009
			CN 101670484 A 17-03-2010
			CN 101670485 A 17-03-2010
			CN 101670493 A 17-03-2010
			CN 101670494 A 17-03-2010
			CN 103537796 A 29-01-2014
			CN 103537809 A 29-01-2014
			CN 103551736 A 05-02-2014
			CN 103551737 A 05-02-2014
			CN 103551738 A 05-02-2014
			CN 103551744 A 05-02-2014
			CN 103551745 A 05-02-2014
			CN 103551746 A 05-02-2014
			CN 103551747 A 05-02-2014
			CN 103551748 A 05-02-2014
			CN 103612338 A 05-03-2014
			CN 105108348 A 02-12-2015
			CN 105108349 A 02-12-2015
			CN 105108350 A 02-12-2015
			CN 106825940 A 13-06-2017
			EP 1338371 A1 27-08-2003
			EP 2204254 A2 07-07-2010
			EP 2204255 A2 07-07-2010
			EP 2213403 A1 04-08-2010
			EP 2218539 A1 18-08-2010
			EP 2228163 A1 15-09-2010
			EP 2228164 A1 15-09-2010
			EP 2228165 A1 15-09-2010
			EP 2228166 A1 15-09-2010
			EP 2251134 A1 17-11-2010
			EP 2251135 A1 17-11-2010
			EP 2324948 A1 25-05-2011
			EP 2359976 A1 24-08-2011
			ES 2383956 T3 27-06-2012
			ES 2526418 T3 12-01-2015
			ES 2527922 T3 02-02-2015
			ES 2528600 T3 10-02-2015
			ES 2529201 T3 17-02-2015
			JP 4659300 B2 30-03-2011
			JP 4880722 B2 22-02-2012
			JP 4890594 B2 07-03-2012
			JP 5138800 B2 06-02-2013
			JP 2002192367 A 10-07-2002
			JP 2009214182 A 24-09-2009
			JP 2009241154 A 22-10-2009
			JP 2011245557 A 08-12-2011
			KR 20030029990 A 16-04-2003
			KR 20050073628 A 14-07-2005
			KR 20060108277 A 17-10-2006
			KR 20070097599 A 04-10-2007

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2018/073604

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung	
		KR 20080039543 A	07-05-2008	
		KR 20090100454 A	23-09-2009	
		KR 20090115966 A	10-11-2009	
		KR 20100091247 A	18-08-2010	
		KR 20110022059 A	04-03-2011	
		KR 20110127257 A	24-11-2011	
		KR 20120092727 A	21-08-2012	
		KR 20130063553 A	14-06-2013	
		KR 20140033254 A	17-03-2014	
		KR 20140142372 A	11-12-2014	
		KR 20150065917 A	15-06-2015	
		KR 20160014773 A	11-02-2016	
		KR 20180031079 A	27-03-2018	
		KR 20180042462 A	25-04-2018	
		SG 146432 A1	30-10-2008	
		SG 2009061698 A	28-08-2014	
		SG 10201406382Y A	27-11-2014	
		TW I250060 B	01-03-2006	
		TW I271251 B	21-01-2007	
		US 2004002199 A1	01-01-2004	
		US 2005173387 A1	11-08-2005	
		US 2005181581 A1	18-08-2005	
		US 2005184037 A1	25-08-2005	
		US 2005189330 A1	01-09-2005	
		US 2005194364 A1	08-09-2005	
		US 2006040473 A1	23-02-2006	
		US 2006160331 A1	20-07-2006	
		US 2010055876 A1	04-03-2010	
		US 2010176100 A1	15-07-2010	
		US 2011021004 A1	27-01-2011	
		US 2011027971 A1	03-02-2011	
		US 2011027972 A1	03-02-2011	
		US 2011037149 A1	17-02-2011	
		US 2012190175 A1	26-07-2012	
		US 2012205357 A1	16-08-2012	
		US 2012228276 A1	13-09-2012	
		US 2012279947 A1	08-11-2012	
		US 2013017670 A1	17-01-2013	
		US 2015111365 A1	23-04-2015	
		US 2018068897 A1	08-03-2018	
		WO 0222301 A1	21-03-2002	

US 2016009066	A1	14-01-2016	CN 105481236 A	13-04-2016
			US 2016009066 A1	14-01-2016
