(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
3. November 2016 (03.11.2016)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2016/174063 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
B23K 26/00 (2014.01) *B23K 26/362* (2014.01)
B23K 26/06 (2006.01) *B23K 26/082* (2014.01)
B23K 26/067 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2016/059360

(22) Internationales Anmeldedatum:
27. April 2016 (27.04.2016)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2015 106 548.7
28. April 2015 (28.04.2015) DE
10 2015 217 523.5
14. September 2015 (14.09.2015) DE

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

(72) Erfinder: **WETZIG, Andreas**; Dorfstraße 11, 01257 Dresden (DE). **KLOTZBACH, Udo**; Pabststraße 5, 01326 Dresden (DE). **PANZNER, Michael**; Steglichstraße 24, 01324 Dresden (DE). **GEHNER, Andreas**; Wolfshügelstraße 28, 01324 Dresden (DE). **DÜRR, Peter**; Baumstraße 9, 01099 Dresden (DE). **MAI, Alexander**; Theresienstraße 20, 01097 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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, 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, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR LOCALLY DEFINED MACHINING ON THE SURFACES OF WORKPIECES USING LASER LIGHT

(54) Bezeichnung : VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR LOKAL DEFINIERTEN BEARBEITUNG AN OBERFLÄCHEN VON WERKSTÜCKEN MITTELS LASERLICHT

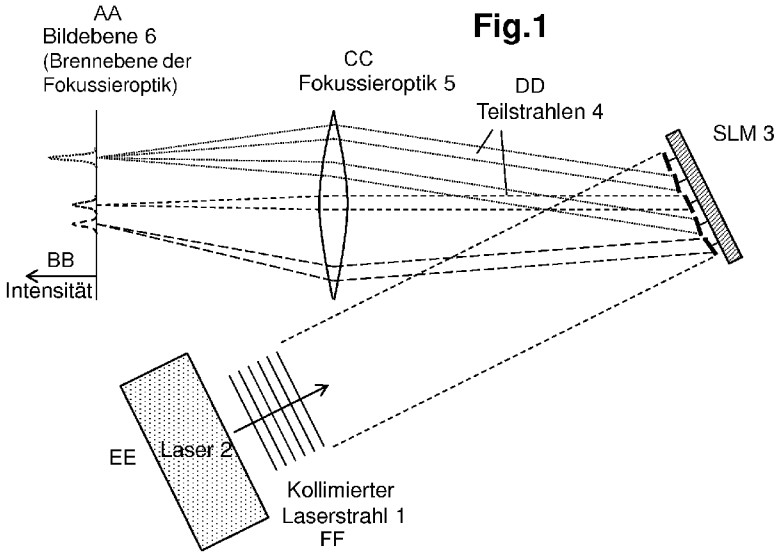


Fig.1

AA Image plane (focal plane of the focusing optic)
BB Intensity
CC Focusing optic 5
DD Partial beams 4
EE Laser 2
FF Collimated laser beam 1

(57) Abstract: The invention relates to a method and a device for locally defined machining on the surfaces of workpieces. A laser beam (1) emitted from a laser beam source (2) is directed onto the reflecting surfaces of a plurality of adjacently arranged micro-mirrors (on SLM 3) which are individually controllable by an electronic controller and can pivot around at least one axis. Partial beams (4), reflected from the reflecting surfaces of the respective defined and pivoted micro-mirrors, impinge in a focused manner on the surface of a workpiece arranged in the focal plane (6) of the focusing optic (5), in various adjustable positions, so that in a region near the surface of the workpiece a locally defined change of the workpiece material and/or a locally defined material removal is simultaneously achieved with a geometry that can be specified beforehand. In the event that a number of partial beams (4) impinge together on the same position in the focal plane (6) of the focusing optic (5), said partial beams (4) interfere incoherently.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2016/174063 A1

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)*

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur lokal definierten Bearbeitung an Oberflächen von Werkstücken. Dabei wird ein von einer Laserstrahlungsquelle (2) emittierter Laserstrahl (1) auf die reflektierenden Oberflächen einer Vielzahl, einzeln mit einer elektronischen Steuerung ansteuerbarer, um mindestens eine Achse verschwenkbarer, nebeneinander angeordneter Mikrospiegel (auf SLM 3) gerichtet. Von den reflektierenden Oberflächen der jeweils definiert verschwenkten Mikrospiegel reflektierte Teilstrahlen (4) treffen fokussiert auf die in der Brennebene (6) der Fokussieroptik (5) angeordnete Oberfläche eines Werkstücks an unterschiedlichen, einstellbaren Positionen auf, so dass in einem oberflächennahen Bereich des Werkstücks gleichzeitig eine lokal definierte Veränderung des Werkstückwerkstoffs und/oder ein lokal definierter Werkstoffabtrag mit vorgebbarer Geometrie erreicht wird. Im Fall, dass mehrere Teilstrahlen (4) gemeinsam auf dieselbe Position in der Brennebene (6) der Fokussieroptik (5) auftreffen, überlagern sich diese Teilstrahlen (4) inkohärent.

Verfahren und Vorrichtung zur lokal definierten Bearbeitung an Oberflächen von Werkstücken mittels Laserlicht

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und Vorrichtung zur lokal definierten Bearbeitung an Oberflächen von Werkstücken mittels Laserlicht. Das Verfahren ist besonders zur Ausbildung von Markierungen, zur Strukturierung, zur Gefügeänderung oder zum Werkstoffabtrag auf Oberflächen von Werkstücken oder ähnliche Strukturen geeignet. Es können dabei an der Oberfläche lokal definiert, infolge einer Werkstoffmodifizierung, z.B. einem Farbumschlag bzw. einer Veränderung des Gefüges oder der Gitterstruktur des Werkstoffs aus dem ein Werkstück oder eine auf der Oberfläche ausgebildete Beschichtung gebildet ist, Muster ausgebildet werden. Ebenso ist eine Ausbildung von Mustern und Strukturen auch durch einen lokal definierten Werkstoffabtrag möglich.

In der Lasermaterialbearbeitung kann grundsätzlich zwischen dem direkten Schreiben (punktförmige Bearbeitung) und einer flächigen Bearbeitung eines

Bauteils unterschieden werden.

Das direkte Schreiben erfolgt in der Regel mittels fokussiertem Laserstrahl und durch die entsprechende Relativbewegung von Laserstrahlbrennfleck und Werkstück. Dabei ist aber ein erhöhter Zeitaufwand erforderlich, da die gesamte Kontur mindestens einmal mit dem Brennfleck eines Laserstrahls abgefahren werden muss.

Bei der Bearbeitung mittels direktem Schreiben wird der Laserstrahl im einfachsten Fall so fokussiert, dass Leistungsdichten im Brennfleck auf der zu bearbeitenden Oberfläche eines Werkstücks erreicht werden, die ausreichend groß sind, um eine entsprechende Materialerwärmung oder einen Materialabtrag zu ermöglichen. Bei vielen Applikationen reicht das jedoch nicht aus, da auf dem Werkstück mit einer über die Gaußform hinaus gehenden Intensitätsverteilung des Strahles geschrieben werden soll. Durch den Einsatz von diffraktiv-optischen Elementen (DOEs) können hier alternative Intensitätsverteilungen im schreibenden Laserstrahl erreicht werden.

Nur für wenige Applikationen des direkt schreibenden Verfahrens existieren derzeit adaptive, schnell steuerbare Strahlformungsmethoden. Um den Energieeintrag über dem Querschnitt des Brennflecks beim Abfahren der auszubildenden Kontur zu beeinflussen, werden beispielsweise Schwingspiegel (Scanner) im Strahlengang eingesetzt, die senkrecht zur eigentlichen Schreibbewegung eine schnelle Verschwenkbewegung (häufig Wobble genannt) überlagern. Die gezielte Ansteuerung dieser Laserstrahlauslenkbewegung erlaubt dabei eine schnelle angepasste Steuerung des Energieeintragsprofils.

Neben der sequentiellen Bearbeitung eines Werkstücks mit dem fokussierten Laserstrahl kann die Bearbeitung auch flächig d.h. parallel erfolgen. Hierfür können prinzipiell zwei Verfahren zur Ausbildung des gewünschten flächigen Musters unterschieden werden. Dies sind a) Maskenprojektionsverfahren und b) eine Mustererzeugung mittels diffraktivem optischen Element (DOE).

Bei der Maskenprojektion a) erfolgt die reale Abbildung der bildgebenden Maske in die eigentliche Bearbeitungsebene des Werkstücks. Bei der

Musterausbildung mittels DOE b) erfolgt Beugung an den phasenschiebenden Strukturen des DOE und die Zerlegung in die jeweiligen Ortsfrequenzen.

Eine Abänderung des Musters bzw. der Intensitätsverteilung auf dem zu bearbeitenden Werkstück, kann sowohl bei Verwendung von DOEs als auch bei der Maskenprojektion nur durch den Austausch des jeweils bildgebenden Elements erfolgen. Viele Prozesse erfordern aber schnelle und flexible Wechsel der Intensitätsprofile bzw. schnelle Konturänderungen. Klassische Beispiele hierfür sind Beschriftungsanwendungen, wo ein ständig schneller Wechsel eines auszubildenden Strukturbildes oder einer definierten Bearbeitungsgeometrie erforderlich ist.

Beim Maskenprojektionsverfahren a) erfolgt die Projektion der bildgebenden Maske in die eigentliche Bearbeitungsebene. Eine durch die Projektion realisierte Verkleinerung der bildgebenden Strukturen ermöglicht in der Bearbeitungsebene sowohl die Ausbildung kleinerer Strukturen als auch die Realisierung höherer Leistungsdichten als auf der eigentlichen Maske. Weit verbreitet ist noch immer der Einsatz von starren Masken aus Glas, Quarz oder Metall für Anwendungen z.B. in der Photolithographie oder der Lasermaterialbearbeitung. Der Nachteil solch starrer Masken ist die fehlende Flexibilität und die Notwendigkeit des Maskenwechsels, um Änderungen des projizierten Musters zu erreichen.

Neben den starren Masken werden seit einiger Zeit auch programmierbare Masken zur flächigen Musterausbildung im so genannten Lichtventilprinzip in verschiedensten Bereichen eingesetzt. Beispiele hierfür sind u.a. die Bildprojektion bei Kinoprojektoren, die DUV-Mikrolithographie, die digitale Druckplattenbelichtung oder der 3D-Druck mittels DLP®. Das hierbei angewendete Lichtventilprinzip beinhaltet, dass die auf das bildgebende Element auftreffende elektromagnetische Strahlung durch pixelweises Ausblenden in ihrer Intensität moduliert wird. Ein Nachteil dieses Prinzips ist der Verlust des zur Kontrasterzeugung ausgeblendeten Teils der auftreffenden elektromagnetischen Strahlung. Besonders bei Anwendungen, die hohe Strahlungsleistungen und einen schnellen Materialdurchsatz erfordern, stellt dieser Verlust der ausgeblendeten Strahlung einen deutlichen Nachteil dar. Es kann so nicht die gesamte zur Verfügung stehende Strahlungsenergie genutzt

werden.

Bei der flächigen Musterausbildung mittels DOE b) wird durch das bildgebende Element eine reine Phasenmodulation in die auftreffende Wellenfront der elektromagnetischen Strahlung eingebracht. Hierbei kommen sowohl starre DOEs in Glas, Quarz oder Kunststoffen als auch programmierbare Elemente zum Einsatz. Solch programmierbare DOEs basieren auf ganz unterschiedlichen Bauformen, wie z.B. auf dem Prinzip von Senkspiegelmatrizen oder auf Flüssigkristallelementen. Bei den Flüssigkristallelementen unterscheidet man zwischen so genannten reflektiven Liquid Crystal on Silicon (LCOS) und transmissiven Liquid Crystal (LC) Mikrodisplays. Bereits realisierte Anwendungen für die programmierbaren DOEs liegen u.a. in der Augenheilkunde, der adaptiven Wellenfrontkorrektur in dynamischen Medien oder auch im Bereich der Lasermaterialbearbeitung. Für die Anwendung dieses Prinzips der Musterausbildung ist der Einsatz von kohärenter Strahlung zwingend erforderlich. Nachteilig beim Einsatz programmierbarer DOEs ist auch, dass hier sehr viele, sehr kleine Pixel benötigt werden, deren Herstellung entsprechend aufwändig ist. Auch werden zu deren Ansteuerung riesige Datenmengen benötigt und ein entsprechend großer Aufwand in der Adresselektronik muss betrieben werden.

Es ist daher Aufgabe der Erfindung, Möglichkeiten für die Laserbearbeitung an Oberflächen von Werkstücken anzugeben, mit denen eine flexible und schnelle Ausbildung unterschiedlicher Muster vollzogen werden kann und dabei eine nahezu vollständige Nutzung der Strahlungsenergie möglich wird.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe mit einem Verfahren, das die Merkmale des Anspruchs 1 aufweist, gelöst. Der Anspruch 14 betrifft eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung können mit in untergeordneten Ansprüchen bezeichneten Merkmalen realisiert werden.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird ein von einer Laserstrahlungsquelle emittierter Laserstrahl auf die reflektierenden Oberflächen einer Vielzahl von einzeln mit einer elektronischen Steuerung

ansteuerbarer, um mindestens eine Achse verschwenkbarer, nebeneinander angeordneter Mikrospiegel gerichtet.

Ausgehend von den reflektierenden Oberflächen der jeweils definiert verschwenkten Mikrospiegel werden reflektierte Teilstrahlen fokussiert auf die in der Brennebene einer Fokussieroptik angeordnete Oberfläche eines Werkstücks gerichtet und treffen an unterschiedlichen, einstellbaren Positionen auf.

Dadurch wird/werden in einem oberflächennahen Bereich des Werkstücks gleichzeitig eine lokal definierte Veränderung des Werkstückwerkstoffs und/oder ein lokal definierter Werkstoffabtrag mit vorgebbarer Geometrie erreicht.

Im Fall, dass mehrere Teilstrahlen gemeinsam auf dieselbe Position in der Brennebene der Fokussieroptik auftreffen, so überlagern sich diese Teilstrahlen inkohärent.

Eine Fokussieroptik sollte in Bezug zur Oberfläche des Werkstücks so angeordnet und ausgebildet sein, dass die fokussierten Teilstrahlen auf die in der Brennebene angeordnete Oberfläche des Werkstücks auftreffen.

Um zu erreichen, dass die Oberfläche des Werkstücks und die Brennebene in derselben Ebene angeordnet sind, kann eine translatorische Bewegung des Werkstücks durchgeführt werden, um den Abstand zwischen der Oberfläche des Werkstücks und der eingesetzten Fokussieroptik entsprechend anzupassen. Allein oder zusätzlich kann auch die Fokussieroptik, ggf. gemeinsam mit den Mikrospiegeln und der Laserstrahlungsquelle entsprechend translatorisch bewegt werden.

Die in den jeweiligen Punkten in das Werkstück eingetragene Energiemenge kann durch die Anzahl der auf den jeweiligen Punkt auftreffenden Teilstrahlen beeinflusst werden.

Eine eingesetzte Fokussieroptik sollte bevorzugt im Strahlengang der Laserstrahlung nach dem Flächenlichtmodulator (SLM) angeordnet sein, so

dass die einzelnen Teilstrahlen fokussiert werden. Es besteht aber auch die Möglichkeit die Fokussieroptik im Strahlengang vor dem SLM zu platzieren. In beiden Fällen stimmen jedoch die Werkstückoberfläche und die Brennebene der Fokussieroptik überein.

Durch die Einstellung der Mikrospiegelschwenkwinkel kann eine freie Positionierung der Teilstrahlen in der Brennebene der Fokussieroptik und somit auf der Oberfläche des jeweiligen Werkstücks erreicht werden. Die Generierung eines einzelnen Bildpunktes innerhalb der Gesamtheit des auszubildenden Musters kann durch gewünschte Platzierung eines einzelnen Teilstrahls bzw. der inkohärenten Überlagerung zweier oder mehrerer Teilstrahlen erreicht werden. Durch entsprechende Ansteuerung kann die Verschwenkung einer oder mehrerer Mikrospiegel sehr schnell verändert oder auch über eine bestimmte Zeit beibehalten werden. Somit können neue Muster sehr schnell realisiert oder wahlwiese auch beibehalten werden, so dass ein hohes Maß an Flexibilität erreichbar ist. Es ist eine freie Steuerung der Intensitätsverteilung eines mittels SLM erzeugten Laserstrahlprofils zur Ausbildung von Mustern möglich.

Es kann vorteilhaft ein Flächenlichtmodulator (SLM) eingesetzt werden, bei dem die Mikrospiegel in einer Reihen- und Spaltenanordnung angeordnet sind.

Durch eine Relativbewegung zwischen SLM und dem jeweiligen Werkstück kann eine Laserbearbeitung der Oberfläche sowohl großflächiger als auch an verschiedenen Positionen des Werkstücks durchgeführt werden.

Eine bei der Erfindung einsetzbare Anordnung von Mikrospiegeln kann als Flächenlichtmodulator oder auch als Mikrospiegel-SLM, eine Untergruppe der sog. MOEMS (Micro-Opto-Electro-Mechanical-System) bezeichnet werden. Die einzelnen Mikrospiegel sind dabei über Torsions- und/oder Biegefedern an einem Rahmen befestigt und können mittels Elektroden, die bevorzugt unterhalb der einzelnen Mikrospiegel angeordnet sein sollten, verschwenkt werden. Durch gezielte Ansteuerung der Elektroden können die einzelnen Spiegel wahlweise um eine oder zwei Achsen, welche parallel zur reflektierenden Oberfläche angeordnet sind, verschwenkt werden. Somit

kann ein Teil des auf den SLM auftreffenden Laserlichts von der entsprechend in einem Winkel verschwenkten reflektierenden Oberfläche als Teilstrahl mit einem bestimmten Winkel reflektiert werden. Die von verschiedenen Mikrospiegeln reflektierten Teilstrahlen können somit in unterschiedlichen Winkeln in Richtung der zu bearbeitenden Oberfläche eines Werkstücks gelenkt werden.

Neben der Verschwenkung ist auch eine überlagerte translatorische Auslenkung der Mikrospiegel mit ihren reflektierenden Oberflächen möglich. Dies kann durch gleichzeitige Ansteuerung mehrerer Elektroden mit derselben elektrischen Spannung erreicht werden. Eine solche Absenkung einzelner oder mehrerer Mikrospiegel hat aber keinen wesentlichen Einfluss auf das hier beschriebene Verfahren, da die Teilstrahlen jeweils inkohärent zueinander sind. Es ist dadurch im Wesentlichen nur eine Veränderung der Phasenlage erreichbar.

Vorteilhaft können die von den reflektierenden Oberflächen der Mikrospiegel reflektierten Teilstrahlen durch ein Planfeld- oder F-Theta Objektiv in einfacher oder telezentrischer Auslegung hindurch auf eine Oberfläche des jeweiligen Werkstücks in fokussierter Form gerichtet sein. Das Ziel ist die Erzeugung möglichst beugungsbegrenzter Bildpunkte. Es können aber auch andere fokussierende Elemente beispielsweise Mikroskopobjektive oder Einzellinsen in der Ausführung als Bikonvexlinse, Plankonvexlinse, Linse bester Form oder Asphäre eingesetzt werden.

Bei der Erfindung ist es besonders vorteilhaft, wenn der Laserstrahl auf die reflektierenden Oberflächen aller Mikrospiegel auftrifft und die Teilstrahlen, die von allen Mikrospiegeln reflektiert werden, gleichzeitig zur lokal definierten Laserbearbeitung auf die Oberfläche des jeweiligen Werkstücks auftreffen.

Die Mikrospiegel sollten möglichst so verschwenkt werden, dass keine Interferenz von Teilstrahlen an der zu bearbeitenden Oberfläche des jeweiligen Werkstücks auftritt.

Als Laserstrahlungsquelle können beliebige Laser der Materialbearbeitung wie

z.B. Ultrakurzpulslaser, gepulste Nd:YAG-Laser, gepulste Faserlaser, gepulste CO2-Laser, CO2-TEA-Laser oder Excimerlaser eingesetzt werden.

Der Laserstrahl sollte möglichst parallel mit geringer Divergenz auf die reflektierenden Oberflächen der Mikrospiegel auftreffen. Dafür kann mindestens ein geeignetes strahlformendes Element eingesetzt werden.

Durch den Einsatz von Flächenlichtmodulatoren kann die Wellenfront fokussierter Laserstrahlung adaptiv so geändert werden, dass sekundär auftretende Wellenfrontänderungen infolge der Beeinflussung der Optik durch den Laserstrahl selbst, die insbesondere zu Brennweitenänderungen führen, korrigiert werden können.

Die Erfindung betrifft also prinzipiell den Einsatz eines mikrospiegelbasierten Flächenlichtmodulators (SLM) als programmierbares bildgebendes Element zur Musterausbildung, Strahlformung und Strahlpositionierung für Anwendungen im Bereich der Lasermaterialbearbeitung.

Im Gegensatz zu früheren Ansätzen geht die vorliegende Erfindung davon aus, dass auszubildende Markierungen oder Muster direkt nach Durchlauf der Laserstrahlung durch eine Fokussieroptik in deren Brennebene auf der Oberfläche eines Werkstücks mit der durch die elektronische Steuerung vorgebbaren Geometrie ausgebildet werden. Hierfür werden durch gezielte Verschwenkung aller Mikrospiegel der Anordnung, auf die ein Laserstrahl auftrifft, Bündel von Teilstrahlen generiert, die mit unterschiedlichen Winkeln auf eine dem SLM nachgelagerte Fokussieroptik auftreffen. Die Lage der Bildpunkte in der Brennebene der Fokussieroptik hängt bei entsprechend inkohärentem Licht und idealisierten optischen Strahlengängen, entsprechend der geometrischen Optik, nur vom Tangens des Winkels, mit dem die Teilstrahlen auf den reflektierenden Oberflächen der Mikrospiegel reflektiert werden, multipliziert mit der Brennweite der Fokussieroptik ab. Mit Spezialobjektiven, sogenannten F-Theta Objektiven ist sogar eine lineare Abhängigkeit vom Winkel erreichbar. Auf diesem Weg lässt sich in der Brennebene eine freie Pixelgrafik ausbilden. Die Intensität bzw. Leistungsdichte in einem Bildpunkt, also eines Teilstrahls an einer bestimmten Position, hängt dabei von der Anzahl der entsprechend gleich ausgelenkten

Mikrospiegel ab.

In der Fokalebene können gewünschte Laserstrahlintensitätsverteilung erreicht werden mit denen spezielle Formen des Abtrags, der Materialbeeinflussung oder der Markierung erfolgen kann. Es ist ein lokal differenzierter Energieeintrag in die Werkstückoberfläche möglich, der beispielsweise zu einem lokal definiertem Werkstoffabtrag oder einer Modifizierung des Werkstoffs führt. Es kann daher beispielsweise mit einem kastenförmigen Intensitätsprofil durch Relativbewegung von Laserstrahl und Werkstück ein Graben mit rechteckigem Profil ausgebildet werden.

Die sogenannte beam-steering Technologie mit Flächenlichtmodulator erlaubt eine schnelle und flexible Möglichkeit der Markierungs- bzw. Musterausbildung, Strahlformung und Strahlpositionierung innerhalb eines definierten Bildfelds. Ein möglicher Einsatz liegt in nahezu allen Gebieten der Lasermaterialbearbeitung, sowohl bei flächenhafter Strukturierung als auch beim direkten Schreiben mit fokussiertem Einzelstrahl.

Der SLM kann hierbei als programmierbares bildgebendes Element fungieren. Jeglicher Wechsel des bildgebenden Elements entfällt. Somit können Änderungen an Markierungen oder Mustern, Strahlprofil oder -position sehr schnell und flexibel durch eine Steuerung des Schwenkwinkels eines oder mehrerer Mikrospiegel realisiert werden.

Durch die Anwendung eines neuen Abbildungsprinzips werden Energieverluste vermieden. Es erfolgt keine teilweise Ausblendung der elektromagnetischen Strahlung des auftreffenden Laserlichts zur Ausbildung der gewünschten Strukturen, wie beim bisher üblichen Lichtventilprinzip. Die gesamte vom SLM, also den Mikrospiegeln reflektierte Leistung der eingesetzten Laserstrahlung kann zur Bearbeitung des Werkstücks genutzt werden. Die Musterausbildung kann direkt in der Brennebene der Fokussieroptik erfolgen. Dadurch kann die Anzahl der notwendigen optischen Elemente, die im Strahlengang des Laserstrahls angeordnet werden müssen, verringert werden.

Die beam-steering-Technologie mit SLM ermöglicht die Modulation der

Intensität in der Bearbeitungsebene. Hieraus ergeben sich mögliche Einsätze in nahezu allen Gebieten der Lasermaterialbearbeitung. Durch den lokal definierten Energieeintrag kann eine Markierung mit der jeweils vorgegebenen Geometrie durch Phasen- oder Gefügeumwandlung, wie auch durch Farbänderung des jeweiligen bearbeiteten Werkstoffs erreicht werden. Ebenso ist eine Direktstrukturierung durch den Abtrag von Werkstückwerkstoff möglich. Hierbei sollte der Werkstoffabtrag möglichst vollständig durch Ablation erreicht werden. Darüber hinaus können auch flexible Belichtungsvorgänge z.B. von Fotolacken realisiert werden.

Die flexible und schnelle Modulation der Intensität kann sehr vorteilhaft für eine flächenhafte Strukturierung angewendet werden. Der SLM fungiert als programmierbares bildgebendes Element und besitzt das Potential starre Masken und DOEs bisher etablierter Verfahren zu ersetzen. Interessante Anwendungen liegen z.B. bei Aufgaben der Mikrostrukturierung oder Beschriftung, die einen schnellen Musterwechsel erfordern. Denkbar sind die Beschriftung von Kabelummantelungen oder Verpackungsmitteln mit laufenden Nummern, Zeit- oder Datumsangaben. Neben der flächigen Strukturierung erhält auch der Volumenabtrag neue Realisierungsmöglichkeiten. Mittels Anpassung von Stahlprofil oder Bearbeitungsmuster in verschiedenen Ebenen können 2D- und 3D-Strukturen (allerdings nur ohne Hinterschneidungen) realisiert werden.

Im Bereich des direkten Schreibens ermöglicht die Technologie eine freie Formung und Positionierung des Strahlprofils und somit eine Steuerung des eingetragenen Temperaturprofils.

Nachfolgend soll die Erfindung beispielhaft erläutert werden.

Dabei zeigt:

Figur 1 in schematischer Form ein Beispiel einer Anordnung, die bei der Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens eingesetzt werden kann. In der hier gezeigten Variante ist die Fokussieroptik 5 zwischen dem SLM 3 und der Bildebene (Brennebene der Fokussieroptik) 6 angeordnet.

Dabei wird ein kollimierter Laserstrahl 1 von einer Laserstrahlungsquelle 2 auf einen Flächenlichtmodulator (SLM) 3 gerichtet. Der SLM 3 stellt eine flächige Anordnung vieler Mikrospiegel dar. Die Mikrospiegel sind bei diesem Beispiel jeweils um zwei senkrecht zueinander ausgerichtete Achsen einzeln und unabhängig voneinander verschwenkbar.

Die von den einzelnen reflektierenden Oberflächen aller Mikrospiegel reflektierten Teilstrahlen 4 (hier sind der Übersichtlichkeit halber nur einige wenige dargestellt) treffen auf die Fokussieroptik 5, welche in diesem Beispiel durch eine einfache fokussierende Linse angedeutet ist. Die Teilstrahlen 4 werden dabei auf die Oberfläche eines Werkstücks gerichtet, die hier mit der Brennebene der Fokussieroptik 6 angedeutet ist. Die Oberfläche des Werkstücks und die Brennebene der Fokussieroptik 6 sind in derselben Ebene angeordnet.

Jeder einzelne Mikrospiegel ist so verschwenkt, dass sein Teilstrahl 4 auf eine vorgegebene Position auftrifft. Teilstrahlen 4, die mit gleichem Winkel vom SLM 3 reflektiert werden und auf einen gemeinsamen Punkt in der Bildebene auftreffen, sollen sich inkohärent überlagern. Dabei treffen alle Teilstrahlen 4 gleichzeitig lokal definiert auf die jeweilige Oberfläche auf, so dass eine vorgegebene Abbildung einer bestimmten, durch die nicht dargestellte elektronische Steuerung, vorgebbaren Geometrie erreicht wird.

Die Laserstrahlungsquelle 2 kann gepulst und mit je nach Art der gewünschten Bearbeitung und unter Berücksichtigung des jeweiligen Werkstoffs eines Werkzeugs oder einer darauf ausgebildeten Beschichtung geeigneten Leistung sowie Wellenlänge betrieben werden.

Figur 2 in schematischer Form ein Beispiel einer Anordnung, die bei der Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens eingesetzt werden kann. In der hier gezeigten Variante ist die Fokussieroptik 5 zwischen der Laserstrahlungsquelle 2 und dem SLM 3 angeordnet.

Patentansprüche

1. Verfahren zur lokal definierten Bearbeitung an Oberflächen von Werkstücken, bei dem
ein von einer Laserstrahlungsquelle (2) emittierter Laserstrahl (1) auf die reflektierenden Oberflächen einer Vielzahl, einzeln mit einer elektronischen Steuerung ansteuerbarer, um mindestens eine Achse verschwenkbarer, nebeneinander angeordneter Mikrospiegel gerichtet wird und

von den reflektierenden Oberflächen der jeweils definiert verschwenkten Mikrospiegel reflektierte Teilstrahlen (4) fokussiert auf die in der Brennebene (6) der Fokussieroptik (5) angeordnete Oberfläche eines Werkstücks an unterschiedlichen, einstellbaren Positionen auftreffen, so dass

in einem oberflächennahen Bereich des Werkstücks gleichzeitig eine lokal definierte Veränderung des Werkstückwerkstoffs und/oder ein lokal definierter Werkstoffabtrag mit vorgebbarer Geometrie erreicht wird;

wobei im Fall, dass mehrere Teilstrahlen (4) gemeinsam auf dieselbe Position in der Brennebene (6) der Fokussieroptik (5) auftreffen, sich diese Teilstrahlen (4) inkohärent überlagern.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein Flächenlichtmodulator (SLM) (3), bei dem die Mikrospiegel in einer Reihen- und Spaltenordnung angeordnet sind, eingesetzt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Mikrospiegel und das Werkstück relativ zueinander bewegt werden.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Laserstrahl (1) auf die reflektierenden Oberflächen aller Mikrospiegel auftrifft und die Teilstrahlen (4), die von allen Mikrospiegeln reflektiert werden, gleichzeitig zur lokal definierten Laserbearbeitung auf die Oberfläche des jeweiligen Werkstücks auftreffen.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Mikrospiegel so verschwenkt werden, dass Teilstrahlen (4), die in der Brennebene (6) der Fokussieroptik (5) aufeinander treffen, dabei nicht interferieren sondern sich inkohärent überlagern.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Fokussieroptik (5) zwischen dem Flächenlichtmodulator (3) und der Oberfläche des Werkstücks angeordnet wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Fokussieroptik (5) zwischen Laserstrahlungsquelle (2) und Flächenlichtmodulator (3) angeordnet wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als Fokussieroptik (5) Einzellinsen in der Ausführung als Bikonvexlinse, Plankonvexlinse, Linse bester Form oder Asphäre oder Objektive in der Ausführung als Mikroskopobjektiv, Planfeldobjektiv oder F-Theta-Objektiv in einfacher oder telezentrischer Auslegung eingesetzt werden.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als Laserstrahlungsquelle (2) Ultrakurzpulslaser, gepulste Nd:YAG-Laser, gepulste Faserlaser, gepulste CO2-Laser, CO2-TEA-Laser oder Excimerlaser eingesetzt werden.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mit der lokal definierten Laserbearbeitung jeweils mindestens eine Markierung als Muster ausgebildet wird.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass durch Einsatz von Flächenlichtmodulatoren (3) die Wellenfront fokussierter Laserstrahlung adaptiv so geändert wird, dass sekundär auftretende Wellenfrontänderungen infolge der Beeinflussung der Optik durch den Laserstrahl selbst, die insbesondere zu Brennweitenänderungen führen, korrigiert werden.

12. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein von einer Laserstrahlungsquelle (2) emittierter Laserstrahl (1) auf mehrere nebeneinander angeordnete Mikrospiegel, die um mindestens eine Achse verschwenkbar sind, gerichtet ist, und
von Mikrospiegeln reflektierte Teilstrahlen (4) auf unterschiedliche Positionen der Oberfläche fokussiert auftreffen; wobei

im Strahlengang der Laserstrahlung eine Fokussieroptik (5) so angeordnet und ausgebildet ist, dass die fokussierten Teilstrahlen (4) auf die in der Brennebene (6) angeordnete Oberfläche des Werkstücks auftreffen und

im Fall, dass mehrere Teilstrahlen (4) gemeinsam auf dieselbe Position auftreffen, sich diese Teilstrahlen (4) inkohärent überlagern.

Fig.1

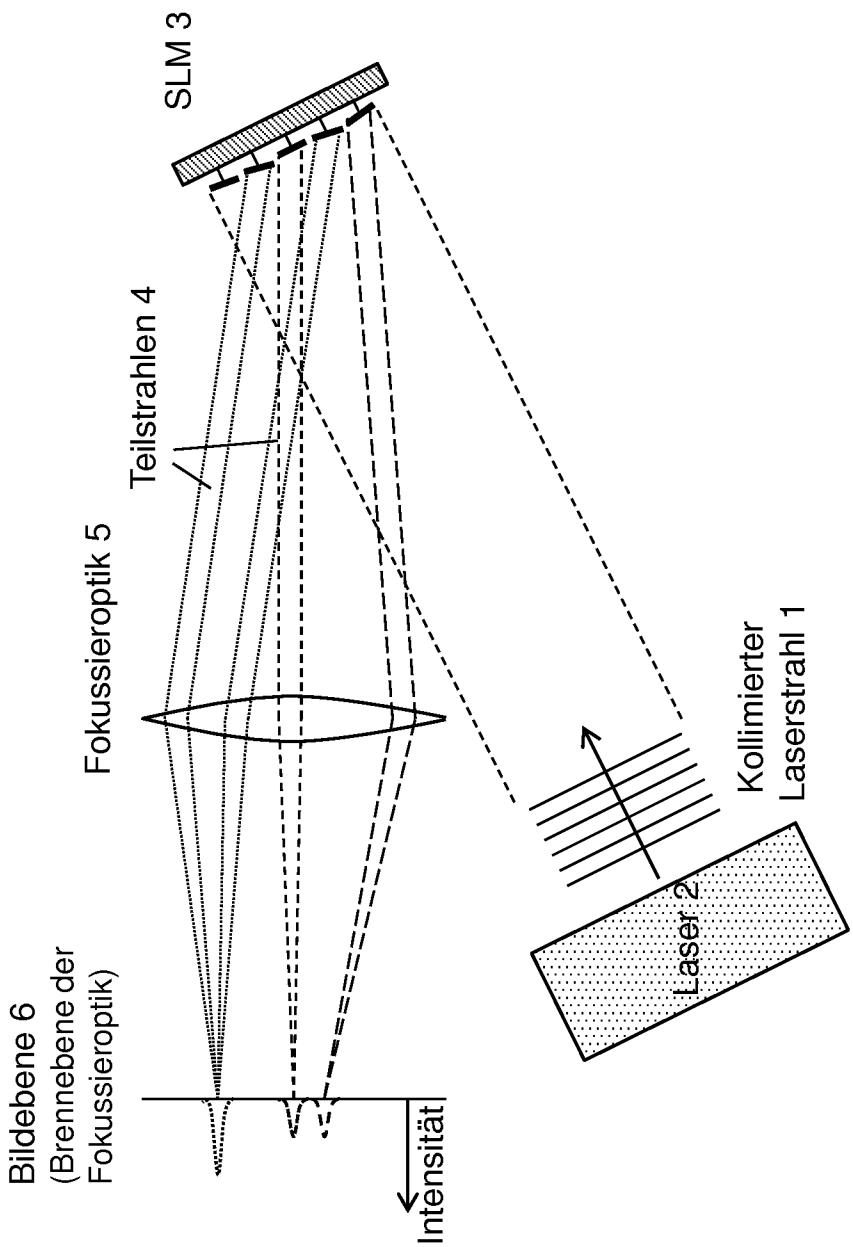
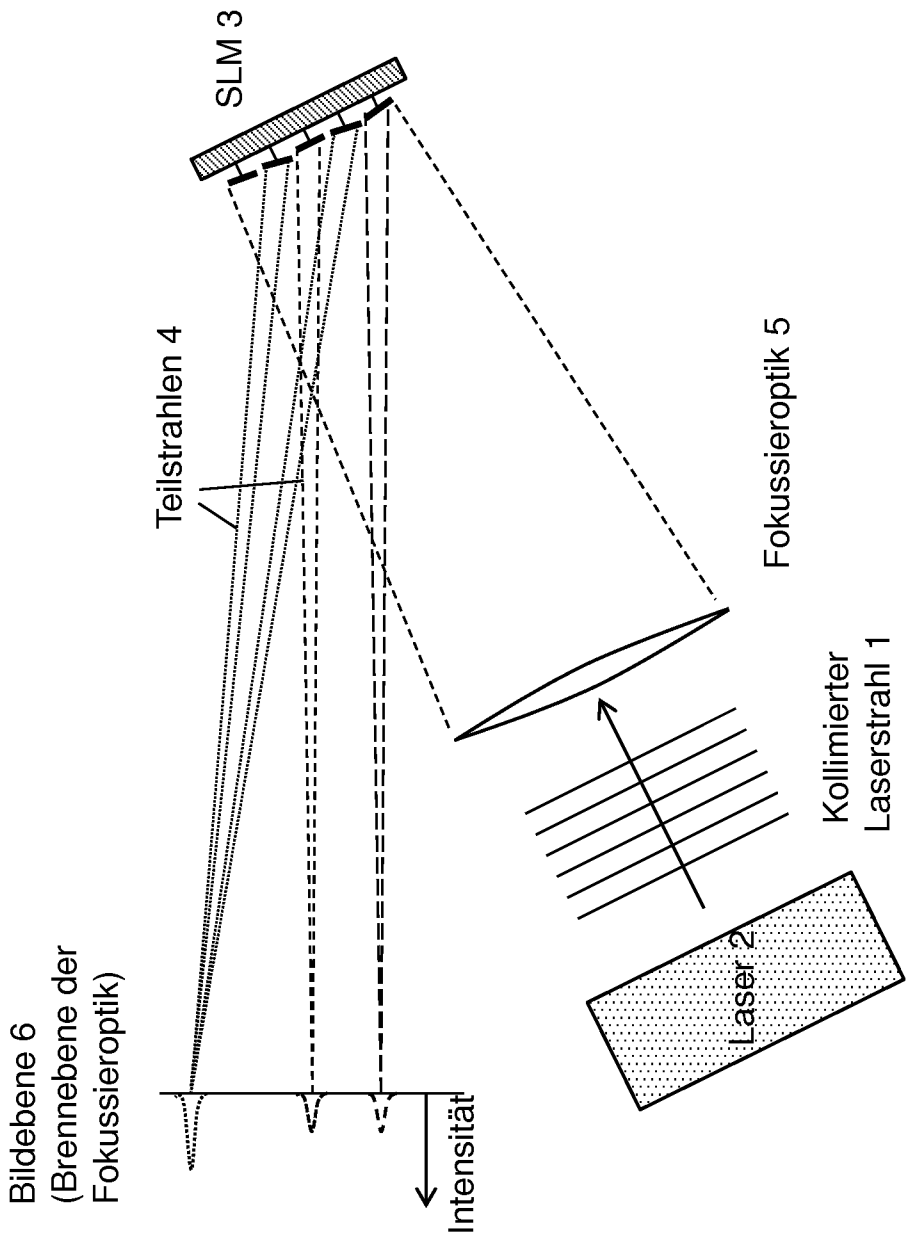

SLM 3
Teilstrahlen 4
Fokussieroptik 5
Kollimierter Laserstrahl 1
Laser 2
Bildebene 6 (Brennebene der Fokussieroptik)
Intensität

Fig. 2


SLM 3
Teilstrahlen 4
Fokussieroptik 5
Kollimierter Laserstrahl 1
Laser 2
Bildebene 6 (Brennebene der Fokussieroptik)
Intensität

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2016/059360

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. B23K26/00 B23K26/06 B23K26/067 B23K26/362 B23K26/082
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

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 Y	US 2011/240611 A1 (T. SANDSTROEM) 6 October 2011 (2011-10-06) paragraphs [0055], [0065], [0071]; figures	1-6,8-12 7
X Y	US 6 037 564 A (A. TATAH) 14 March 2000 (2000-03-14) column 3, lines 1-35; figures	12 7
X	US 6 515 257 B1 (K. JAIN ET AL) 4 February 2003 (2003-02-04) column 9, line 50 - column 10, line 42 column 11, lines 38-64; figures	1,3-5, 7-9,12

☐ 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	Date of mailing of the international search report
22 August 2016	30/08/2016

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Jeggy, Thierry

1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2016/059360

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2011240611 A1	06-10-2011	EP 2542943 A2	09-01-2013
		JP 2013521131 A	10-06-2013
		US 2011240611 A1	06-10-2011
		WO 2011107602 A2	09-09-2011
US 6037564 A	14-03-2000	NONE	
US 6515257 B1	04-02-2003	NONE	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2016/059360

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. B23K26/00 B23K26/06 B23K26/067 B23K26/362 B23K26/082
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	US 2011/240611 A1 (T. SANDSTROEM) 6. Oktober 2011 (2011-10-06)	1-6,8-12
Y	Absätze [0055], [0065], [0071]; Abbildungen	7

X	US 6 037 564 A (A. TATAH) 14. März 2000 (2000-03-14)	12
Y	Spalte 3, Zeilen 1-35; Abbildungen	7

X	US 6 515 257 B1 (K. JAIN ET AL) 4. Februar 2003 (2003-02-04) Spalte 9, Zeile 50 - Spalte 10, Zeile 42 Spalte 11, Zeilen 38-64; Abbildungen	1,3-5, 7-9,12

☐ 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 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	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
22. August 2016	30/08/2016

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

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2016/059360

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2011240611 A1	06-10-2011	EP 2542943 A2	09-01-2013
		JP 2013521131 A	10-06-2013
		US 2011240611 A1	06-10-2011
		WO 2011107602 A2	09-09-2011
US 6037564 A	14-03-2000	KEINE	
US 6515257 B1	04-02-2003	KEINE	