

(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
05. März 2020 (05.03.2020)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2020/043794 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

B23K 26/36 (2014.01) B23K 26/0622 (2014.01)
B23K 26/06 (2014.01) B23K 26/38 (2014.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2019/073008

(22) Internationales Anmeldedatum:
28. August 2019 (28.08.2019)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2018 214 742.6
30. August 2018 (30.08.2018) DE

(71) Anmelder: **FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V.** [DE/DE]; Hansastraße 27c, 80686 München (DE).

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN [—/DE];
Helmholtzstr. 10, 01069 Dresden (DE).

(72) **Erfinder: BEYER, Eckhard**; Am Alten Bahndamm 52, 01328 Dresden (DE). **MAHRLE, Achim**; c/o Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahlungsforschung IWS, Winterbergstr. 28, 01277 Dresden (DE).

(74) **Anwalt: PFENNING, MEINIG & PARTNER MBB**; An der Frauenkirche 20, 01067 Dresden (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,

(54) **Title:** METHOD AND APPARATUS FOR LASER MATERIAL PROCESSING OF A WORKPIECE BY MEANS OF PHOTON PULSES

(54) **Bezeichnung:** VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR LASERMATERIALBEARBEITUNG EINES WERKSTÜCKS MITTELS PHOTONENIMPULS

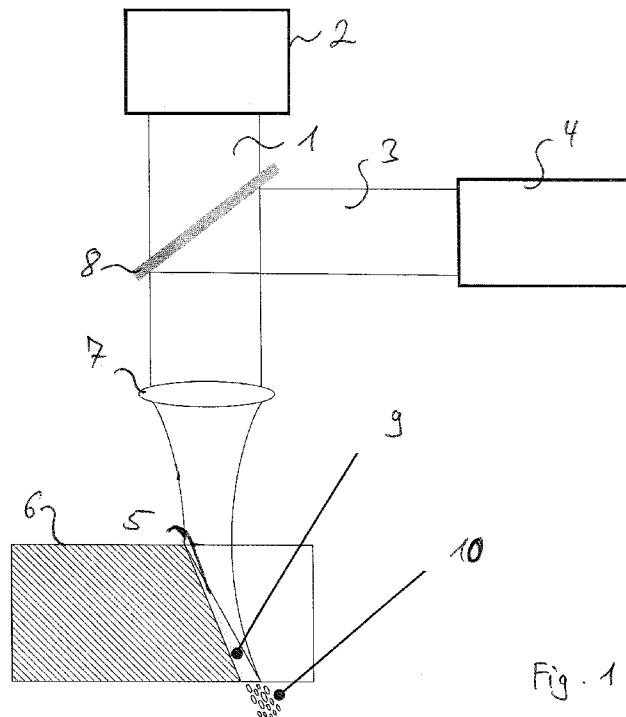


Fig. 1

(57) **Abstract:** The invention relates to a method and to a corresponding apparatus for laser material processing of a workpiece by means of photon pulses, in which a first laser beam (1) from a first laser radiation source (2) and a second laser beam (3) from a second laser radiation source (4) are directed onto a common point of impact (5) on a workpiece surface (6) to be processed or into a material of the workpiece melted by the first laser beam (1). Melting (9) of the workpiece surface (6) or the material is achieved by the first laser beam (1) and expulsion of material (10) is achieved by the second laser beam (3), an action time of the second laser beam (3) being shorter than an action time of the first laser beam (1).

(57) **Zusammenfassung:** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren sowie eine entsprechende Vorrichtung zur Lasermaterialbe-



WO 2020/043794 A1

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, 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)

arbeitung eines Werkstücks mittels Photonenimpuls, bei dem ein erster Laserstrahl (1) aus einer ersten Laserstrahlungsquelle (2) und ein zweiter Laserstrahl (3) aus einer zweiten Laserstrahlungsquelle (4) auf einen gemeinsamen Auftreffpunkt (5) auf einer zu bearbeitenden Werkstückoberfläche (6) oder in einen mit dem ersten Laserstrahl (1) aufgeschmolzenen Werkstoff des Werkstücks gerichtet werden. Durch den ersten Laserstrahl (1) wird ein Aufschmelzen (9) der Werkstückoberfläche (6) oder des Werkstoffs und durch den zweiten Laserstrahl (3) ein Werkstoffaustrieb (10) erreicht, wobei eine Einwirkzeit des zweiten Laserstrahls (3) kürzer ist als eine Einwirkzeit des ersten Laserstrahls (1).

VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR LASERMATERIALBEARBEITUNG EINES
WERKSTÜCKS MITTELS PHOTONENIMPULS

5 Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Lasermaterialbearbeitung eines Werkstücks mittels Photonenimpuls.

10 Zur Lasermaterialbearbeitung sind verschiedene Technologien für einen Materialabtrag oder eine Materialtrennung verfügbar, die entweder auf einer gepulsten (pw-Betrieb) oder einer kontinuierlich emittierenden (cw-Betrieb) Laserstrahlquelle beruhen.

15 Nachteilig an gepulsten Verfahren ist jedoch, dass aufgrund der typischerweise geringen mittleren Leistungen das thermisch aktivierte Wechselwirkungsvolumen sowie die erreichbaren Abtragungsraten klein sind. Im Gegensatz dazu sind cw-Laserstrahlungsquellen mit hohen mittleren Ausgangsleistungen verfügbar. Nachteilig hieran ist jedoch, dass keine prozessinhärenten Wechselwirkungsmechanismen entstehen, durch die nicht nur ein Energieeintrag

infolge Strahlungsabsorption, sondern auch ein Impulsübertrag auf das thermisch aktivierte Wechselwirkungsvolumen erreicht werden kann. Ein Materialaustrieb muss daher durch einen zusätzlich zugeführten Gasstrahl erreicht werden, was eine Flexibilität des Verfahrens einschränkt und das verwendete Gas das Verfahren verteuert.

5

Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung vorzuschlagen, mit denen die genannten Nachteile vermieden werden können, also hohe Trennraten ohne aufwändige zusätzliche Werkstückbehandlung erreicht werden können.

10

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren nach Anspruch 1 und eine Vorrichtung nach Anspruch 12. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen sind in den abhängigen Ansprüchen beschrieben.

15

Bei einem Verfahren zur Lasermaterialbearbeitung eines Werkstücks mittels Photonenimpuls wird ein erster Laserstrahl aus einer ersten Laserstrahlungsquelle und ein zweiter Laserstrahl aus einer zweiten Laserstrahlungsquelle auf einen gemeinsamen Auftreffpunkt auf einer zu bearbeitenden Werkstückoberfläche oder in einen mit dem oder durch den ersten Laserstrahl aufgeschmolzenen Werkstoff des Werkstücks gerichtet. Hierdurch wird ein Aufschmelzen der Werkstückoberfläche oder des Werkstücks durch den ersten Laserstrahl erreicht und durch den zweiten Laserstrahl wird ein Werkstoffaustrieb vorgenommen. Eine Einwirkzeit, die auch als Wechselwirkungszeit bezeichnet werden kann, des zweiten Laserstrahls ist hierbei kürzer als eine Einwirkzeit des ersten Laserstrahls.

20

25

Indem das Werkstück durch den ersten Laserstrahl mit seiner längeren Wechselwirkungszeit mit dem Werkstoff getrennt wird, dient der zweite Laserstrahl, dessen Einwirkzeit für eine trennende Bearbeitung typischerweise zu kurz ist, für einen Werkstoffaustrieb, so dass keine zusätzlichen Maßnahmen am Auftreffpunkt bzw. dem durch den ersten Laserstrahl aufgeschmolzenen Werkstoff nötig sind. Der Auftreffpunkt und bzw. oder der aufgeschmolzene Werkstoff können auch als Prozesszone bezeichnet werden. Durch die vorgeschlagene synergetische Kopplung wird es möglich, dass bislang ausschließlich mit einem gepulsten Laserstrahl durchgeführte Abtragungs- bzw. Trennpro-

30

35

5 zesse thermisch effizienter und mit einer erhöhten Abtragsrate realisiert werden können. Andererseits wird es möglich, bislang mit kontinuierlich emittierenden Laserstrahlungsquellen durchgeführte Prozesse ohne zusätzliches Prozessgas bei reduzierten Betriebs- und Fertigungskosten samt höherer Flexibilität durchzuführen.

10 Es kann vorgesehen sein, dass der zweite Laserstrahl als gepulster Laserstrahl von der zweiten Laserstrahlungsquelle emittiert wird. Der erste Laserstrahl kann als kontinuierlicher Laserstrahl von der ersten Laserstrahlungsquelle emittiert werden oder der erste Laserstrahl kann als gepulster Laserstrahl mit einer Pulsdauer von der ersten Laserstrahlungsquelle emittiert werden, die größer ist als eine Pulsdauer des zweiten Laserstrahls. Hierdurch können gezielt die Einwirkzeiten bzw. Wechselwirkungszeiten bestimmt werden.

15 Der erste Laserstrahl und der zweite Laserstrahl können durch mindestens ein abbildendes optisches Element, vorzugsweise eine Linse, typischerweise eine bikonvexe Linse, auf die Werkstückoberfläche gerichtet werden, um eine ausreichend hohe Leistungsdichte durch Fokussierung auf der Werkstückoberfläche zu erreichen.

20 Der erste Laserstrahl und bzw. oder der zweite Laserstrahl können durch ein zwischen dem abzubildenden optischen Element sowie der ersten Laserstrahlungsquelle und der zweiten Laserstrahlungsquelle angeordnetes optisches Umlenkelement geführt und durch das optische Umlenkelement überlagert werden, um eine Strahlführung zu vereinfachen und eine definierte Prozesszone des Werkstücks zu erreichen.

30 Das optische Umlenkelement ist vorzugsweise als ein Strahlteiler, beispielsweise eine Strahlteilerplatte oder ein Strahlteilerwürfel, oder ein dichroitischer Spiegel ausgebildet.

35 Der erste Laserstrahl kann mit einer Leistung im Bereich von 0,1 kW bis 20 kW, vorzugsweise im Bereich von 1 kW bis 10 kW emittiert werden. Der zweite Laserstrahl kann eine Pulsspitzenleistung im Bereich von vorzugsweise 0,1 MW bis 100 MW aufweisen. Typischerweise beträgt ein Verhältnis der Leistung (Pulsspitzenleistung) des zweiten Laserstrahls zur Leistung (mittlere

Leistung) des ersten Laserstrahls zwischen $5 \cdot 10^0$ und $1 \cdot 10^6$.

Es kann vorgesehen sein, dass ein Schutzgas für eine Abschirmung des Auftreffpunkts bzw. der Prozesszone auf die Werkstückoberfläche geführt wird.

5 Das Schutzgas kann ausgewählt sein aus Argon, Helium oder einer Mischung aus Argon und Helium, gegebenenfalls unter Beimengung von Anteilen anderer atomarer oder molekularer Gaskomponenten. Das Schutzgas sollte koaxial mit dem ersten Laserstrahl und bzw. oder dem zweiten Laserstrahl auf die Werkstückoberfläche gerichtet werden. Alternativ kann das Schutzgas auch
10 seitlich über eine separate Schutzgasdüse in die Prozesszone bzw. auf die Werkstückoberfläche geführt werden.

Der zweite Laserstrahl kann mit einer Pulsdauer von weniger als $10 \mu\text{s}$, vorzugsweise mit einer Pulsdauer von weniger als 10 ns , besonders vorzugsweise mit einer Pulsdauer von weniger als 10 ps emittiert werden, um keine zu große thermische Wechselwirkung mit dem Werkstoff zu ermöglichen. Vorzugsweise liegt die Pulsdauer im Bereich zwischen 1 fs und 10 ps .

Es kann vorgesehen sein, dass der zweite Laserstrahl mit einer Pulswiederhol-
20 frequenz zwischen 1 kHz und 10 MHz , vorzugsweise zwischen 5 kHz und 5 MHz , emittiert wird, um den Werkstoffantrieb effizient zu gewährleisten. Alternativ oder zusätzlich kann vorgesehen sein, dass der erste Laserstrahl und bzw. oder der zweite Laserstrahl mit einer Pulsenergie zwischen $5 \mu\text{J}$ und 500 mJ , vorzugsweise zwischen $50 \mu\text{J}$ und 100 mJ emittiert wird bzw. werden,
25 damit gegebenenfalls sowohl das Aufschmelzen als auch das Austreiben des Werkstoffs in effizienter Art und Weise erfolgt.

Eine Vorrichtung zur Lasermaterialbearbeitung eines Werkstücks mittels Photonenimpuls weist eine erste Laserstrahlungsquelle zum Emittieren eines ersten Laserstrahls und eine zweite Laserstrahlungsquelle zum Emittieren eines zweiten Laserstrahls auf. Die erste Laserstrahlungsquelle und die zweite Laserstrahlungsquelle sind dazu eingerichtet, den ersten Laserstrahl und den zweiten Laserstrahl auf einen gemeinsamen Auftreffpunkt auf einer zu bearbeitenden Werkstückoberfläche oder in einen mit dem ersten Laserstrahl aufgeschmolzenen Werkstoff des Werkstücks zu richten. Dadurch wird durch den
30 ersten Laserstrahl ein Aufschmelzen der Werkstückoberfläche oder des Werk-
35

stoffs und durch den zweiten Laserstrahl ein Werkstoffaustrieb erreicht. Eine Einwirkzeit des zweiten Laserstrahls ist kürzer als eine Einwirkzeit des ersten Laserstrahls.

5 Das beschriebene Verfahren wird typischerweise mit der beschriebenen Vorrichtung durchgeführt, d. h. die beschriebene Vorrichtung ist zum Durchführen des beschriebenen Verfahrens eingerichtet.

10 Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und werden nachfolgend anhand der Figuren 1 und 2 erläutert.

Es zeigen:

15 Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Verfahrens zur Lasermaterialbearbeitung, bei dem ein Werkstück trennend bearbeitet wird und ein Materialaustrag von einer Laserstrahlungsquelle weggerichtet ist und

20 Fig. 2 eine Figur 1 entsprechende Darstellung, bei der das Werkstück abtragend oder sequentiell trennend (durch mehrfaches Abfahren einer Bearbeitungskontur) bearbeitet wird und bei der der Materialaustrag primär entgegengesetzt der Bewegungsrichtung der Relativbewegung zwischen dem Laserstrahl und dem Material gerichtet ist.

25 In Figur 1 werden in einer schematischen Ansicht ein Verfahren und eine entsprechende Vorrichtung zur Lasermaterialbearbeitung eines Werkstücks dargestellt. Eine erste Laserstrahlungsquelle 2 emittiert einen ersten Laserstrahl 1 als kontinuierlichen Laserstrahl, also als cw-Laserstrahl. Eine zweite Laserstrahlungsquelle 4 emittiert einen zweiten Laserstrahl 3 als gepulsten Laserstrahl, also als pw-Laserstrahl. Die erste Laserstrahlungsquelle 2 und die zweite Laserstrahlungsquelle 4 sind dabei typischerweise räumlich voneinander
30 getrennt und bzw. oder verfügen jeweils über eine eigene elektrische Energieversorgung.

35 Der erste Laserstrahl 1 und der zweite Laserstrahl 3 werden durch einen dichroitischen Spiegel 8 geführt, so dass sie gemeinsam in Richtung des zu behandelnden Werkstücks geführt werden. Der zweite Laserstrahl 3 wird hierbei

am dichroitischen Spiegel umgelenkt, im dargestellten Ausführungsbeispiel um 90°, während der erste Laserstrahl 1 in gerader Linie hindurchtritt. Beide Laserstrahlen 1 und 3 werden durch eine bikonvexe Linse 7 als abbildendes optisches Element auf eine Werkstückoberfläche 6 fokussiert, wo der erste Laserstrahl 1 eine trennende Bearbeitung 9 des Werkstücks durch Aufschmelzen eines Werkstoffs des Werkstücks am Auftreffpunkt 5 durchführt, während der zweite Laserstrahl 3 für einen Materialaustrag 10 verantwortlich ist. Durch ein koaxiales Führen und zeitlich sowie räumlich simultanes Auftreffen der Laserstrahlen 1 und 3 wird ein effektiver Schneidvorgang mit dem Materialaustrag 10 bzw. Werkstoffaustrieb direkt an der Schneidfront gewährleistet. In der Regel erfolgt hierbei keine Materialverdampfung. Der Materialaustrag 10 bzw. Werkstoffaustrieb erfolgt hierbei nach einer der ersten Laserstrahlungsquelle 1 bzw. der zweiten Laserstrahlungsquelle 2 abgewandten Seite.

In dem in Figur 1 dargestellten Ausführungsbeispiel sind die Parameter des ersten Laserstrahls 1 und des zweiten Laserstrahls 3 derart gewählt, dass der Materialaustrag 10 von der ersten Laserstrahlungsquelle 2 und der zweiten Laserstrahlungsquelle 4 weggerichtet ist. Die Einwirkzeit bzw. Wechselwirkungszeit des ersten Laserstrahls 1 ist hierbei aufgrund der kontinuierlichen Emission länger als die Einwirkzeit des zweiten Laserstrahls 3. In weiteren Ausführungsformen kann auch vorgesehen sein, dass auch die erste Laserstrahlungsquelle 2 einen gepulsten Laserstrahl als den ersten Laserstrahl 1 emittiert, wobei eine Pulsdauer des ersten Laserstrahls 1 in diesem Fall größer als eine Pulsdauer des zweiten Laserstrahls 2 ist. Typischerweise ist die Pulsdauer des ersten Laserstrahls 1 hierbei um ein Vielfaches bzw. mindestens eine Größenordnung länger als die Pulsdauer des zweiten Laserstrahls 3. In dem in Figur 1 gezeigten Ausführungsbeispiel beträgt die Pulsdauer des zweiten Laserstrahls 3 weniger als 100 ps. Somit werden in der Regel infolge eines Strahlungsdrucks bzw. Photonenimpulses insbesondere bei für ein Schneiden von Blechen typischen hohen Einfallswinkeln von Laserstrahlung auf eine geneigte Schneidfront Scherkräfte induziert und eine sich ausbildende Schmelze primär im schmelzflüssigen Zustand ausgetrieben. Das beschriebene Verfahren ist daher insbesondere in der Blechbearbeitung anwendbar, d. h. zum Bearbeiten von zu Platten mit einer Dicke von typischerweise nicht mehr als 1 cm dicken gewalzten metallischen Werkstücken.

Der erste Laserstrahl 1 und der zweite Laserstrahl 3 haben im dargestellten Ausführungsbeispiel einen identischen Strahldurchmesser, es können aber auch Variationen des Strahldurchmessers beider Strahlen 1, 3 um bis zu 10 Prozent des Strahls mit dem größeren Strahldurchmesser vorgesehen sein.

5 Der zweite Laserstrahl 3 dient nicht dazu, das durch den ersten Laserstrahl m1 bereits aufgeschmolzene Material des Werkstücks bis auf Siedetemperatur aufzuheizen, sondern vielmehr dem Materialaustrag 10 als Folge des wirksamen Strahlungsdrucks.

10 Der erste Laserstrahl 1 wird in dem in Figur 1 dargestellten Ausführungsbeispiel mit einer Leistung im Bereich von 1 kW emittiert, während der zweite Laserstrahl 3 eine mittlere Pulsspitzenleistung von 42 MW bei einer Pulsdauer von 12 ps und einer Pulsenergie von 500 μ J aufweist. In weiteren Ausführungsbeispielen kann ein Verhältnis der Leistungen zueinander (mittlere Pulsspitzenleistung des zweiten Laserstrahls zur mittleren Leistung des ersten Laserstrahls) auch im Bereich von $5 \cdot 10^0$ und $1 \cdot 10^6$ liegen.

Zudem kann in weiteren Ausführungsformen auch vorgesehen sein, ein Schutzgas auf die Werkstückoberfläche 6 zu führen, um den Auftreffpunkt 5 bzw. die Prozesszone von der Umgebung abzuschirmen und oxidfreie Schneidkanten zu erzeugen. Durch eine Schutzgasdüse wird hierbei koaxial zu dem ersten Laserstrahl 1 und bzw. oder dem zweiten Laserstrahl 3 das Schutzgas auf die Werkstückoberfläche 6 aufgebracht. In einer weiteren Ausführungsform kann das Schutzgas auch über eine seitlich angeordnete, separate Schutzgasdüse in die oder zur Prozesszone geführt werden. Unter einer seitlichen Anordnung soll hierbei insbesondere eine Anordnung verstanden werden, bei der das Schutzgas unter einem Winkel von 45° bis 90° gegenüber dem ersten Laserstrahl 1 und bzw. oder dem zweiten Laserstrahl 3 geneigt auf den Auftreffpunkt 5 oder die Werkstückoberfläche 6 strömt. Das beschriebene Verfahren kann aber, wie zuvor beschrieben, auch frei von einer Gasbeaufschlagung des Auftreffpunkts 5 durchgeführt werden, d. h. nur der zweite Laserstrahl 3 ist für den Materialaustrag 10 verantwortlich.

35 Zudem können auch Ausführungsbeispiele vorgesehen sein, in denen der erste Laserstrahl 1 und der zweite Laserstrahl 3 unter verschiedenen Winkeln auf den Auftreffpunkt 5 bzw. die Werkstückoberfläche 6 gerichtet sind. Hier-

bei kann sowohl auf ein Umlenkelement als auch gegebenenfalls auf ein ablenkendes optisches Element verzichtet werden. Es ist aber ebenso möglich, den emittierten Laserstrahl 1, 3 sowohl der ersten Laserstrahlungsquelle 2 als auch der zweiten Laserstrahlungsquelle 4 durch ein der jeweiligen Laserstrahlungsquelle 2, 4 zugeordnetes abbildendes optisches Element zu formen.

Abtragende und trennende Verfahren der laserbasierten Materialbearbeitung sind dadurch gekennzeichnet, dass der Werkstoff entlang der Bearbeitungskontur thermisch aktiviert (Aufschmelzen, Verdampfen) werden muss und simultan hierzu aus der Bearbeitungszone auszutreiben ist. Diese zweifache Wirkung ist a priori lediglich bei solchen Anwendungen erfüllt, bei denen der Werkstoff entlang der Schnittfuge verdampft wird. Der Anwendungsbereich dieser Verfahrensvariante ist damit auf solche Werkstoffe begrenzt, die keine ausgeprägte Schmelzphase aufweisen. Für alle anderen Werkstoffe ist eine verdampfungsbasierte Prozessführung aufgrund thermischer Wechselwirkungen nicht realisierbar bzw. energetisch nicht sinnvoll anzuwenden.

Eine thermische Aktivierung des Wechselwirkungsvolumens bei einem gleichzeitigen Materialaustrieb bzw. Werkstoffaustrieb wird unter Verwendung von pw-Laserstrahlquellen wie der zweiten Laserstrahlungsquelle 4 erreicht. Die einer solchen Prozessführung zugrundeliegenden Wechselwirkungsphänomene sind abhängig von der verfügbaren Pulsenergie bzw. Pulsenergiestromdichte (Fluenz) und der Pulsdauer. Die Pulsdauer bestimmt hierbei nicht nur die Dauer der Prozessphase für den Energieeintrag in den Werkstoff sowie die während der Pulsphase wirksame Leistungsdichte (Intensität der Laserstrahlung), sondern auch das Ausmaß der Wärmeleitung in den an die unmittelbare Prozesszone angrenzenden Grundwerkstoff. Gleichzeitig hat die Pulsdauer einen wesentlichen Einfluss auf die wirksamen Triebkräfte für den Materialaustrieb 10, da letztere insbesondere durch die Pulsleistung als Verhältnis von Pulsenergie zu Pulsdauer bzw. die Pulsintensität als Verhältnis von Pulsleistung zu Wechselwirkungsfläche (Fokusgröße) bestimmt werden.

Bei einer Prozessführung mit Pulsdauern im Bereich > 1 ns spielen Wärmeleitungsprozesse noch eine maßgebliche Rolle für die Prozesscharakteristik. In der Regel wird nur ein Teil der generierten Schmelze ausgetrieben und es ver-

bleibt ein Anteil Restschmelze am Werkstoff, der zu einer Minderung der Bearbeitungsqualität (Grat, Schmelzanhaftungen) führt. Eine Erhöhung der Bearbeitungsqualität kann mit einer Verkürzung der Pulsdauer erreicht werden.

5 Das Wirkprinzip des vorgestellten hybriden Lösungsansatzes beruht darauf, dass die Energie des cw-Laserstrahls primär zum Aufschmelzen des Werkstoffs entlang einer Bearbeitungsbahn genutzt wird, während simultan bzw. gleichzeitig die Beaufschlagung der Prozesszone mit Laserstrahlpulsen des zweiten Laserstrahls 3 einen Austrieb des geschmolzenen Werkstoffes bewirkt. Infolge
10 der vorgeschlagenen synergetischen Kopplung wird es möglich, dass bisher ausschließlich mit einer pw-Strahlquelle ausgeführte Abtrags- und Trennprozesse thermisch effizienter und mit einer erhöhten Abtragsrate realisiert werden können. Andererseits wird es möglich, dass bisher ausschließlich mit einer cw-Strahlquelle ausgeführte Abtrags- und Trennprozesse ohne zusätzliches Prozessgas realisiert werden können, wodurch einerseits die Betriebs- und Fertigungskosten gesenkt werden können und andererseits eine höhere Flexibilität für die Bearbeitung erreicht werden kann. Gase können in Funktion eines Schutzgases jedoch für eine Abschirmung der Prozesszone von der Atmosphäre eingesetzt werden.

20 Figur 2 zeigt in einer Figur 1 entsprechenden Ansicht ein Ausführungsbeispiel, bei dem die Parameter des ersten Laserstrahls 1 derart gewählt wurden, dass das Werkstück nicht komplett getrennt wird, sondern nur eingeschnitten wird, wobei der Materialaustrag 10 nun vom Werkstück weggerichtet und primär in einer Richtung entgegengesetzt der Bearbeitungsrichtung erfolgt. Wiederkehrende Merkmale sind in dieser Figur mit identischen Bezugszeichen wie in Figur 1 versehen.

30 Lediglich in den Ausführungsbeispielen offenbarte Merkmale der verschiedenen Ausführungsformen können miteinander kombiniert und einzeln beansprucht werden.

Patentansprüche

5

1. Verfahren zur Lasermaterialbearbeitung eines Werkstücks mittels Photonenimpuls, bei dem

10

ein erster Laserstrahl (1) aus einer ersten Laserstrahlungsquelle (2) und ein zweiter Laserstrahl (3) aus einer zweiten Laserstrahlungsquelle (4)

15

auf einen gemeinsamen Auftreffpunkt (5) auf einer zu bearbeitenden Werkstückoberfläche (6) oder in einen mit dem ersten Laserstrahl (1) aufgeschmolzenen Werkstoff des Werkstücks gerichtet werden, so dass

20

durch den ersten Laserstrahl (1) ein Aufschmelzen (9) der Werkstückoberfläche (6) oder des Werkstoffs und durch den zweiten Laserstrahl (3) ein Werkstoffaustrieb (10) erreicht wird, wobei

eine Einwirkzeit des zweiten Laserstrahls (3) kürzer ist als eine Einwirkzeit des ersten Laserstrahls (1).

25

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der zweite Laserstrahl (3) als gepulster Laserstrahl von der zweiten Laserstrahlungsquelle (4) emittiert wird und der erste Laserstrahl (1) als kontinuierlicher Laserstrahl von der ersten Laserstrahlungsquelle (2) emittiert wird oder der erste Laserstrahl (1) als gepulster Laserstrahl mit einer Pulsdauer von der ersten Laserstrahlungsquelle (2) emittiert wird, die größer ist als eine Pulsdauer des zweiten Laserstrahls (3).

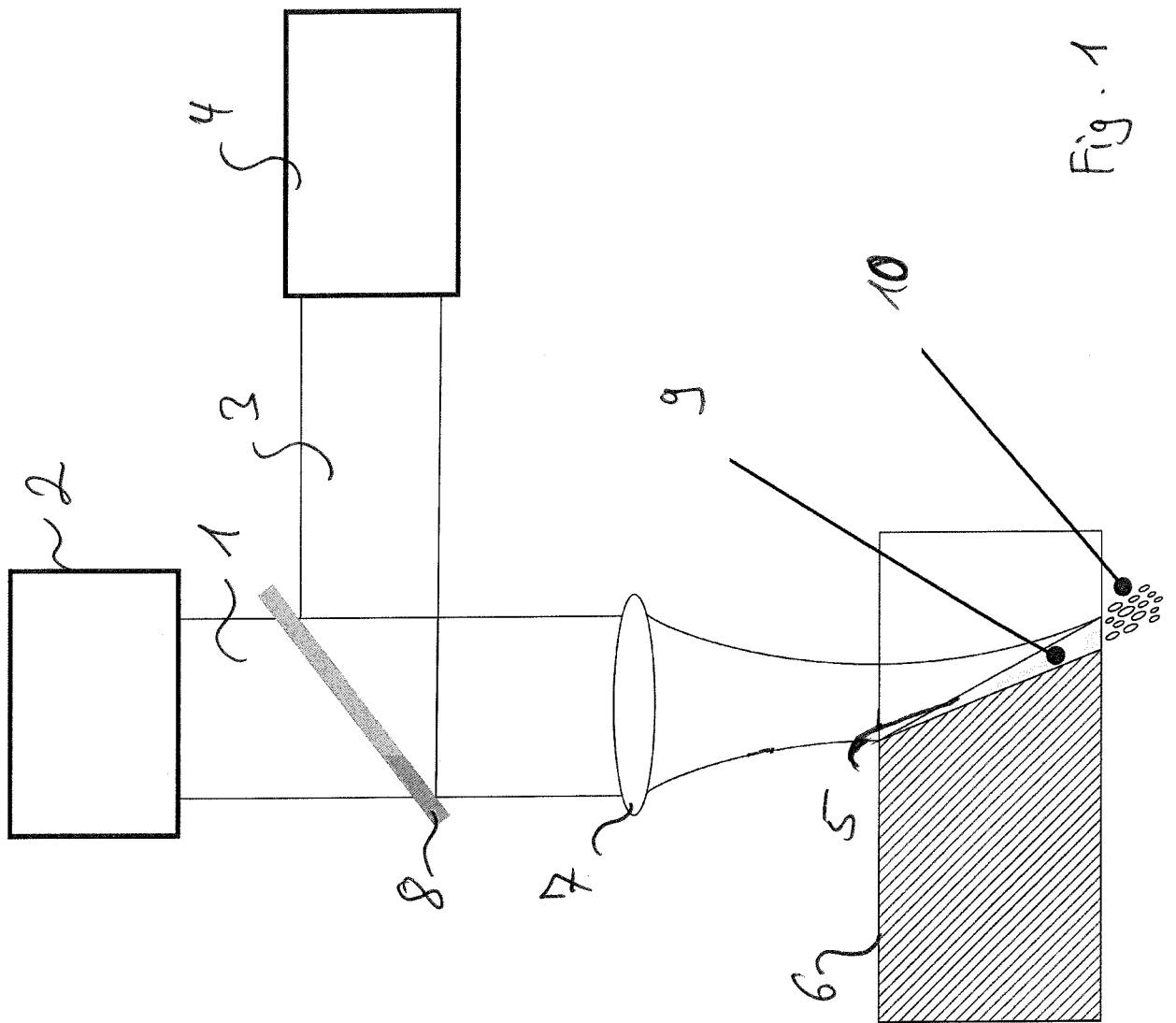
30

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Laserstrahl (1) und der zweite Laserstrahl (3) durch min-

destens ein abbildendes optisches Element (7) auf die Werkstückoberfläche (6) gerichtet werden.

- 5 4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Laserstrahl (1) und/oder der zweite Laserstrahl (3) durch ein zwischen dem abbildenden optischen Element (7) sowie der ersten Laserstrahlungsquelle (2) und der zweiten Laserstrahlungsquelle (4) angeordnetes optisches Umlenkelement (8) geführt werden und durch das optische Umlenkelement (8) überlagert werden.
- 10 5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass das optische Umlenkelement (8) als ein Strahlteiler oder ein dichroitischer Spiegel ausgebildet ist.
- 15 6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Laserstrahl (1) mit einer Leistung im Bereich von 0,1 kW bis 20 kW emittiert wird.
- 20 7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der zweite Laserstrahl (3) mit einer Pulsspitzenleistung von 0,1 MW bis 100 MW emittiert wird.
- 25 8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Schutzgas für eine Abschirmung des Auftreffpunkts auf die Werkstückoberfläche geführt wird.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der zweite Laserstrahl (3) mit einer Pulsdauer von weniger als 10 μ s, vorzugsweise mit einer Pulsdauer von weniger als 10 ns, besonders vorzugsweise mit einer Pulsdauer von weniger als 10 ps emittiert wird.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der zweite Laserstrahl (3) mit einer Pulswiederholfrequenz zwischen 1 kHz und 10 MHz, vorzugsweise zwischen 5 kHz und 5 MHz, emittiert wird.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Laserstrahl (1) und/oder der zweite Laserstrahl (3) mit einer Pulsenergie zwischen 5 μJ und 500 mJ, vorzugsweise zwischen 50 μJ und 100 mJ emittiert wird/werden.
- 5 12. Vorrichtung zur Lasermaterialbearbeitung eines Werkstücks mittels Photonenimpuls mit
- einer ersten Laserstrahlungsquelle (2) zum Emittieren eines ersten Laserstrahls (1) und
- 10 einer zweiten Laserstrahlungsquelle (4) zum Emittieren eines zweiten Laserstrahls (3), wobei
- die erste Laserstrahlungsquelle (2) und die zweite Laserstrahlungsquelle (4) eingerichtet sind, den ersten Laserstrahl (1) und den zweiten Laserstrahl (3) auf einen gemeinsamen Auftreffpunkt (5) auf einer zu bearbeitenden Werkstückoberfläche (6) oder in einen mit dem ersten Laserstrahl (1) aufgeschmolzenen Werkstoff des Werkstücks zu richten, so dass
- 15 durch den ersten Laserstrahl (1) ein Aufschmelzen (9) der Werkstückoberfläche (6) oder des Werkstoffs und durch den zweiten Laserstrahl (3) ein Werkstoffaustrieb (10) erreicht wird, wobei
- 20 eine Einwirkzeit des zweiten Laserstrahls (3) kürzer ist als eine Einwirkzeit des ersten Laserstrahls (1).
- 25



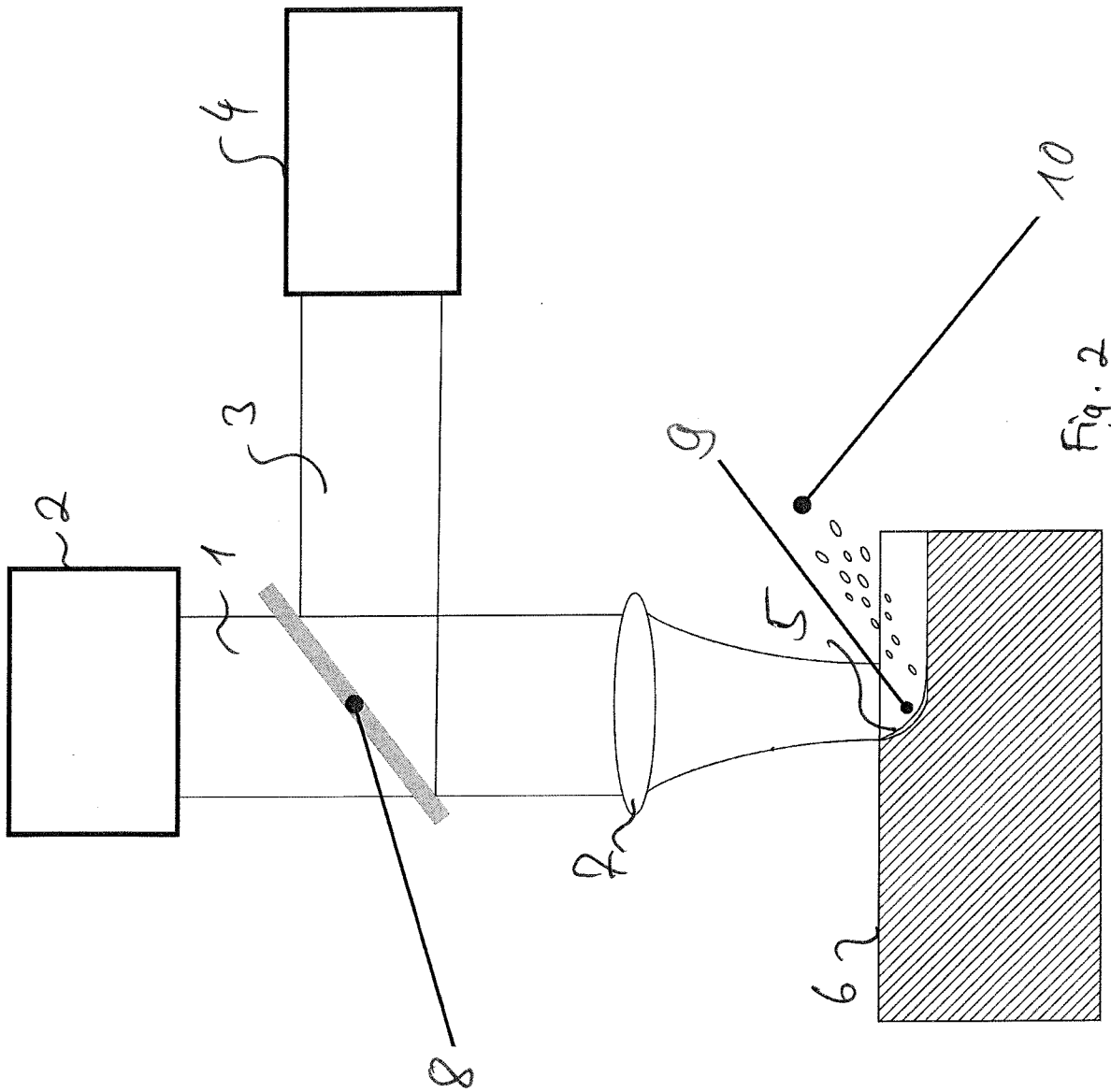


Fig. 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2019/073008

| A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER <i>B23K 26/36</i> (2014.01)i; <i>B23K 26/06</i> (2014.01)i; <i>B23K 26/0622</i> (2014.01)i; <i>B23K 26/38</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 | WO 2015108991 A2 (IMRA AMERICA INC [US]) 23 July 2015 (2015-07-23) paragraphs [0058], [0059], [0061], [0068], [0091], [0112], [0134], [0155]; claims 1,37; figure 1A | 1-7,9-12 |
| X | EP 2596900 A1 (LASER & MED TECH GMBH [DE]) 29 May 2013 (2013-05-29) paragraphs [0001], [0020] - [0026], [0031], [0041] - [0045], [0050], [0058], [0061], [0068]; claims 1,11; figures 2B, 3C | 1-7,9-12 |
| X | US 6809291 B1 (NEIL GEORGE R [US] ET AL) 26 October 2004 (2004-10-26) column 1, lines 9-16; claims 1,16,17; figure 1 column 3, lines 18-38 column 4, lines 27-59 | 1-5,10-12 |
| X | EP 0481270 A1 (BERGMANN HANS WILHELM [DE]) 22 April 1992 (1992-04-22) column 1, lines 1-4; claims 6-8; figure 1 column 2, line 10 - column 4, line 13 | 1-5,8-12 |
| X | US 2006249816 A1 (LI ERIC J [US] ET AL) 09 November 2006 (2006-11-09) paragraphs [0001], [0025], [0026]; claims 1,14 | 1,2,9,12 |
| <input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 25 October 2019 | | Date of mailing of the international search report 11 November 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 Schloth, Patrick Telephone No. |

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

| |
|---|
| International application No. PCT/EP2019/073008 |
|---|

| Patent document cited in search report | | | Publication date (day/month/year) | Patent family member(s) | | | Publication date (day/month/year) |
|--|------------|----|-----------------------------------|-------------------------|--------------|----|-----------------------------------|
| WO | 2015108991 | A2 | 23 July 2015 | US | 2016318122 | A1 | 03 November 2016 |
| | | | | WO | 2015108991 | A2 | 23 July 2015 |
| EP | 2596900 | A1 | 29 May 2013 | DE | 102012202060 | A1 | 29 May 2013 |
| | | | | EP | 2596900 | A1 | 29 May 2013 |
| US | 6809291 | B1 | 26 October 2004 | NONE | | | |
| EP | 0481270 | A1 | 22 April 1992 | DE | 4033166 | A1 | 23 April 1992 |
| | | | | EP | 0481270 | A1 | 22 April 1992 |
| | | | | JP | H05131287 | A | 28 May 1993 |
| US | 2006249816 | A1 | 09 November 2006 | NONE | | | |

| | | |
|---|---|--------------------|
| A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. B23K26/36 B23K26/06 B23K26/0622 B23K26/38 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 | WO 2015/108991 A2 (IMRA AMERICA INC [US]) 23. Juli 2015 (2015-07-23) Absätze [0058], [0059], [0061], [0068], [0091], [0112], [0134], [0155]; Ansprüche 1,37; Abbildung 1A ----- | 1-7,9-12 |
| X | EP 2 596 900 A1 (LASER & MED TECH GMBH [DE]) 29. Mai 2013 (2013-05-29) Absätze [0001], [0020] - [0026], [0031], [0041] - [0045], [0050], [0058], [0061], [0068]; Ansprüche 1,11; Abbildungen 2B, 3C ----- -/-- | 1-7,9-12 |
| <input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie | | |
| * Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" 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 | Absenddatum des internationalen Recherchenberichts | |
| 25. Oktober 2019 | 11/11/2019 | |
| 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 Schloth, Patrick | |

| C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN | | |
|---|--|--------------------|
| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile | Betr. Anspruch Nr. |
| X | US 6 809 291 B1 (NEIL GEORGE R [US] ET AL) 26. Oktober 2004 (2004-10-26) Spalte 1, Zeilen 9-16; Ansprüche 1,16,17; Abbildung 1 Spalte 3, Zeilen 18-38 Spalte 4, Zeilen 27-59 ----- | 1-5, 10-12 |
| X | EP 0 481 270 A1 (BERGMANN HANS WILHELM [DE]) 22. April 1992 (1992-04-22) Spalte 1, Zeilen 1-4; Ansprüche 6-8; Abbildung 1 Spalte 2, Zeile 10 - Spalte 4, Zeile 13 ----- | 1-5,8-12 |
| X | US 2006/249816 A1 (LI ERIC J [US] ET AL) 9. November 2006 (2006-11-09) Absätze [0001], [0025], [0026]; Ansprüche 1,14 ----- | 1,2,9,12 |

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2019/073008

| Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument | Datum der Veröffentlichung | Mitglied(er) der Patentfamilie | Datum der Veröffentlichung |
|--|-------------------------------|--|--|
| WO 2015108991 A2 | 23-07-2015 | US 2016318122 A1 WO 2015108991 A2 | 03-11-2016 23-07-2015 |
| EP 2596900 A1 | 29-05-2013 | DE 102012202060 A1 EP 2596900 A1 | 29-05-2013 29-05-2013 |
| US 6809291 B1 | 26-10-2004 | KEINE | |
| EP 0481270 A1 | 22-04-1992 | DE 4033166 A1 EP 0481270 A1 JP H05131287 A | 23-04-1992 22-04-1992 28-05-1993 |
| US 2006249816 A1 | 09-11-2006 | KEINE | |