

(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
16. Oktober 2014 (16.10.2014)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2014/167468 A1

- (51) **Internationale Patentklassifikation:**
C23C 4/02 (2006.01) C23C 4/12 (2006.01)
- (21) **Internationales Aktenzeichen:** PCT/IB2014/060422
- (22) **Internationales Anmeldedatum:**
4. April 2014 (04.04.2014)
- (25) **Einreichungssprache:** Deutsch
- (26) **Veröffentlichungssprache:** Deutsch
- (30) **Angaben zur Priorität:**
102013103693.7 12. April 2013 (12.04.2013) DE
- (71) **Anmelder:** MASCHINENFABRIK REINHAUSEN GMBH [DE/DE]; Falkensteiner Strasse 8, 93057 Regensburg (DE).
- (72) **Erfinder:** NETTESHEIM, Stefan; Kadettenweg 51, 12205 Berlin (DE). KORZEC, Dariusz; Mozartstraße 27, 93173 Wenzelnbach (DE).
- (74) **Anwalt:** MEISTER, Matthias; Reichert & Kollegen, Bismarckplatz 8, 93047 Regensburg (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, 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, LT, 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, 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)

(54) **Title:** METHOD AND DEVICE FOR CONSTRUCTING A STRUCTURE ON A SUBSTRATE

(54) **Bezeichnung:** VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM AUFBAU EINER STRUKTUR AUF EINEM SUBSTRAT

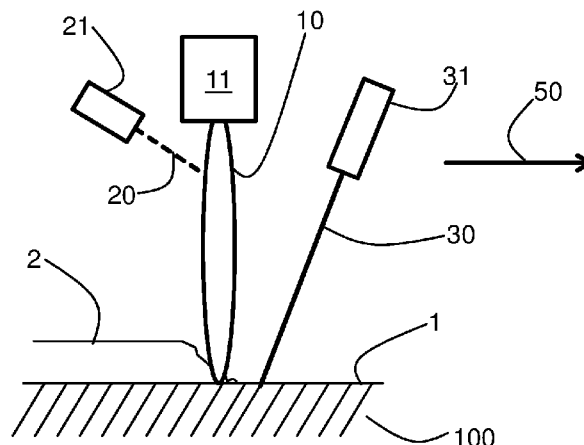


Fig. 1

(57) **Abstract:** The invention relates to a method for constructing at least one structure (2) on a substrate (100). By means of a low-temperature plasma jet (10), powder (20), of which the structure (2) shall be constructed, is applied to a surface (1) of the substrate (100). By means of at least one laser beam (30), heat is input into the substrate (100) and/or the powder (20) within a laser incidence region (35) on the substrate (100). The heat input delays solidification of the powder particles, which are partly or fully melted in the plasma jet (10), on the substrate (100) and thereby enables the formation of good adhesion between the applied powder (20), and thus the structure (2) constructed thereof, and the substrate (100). The invention further relates to a device (300) for performing the method.

(57) **Zusammenfassung:**

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2014/167468 A1



Es ist ein Verfahren zum Aufbau mindestens einer Struktur (2) auf einem Substrat (100) offenbart. Durch einen Niedertemperatur-Plasmajet (10) wird Pulver (20), aus welchem die Struktur (2) aufgebaut werden soll, auf eine Oberfläche (1) des Substrats (100) aufgebracht. Durch mindestens einen Laserstrahl (30) erfolgt ein Wärmeeintrag in das Substrat (100) und / oder das Pulver (20) innerhalb eines Laserauftreffbereichs (35) auf dem Substrat (100). Der Wärmeeintrag verzögert ein Erstarren der im Plasmajet (10) angeschmolzenen oder aufgeschmolzenen Pulverpartikel auf dem Substrat (100) und ermöglicht dadurch die Ausbildung einer guten Haftung zwischen dem aufgetragenen Pulver (20), und damit der daraus aufgebauten Struktur (2), und dem Substrat (100). Es ist ferner eine Vorrichtung (300) zur Durchführung des Verfahrens offenbart.

Verfahren und Vorrichtung zum Aufbau einer Struktur auf einem Substrat

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Aufbau mindestens einer Struktur auf einer
5 Oberfläche eines Substrats. Die Struktur wird aus einem Pulver als eine Schicht
aufgebaut.

Ferner betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zum Aufbau mindestens einer Struktur
auf einer Oberfläche eines Substrats. Im Besonderen ist ein Bearbeitungskopf mit
einer Düse vorgesehen, der zur Formung eines Niedertemperatur-Plasmajets dient.
10 Eine Pulverzuführung dient zur Zuführung eines Pulvers in den Niedertemperatur-
Plasmajet oder in das Plasma zur Bildung des Niedertemperatur-Plasmajets.

Zur Beschichtung von Oberflächen von Substraten ist beispielsweise ein
Niedertemperaturplasmaspritzverfahren, „PlasmaDust“, der Firma Reinhausen
Plasma bekannt. Dabei wird ein Pulver einem Niedertemperatur-Plasmajet zugeführt,
15 in diesem Plasmajet angeschmolzen und chemisch aktiviert, und durch den
Plasmajet auf eine zu beschichtende Oberfläche eines Substrats aufgebracht.

Ohne eine Maske lassen sich mit dieser Technik für die aufgebrachte Schicht nur
Linienbreiten nicht unter etwa 1 Millimeter erreichen. Dabei sind die Kanten der
Linien nicht sonderlich scharf ausgeprägt, was durch das inhomogene, einer
20 Gaussverteilung ähnelnde Dichteprofil des Plasmajets verursacht ist. Die
Verwendung von Masken ist aufwändig und entsprechend kostenintensiv.
Insbesondere müssen für jede gewünschte Form der Schicht entsprechende Masken
bereitgestellt werden, auch wenn die Stückzahl der zu beschichtenden Substrate
gering ist.

25 Aus der DE 10 2008 001 580 A1 ist bekannt, das Material für eine Schicht als eine
Dispersion von Nanopartikeln auf eine Oberfläche eines Substrats aufzubringen. Die
derart aufgebrachten Nanopartikel werden mittels eines CO₂-Lasers thermisch
nachbehandelt, um eine gewünschte elektrische Leitfähigkeit und Transparenz der
Schicht zu erhalten. Nicht thermisch nachbehandelte Bereiche der Schicht lassen
30 sich einfach von der Oberfläche des Substrats entfernen, während die thermisch

nachbehandelten Bereiche der Schicht gut haften bleiben, vgl. etwa Zieris R et al., 2003, Characterization of coatings deposited by laser-assisted atmospheric plasma, Materials Park, Ohio: ASM International, pp. 567-572, ISBN: 0-87170-785-3.

5 Für eine derartige thermische Nachbehandlung sind hohe Laserleistungen erforderlich, was zur Zerstörung thermisch sensibler Substrate führen kann.

Aus der RU 2010 120 868 ist es bekannt, den mit Pulver versetzten Plasmastrahl innerhalb der Plasmadüse mit Laserlicht zu beleuchten, um eine bessere Aufschmelzung des Pulvers zu erreichen. Da das Pulver nach der Laserbestrahlung die Düse durchströmt, trägt die Laserbestrahlung hier nicht zur Ausbildung feinerer
10 Strukturen bei.

Aus der DE 10 2007 011 235 A1 ist es bekannt, simultan mit einem Laserstrahl und einem Plasmajet auf eine Oberfläche einzuwirken. Dabei dienen sowohl der Laserstrahl als auch der Plasmajet der Reinigung der Oberfläche. Eine Beschichtung der Oberfläche durch den Plasmajet, insbesondere unter Mitwirkung des
15 Laserstrahls, ist dabei nicht erwähnt.

Die EP 0 903 423 A2, und ähnlich die DE 197 40 205 B4, beschreiben ein Verfahren zum Aufbringen einer Schicht mittels Plasmaspritzens. Dabei wird mindestens ein kontinuierlicher Laserstrahl durch den Spritzstrahl mit vorgegebener Wechselwirkungszeit direkt auf die Oberfläche des Substrats oder die Oberfläche
20 einer bereits dort aufgebrachtten Schicht gerichtet, und schmilzt diese an. Bei dem Verfahren handelt es sich durchweg um ein Hochtemperaturverfahren unter Einsatz eines Plasmabrenners, das auf die Verarbeitung von Materialien mit Schmelztemperaturen etwa im Bereich 1500 – 2000 °C gerichtet ist. Der Laserstrahl trifft dabei innerhalb des Auftreffbereichs des Spritzstrahls auf die
25 Substratoberfläche.

Die DE 199 41 563 A1 und die DE 199 41 564 A1 beschreiben jeweils ein Plasmabeschichtungsverfahren unter Einsatz eines Plasmabrenners zusammen mit einem Laser. Durch einen Laserstrahl wird die zu beschichtende Oberfläche lokal aufgeschmolzen, ein Plasmastrahl eilt dem Laserstrahl nach und trägt den im
30 Plasma enthaltenen Beschichtungswerkstoff in die Schmelze. Alternativ kann das

Aufschmelzen mit dem Laserstrahl auch nach dem Auftragen des Beschichtungswerkstoffes mit dem Plasmastrahl erfolgen.

Ein Überblick über die Kombination aus der Verwendung eines Lasers mit Plasmaspritzverfahren findet sich in S. E. Nielsen, „Laser fusing – combining laser
5 and plasma spraying techniques for surface improvements“.

Es ist Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren bereitzustellen, mit dem eine Struktur auf einer Oberfläche eines Substrats einfach und kostengünstig aufgebaut werden kann. Dabei sollen auch Strukturen möglich sein, deren typische Abmessungen deutlich unterhalb von 1 Millimeter liegen.

10 Die Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren gemäß Anspruch 1.

Es ist eine weitere Aufgabe der Erfindung, eine Vorrichtung bereitzustellen, mit der eine Struktur auf der Oberfläche eines Substrats einfach und kostengünstig aufgebaut werden kann. Dabei sollen auch Strukturen möglich sein, deren typische Abmessungen deutlich unterhalb von 1 Millimeter liegen.

15 Diese Aufgabe wird gelöst durch eine Vorrichtung gemäß Anspruch 9.

Im Plasma liegen die Pulverpartikel in angeschmolzenem oder aufgeschmolzenem Zustand, im letzteren Fall also als Tröpfchen, vor. Damit sich eine hinreichende Haftung zwischen einem solchen Pulverpartikel und einer Oberfläche des Substrats ausbilden kann, ist es erforderlich, dass sich Material des Pulverpartikels auf der
20 Oberfläche verteilt; eine Vergrößerung der Kontaktfläche zwischen dem Material des Pulverpartikels und der Oberfläche des Substrats verbessert nämlich die Haftung des Pulverpartikels an dem Substrat. Damit eine solche Verteilung von Material des Pulverpartikels auf der Oberfläche des Substrats möglich ist, muss der Pulverpartikel nach dem Auftreffen auf der Oberfläche über eine hinreichende Zeit in dem
25 angeschmolzenen oder aufgeschmolzenen Zustand verbleiben, so dass Material des Pulverpartikels auf der Oberfläche auseinanderfließen kann.

Ist die Oberfläche des Substrats zu kalt, hier spielen zumindest Wärmeleitfähigkeiten des Substrats und des geschmolzenen Pulvermaterials, eine Temperaturdifferenz zwischen Pulverpartikel und Substrat, der Wärmeübergang zwischen Substrat und
30 geschmolzenem Pulvermaterial, die Schmelztemperatur des Pulvers sowie eine

Wärmekapazität des Pulverpartikelseine Rolle, so erstarrt das geschmolzene Material des Pulverpartikels zu rasch, so dass ein ausreichendes Auseinanderfließen dieses Materials nicht möglich ist.

Die grundsätzliche Idee der Erfindung besteht darin, durch mindestens einen
5 Laserstrahl einen gezielten Wärmeeintrag in die Oberfläche des Substrats oder in das auf die Oberfläche des Substrats aufgebrachte Pulver zu bewirken, so dass eine Erstarrung des aufgeschmolzenen Materials von Pulverpartikeln auf der Oberfläche hinausgezögert wird. Gezielter Wärmeeintrag bedeutet hierbei, dass nur ein, gegebenenfalls räumlich eng begrenzter, definierter Bereich der Oberfläche des
10 Substrats, der zum Aufbau der Struktur beschichtet werden soll, dem Laserstrahl ausgesetzt wird, und dass die Laserbestrahlung auch zeitlich unmittelbar im Umfeld der Beschichtung erfolgt, so dass eine Beschädigung des Substrats durch eine unnötig lange anhaltende Einwirkung des Lasers auf einen Ort des Substrats ebenso vermieden wird wie ein so großer Abfluss der eingebrachten Wärmemenge aus dem
15 definierten Bereich vor der Beschichtung, dass der Wärmeeintrag nicht mehr die gewünschte Wirkung zeigen kann.

Das Aufbringen des Materials für die Struktur auf die Oberfläche des Substrats, auf der die Struktur durch Beschichtung der Oberfläche aufgebaut werden soll, erfolgt durch einen Plasmajet, dem das Material als Pulver zugesetzt wird. Bei diesem
20 Plasmajet handelt es sich um einen Niedertemperatur-Plasmajet. Die Zuführung des Pulvers zu dem Plasma des Plasmajets kann durch jede dem Fachmann für Plasmaspritzverfahren bekannte Art erfolgen. Das Pulver kann dem Plasma auch bereits zugeführt werden, ehe der Plasmajet ausgebildet wird; auch eine Zuführung des Pulvers zu dem Gas, aus dem das Plasma erzeugt wird, ist denkbar. Zum
25 Aufbringen des Pulvers auf die Oberfläche des Substrats werden der Niedertemperatur-Plasmajet und das Substrat relativ zueinander bewegt, so dass zumindest der definierte Bereich der Oberfläche des Substrats, in welchem die Struktur aufgebaut werden soll, mit dem Pulver beaufschlagt wird.

Zur Erzielungeines gezielten Wärmeeintrags in dedefinierten, zu beschichtenden
30 Bereich der Oberfläche des Substrats, also des definierten Bereichs, auf dem die Struktur aufgebaut werden soll, wird, wie bereits gesagt, mindestens ein Laserstrahl verwendet, der auf das Substrat gerichtet wird. Hierdurch ergibt sich ein

Laserauftreffbereich des mindestens einen Laserstrahls auf dem Substrat; dabei kann das Substrat auch bereits mit Pulver beaufschlagt sein, wobei der Laserstrahl dann primär auf das auf dem Substrat befindliche Pulver trifft. Der Niedertemperatur-Plasmajet trifft in einem Plasmaauftreffbereich auf das Substrat. Zu jedem
5 gegebenen Zeitpunkt ist der Laserauftreffbereich auf dem Substrat derjenige Bereich des Substrats oder des auf dem Substrat aufgebracht Pulvers, der zu diesem Zeitpunkt mit Laserstrahlung beaufschlagt wird. Ein Ort des Substrats oder des auf dem Substrat aufgebracht Pulvers, der zu dem gegebenen Zeitpunkt nicht mit Laserlicht beaufschlagt wird, gehört nicht zum Laserauftreffbereich. Eine analoge
10 Definition gilt für den Plasmaauftreffbereich. Der mindestens eine Laserstrahl wird dabei so auf das Substrat gerichtet, dass zwischen dem Laserauftreffbereich und dem Plasmaauftreffbereich eine definierte Relativposition gegeben ist. Der Laserauftreffbereich liegt stets innerhalb des definierten, zu beschichtenden Bereichs und wird über diesen bewegt. Das Ausmaß des Wärmeeintrags innerhalb des
15 Laserauftreffbereichs kann beispielsweise über die Leistung des Laserstrahls und die Geschwindigkeit, mit der der Laser über die Substratoberfläche geführt wird, beeinflusst werden.

Außerhalb des definierten Bereichs, also dort, wo kein Wärmeeintrag durch den Laser stattgefunden hat, kann sich aus den oben genannten Gründen keine
20 ausreichende Haftung zwischen der Oberfläche des Substrats und den dort durch den Plasmajet aufgebracht Pulverpartikeln ausbilden, so dass diese Pulverpartikel, die außerhalb des definierten Bereichs liegen, leicht von der Oberfläche entfernt werden können. Auf diese Weise können, auch ohne die Verwendung von Masken, Strukturen geringer typischer Größenskalen, durchaus bis hinab zu 50 Mikrometern
25 erzeugt werden. Ein Beispiel für eine typische Größenskala ist die Breite einer als Linie aufgebracht Beschichtung. Aufgrund der Ausbildung einer ausreichenden Haftung lediglich innerhalb des definierten Bereichs ergeben sich auch deutlicher ausgeprägte Kanten dieser Linien; die Linien weisen nämlich einen rechteckigen Querschnitt auf, im Gegensatz zum gaussähnlichen Linienprofil, welches bei dem
30 oben genannten PlasmaDust-Verfahren entsteht.

In einer Ausführungsform des Verfahrens ist die definierte Relativposition zwischen dem Laserauftreffbereich und dem Plasmaauftreffbereich derart, dass der

Laserauftreffbereich außerhalb des Plasmaauftreffbereichs liegt und noch nicht mit Pulver beaufschlagt ist. In dieser Ausführungsform treffen die Pulverpartikel in angeschmolzenem oder aufgeschmolzenem Zustand auf die Oberfläche des Substrats. Innerhalb des definierten, zu beschichtenden Bereichs der Oberfläche erfolgte ein Wärmeeintrag durch den Laserstrahl, was eine Temperaturerhöhung des Substrats innerhalb des definierten Bereichs bewirkt, so dass eine Temperaturdifferenz zwischen den Pulverpartikeln und dem Substrat innerhalb des definierten Bereichs vermindert wird. Dadurch reduziert sich der Wärmeabfluss von den Pulverpartikeln auf das Substrat, und das Erstarren von geschmolzenem Material der Pulverpartikel wird gegenüber außerhalb des definierten Bereichs aufgetragenen Pulverpartikeln verzögert. Voraussetzung für das Verfahren in dieser Ausführungsform ist offenbar, dass das Substrat das Laserlicht in einem Maße absorbiert, das ausreicht, den erforderlichen Wärmeeintrag in das Substrat zu erzielen.

In einer Weiterbildung dieser Ausführungsform wird der mindestens eine Laserstrahl so geführt, dass er den Niedertemperatur-Plasmajet nicht durchquert. Die Absorptionseigenschaften der Pulverpartikel für das Laserlicht sind in dieser Ausprägung des Verfahrens unerheblich.

In einer anderen Weiterbildung der vorstehend diskutierten Ausführungsform wird der mindestens eine Laserstrahl so geführt, dass er den Niedertemperatur-Plasmajet durchquert. Deshalb kann in dieser Ausprägung des Verfahrens ein zusätzlicher Wärmeeintrag in den Laserstrahl im Plasmajet durchquerende Pulverpartikel erfolgen, soweit diese Pulverpartikel in der Lage sind, das Laserlicht zu absorbieren. Der zusätzliche Wärmeeintrag in die Pulverpartikel trägt zu einer Verzögerung des Erstarrens des geschmolzenen Materials dieser Pulverpartikel nach ihrem Auftreffen auf den definierten Bereich der Oberfläche des Substrats bei.

In einer weiteren Ausführungsform überschneidet sich der Laserauftreffbereich mit dem Plasmaauftreffbereich. Je nach Ausprägung liegt der Laserauftreffbereich dabei ganz oder teilweise innerhalb des Plasmaauftreffbereichs. Daher trifft in dieser Ausführungsform zumindest ein Teil der Laserstrahlung innerhalb des Laserauftreffbereichs auf bereits auf die Oberfläche des Substrats aufgetragenes Pulver. Für diese Ausführungsform ist Voraussetzung, dass die Pulverpartikel das

Laserlicht absorbieren, und das Verfahren kann auch dann angewandt werden, wenn das Substrat selbst für das verwendete Laserlicht so weitgehend transparent ist, dass ein hinreichender Wärmeeintrag in einen definierten Bereich der Oberfläche des Substrats durch direkte Absorption von Laserlicht durch das Substrat nicht
5 möglich ist. Das Pulver innerhalb des Laserauftreffbereichs absorbiert die Laserstrahlung. Der dadurch bewirkte Wärmeeintrag in einen Pulverpartikel wirkt dem Wärmeabfluss vom Pulverpartikel an das Substrat entgegen. Somit wird auch in dieser Ausführungsform das Erstarren von geschmolzenem Material des Pulverpartikels gegenüber einem außerhalb des definierten Bereichs aufgebracht
10 Pulverpartikel verzögert.

Ist die relative Lage des Laserauftreffbereiches und des Plasmaaufreffbereiches derart, dass der Laserauftreffbereich teils innerhalb, teils außerhalb des Plasmaaufreffbereiches liegt, wobei ferner der außerhalb des Plasmaaufreffbereiches liegende Teil des Laserauftreffbereichs noch nicht mit Pulver
15 beaufschlagt ist, so ergibt sich eine Wirkung, die als Kombination der Wirkungen der vorstehend beschriebenen Ausführungsformen angesehen werden kann. Einerseits wird durch die Einwirkung des Laserstrahls auf das Substrat selbst eine Temperaturdifferenz zwischen Pulverpartikeln und definiertem, zu beschichtendem Bereich vermindert, andererseits wird durch den auf bereits auf die Oberfläche des
20 Substrats aufgebrachte Pulverpartikel treffenden Teil des Laserstrahls dem Wärmeabfluss von diesen Pulverpartikeln auf das Substrat entgegengewirkt.

Denkbar wäre ferner eine Verwendung von mindestens zwei Laserstrahlen, von denen mindestens einer einen Teil des Laserauftreffbereichs bildet, der gänzlich außerhalb des Plasmaaufreffbereichs liegt, und von denen mindestens einer einen
25 Teil des Laserauftreffbereichs bildet, der gänzlich innerhalb des Plasmaaufreffbereichs liegt. In diesem Fall ist der Laserauftreffbereich also nicht zusammenhängend.

In einer Ausführungsform des Verfahrens ist ein Durchmesser des Laserauftreffbereichs kleiner als ein Durchmesser des Plasmaaufreffbereichs. Da
30 sich Laserstrahlen auf Bereiche kleineren Durchmessers fokussieren lassen als dies bei Plasmajets möglich ist, ist es mit dieser Ausführungsform des Verfahrens möglich, Strukturen mit typischen Größenskalen, z.B. Linien mit einer Breite, deutlich

unterhalb der Größenskalen bzw. Breite zu erzeugen, welche mit einem Plasmajet ohne Maske erzeugt werden können. Mit dieser Ausführungsform des Verfahrens lassen sich durchaus Linienbreiten bis hinab zu 50 Mikrometern erzeugen, während mit dem Plasmajet alleine, ohne Masken, kaum Linienbreiten unter 1 Millimeter
5 möglich sind.

Wie oben gesagt, lässt sich ein Laserstrahl auf einen Bereich kleineren Durchmessers fokussieren als ein Plasmajet. Daher wird beim Aufbau von Strukturen mit entsprechend kleinen Abmessungen, beispielsweise von Linien mit einer Breite kleiner als der Durchmesser des Plasmaaufreffbereichs, durch den Plasmajet
10 zunächst auch Pulver auf Bereiche des Substrats aufgebracht, welche außerhalb des definierten, zu beschichtenden Bereichs liegen, und somit außerhalb der durch die Zusammenwirkung von Laserstrahl und Plasmajet auf dem Substrat aufgebauten Struktur. Nach den einleitenden Ausführungen zur Ausbildung der Haftung der Pulverpartikel auf dem Substrat ergibt sich, dass die außerhalb der Struktur
15 abgeschiedenen Partikel allenfalls schwach an dem Substrat haften. Solche Partikel können leicht von der Oberfläche des Substrats entfernt, z.B. abgeblasen, werden, so dass nur die auf dem Substrat aufgebaute Struktur verbleibt. Mitunter werden die außerhalb des definierten, zu beschichtenden Bereichs aufbrachten Partikel, welche rasch erstarren, auch bereits durch die Gasströmung des Plasmajets selbst
20 weggefegt.

Das Verfahren ist nicht etwa auf planare Substrate beschränkt, sondern kann auf beliebig gestaltete Substrate angewandt werden.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung zum Aufbau mindestens einer Struktur auf einer Oberfläche eines Substrats weist einen Bearbeitungskopf auf, der über eine Düse
25 zur Formung eines Niedertemperatur-Plasmajets verfügt. Zur Erzeugung des Niedertemperatur-Plasmas kann ein bekannter Plasmaerzeuger dienen. Die erfindungsgemäße Vorrichtung umfasst ferner eine Pulverzuführung, mit der das Pulver, aus dem die Struktur aufgebaut werden soll, dem Plasmajet selbst oder dem Plasma, aus welcher der Plasmajet erst gebildet werden soll, oder dem Gas, aus
30 welchem das Plasma generiert werden soll, zuführbar ist. Dem Bearbeitungskopf ist erfindungsgemäß mindestens ein Laser-Emitter zugeordnet. Die Zuordnung ist dabei derart, dass ein Laserstrahl vom Laser-Emitter so auf das Substrat richtbar ist, dass

eine definierte Relativposition zwischen einem Laserauftreffbereich des Laserstrahls auf dem Substrat und einem Plasmaaufreffbereich des Niedertemperatur-Plasmajets auf dem Substrat erzielbar ist. Beispielsweise kann der Laser-Emitter so am Bearbeitungskopf montiert sein, dass der Laserstrahl in einem definierten Winkel zur Mittelachse des Plasmajets emittiert wird, woraus sich eine definierte Relativposition zwischen dem Laserauftreffbereich und dem Plasmaaufreffbereich ergibt.

In einer Ausführungsform ist der Laser-Emitter ein am Bearbeitungskopf angebrachter Laser. Der Laser kann beispielsweise ein Halbleiterlaser sein.

Alternativ kann das Laserlicht für mindestens einen Laserstrahl durch wenigstens einen Lichtleiter zum Bearbeitungskopf geführt und dort aus dem wenigstens einen Lichtleiter ausgekoppelt werden. Hierbei ist der Laser-Emitter ein am Bearbeitungskopf gehaltenes Ende des Lichtleiters, in Ausprägungen ergänzt durch eine Auskoppeloptik, um das Laserlicht aus dem Lichtleiter auszukoppeln.

Diese Ausführungsformen der Vorrichtung haben den Vorteil, dass durch die Montage des Lasers bzw. eines Endes des Lichtleiters, gegebenenfalls einschließlich einer Auskoppeloptik, am Bearbeitungskopf eine feste geometrische Beziehung zwischen dem Plasmajet und dem wenigstens einen Laserstrahl einstellbar ist, so dass sich ebenso auf einfache Weise eine definierte Relativposition zwischen dem Laserauftreffbereich und dem Plasmaaufreffbereich einstellen lässt.

Der Laser-Emitter kann auch verstellbar an dem Bearbeitungskopf montiert sein. Die Verstellung kann manuell durch eine Bedienperson vorgenommen werden, oder über Aktuatoren in Folge von Steuersignalen, welche durch einen Benutzer der Vorrichtung oder durch ein Regelsystem erzeugt werden können; dies kann auch während des Aufbaus einer Struktur auf einem Substrat möglich sein.

In einer anderen Ausführungsform ist mindestens ein beweglicher Reflektor vorgesehen, um den Laserstrahl über das Substrat zu führen. Der mindestens eine bewegliche Reflektor ist dabeiderart steuerbar, dass der Laserauftreffbereich die gewünschte Bahn auf dem Substrat, innerhalb des definierten, zu beschichtenden Bereiches, beschreibt. In einer derartigen Ausführungsform ist eine feste geometrische Beziehung zwischen dem Plasmajet und dem mindestens einen Laserstrahl nicht zwingend, diese geometrische Beziehung ist durch Steuerung des

mindestens einen Reflektors veränderbar. Es ist auch denkbar, dass wenigstens ein steuerbarer, beweglicher Reflektor für das Laserlicht am Bearbeitungskopf selbst angebracht ist.

Unter geometrischer Beziehung zwischen dem Plasmajet und dem mindestens einen
5 Laserstrahl kann beispielsweise ein Winkel zwischen dem mindestens einen Laserstrahl und dem Plasmajet verstanden werden, allgemeiner der relative Verlauf des Plasmajets und des mindestens einen Laserstrahls, aus dem sich auch die Relativposition zwischen dem Plasmaauftrittsbereich auf der Oberfläche des Substrats und dem Laserauftrittsbereich auf der Oberfläche des Substrats bestimmt.
10 Je nach Ausführungsform des Verfahrens und abhängig beispielsweise von Pulver und Substrat, beispielsweise Material oder Form des Substrats, oder von anderen Parametern kann diese Relativposition adaptiert werden.

Die Vorrichtung kann ferner eine Einrichtung umfassen, mit der eine Relativbewegung zwischen dem Substrat und dem Bearbeitungskopf erzeugbar ist.
15 So kann ein Roboterarm vorgesehen sein, um den Bearbeitungskopf relativ zum Substrat zu bewegen, alternativ kann beispielsweise auch ein Portalroboter verwendet werden. Ebenso ist es möglich, das Substrat auf einem beweglichen Tisch zu platzieren oder von einem Roboter relativ zum Plasmajet bewegen zu lassen.

20 Insbesondere ist die erfindungsgemäße Vorrichtung dazu geeignet, das erfindungsgemäße Verfahren auszuführen.

Im Folgenden wird die Erfindung an Hand von Ausführungsbeispielen mit zugehörigen Zeichnungen näher beschrieben.

Figur 1 zeigt eine erste Ausführungsform des Verfahrens, bei der der Laserstrahl
25 vor dem Plasmajet geführt wird.

Figur 2 zeigt eine Draufsicht auf eine Oberfläche eines Substrats, welche der Ausführungsform der Figur 1 entspricht.

Figur 3 zeigt eine zweite Ausführungsform des Verfahrens, bei der der Laserstrahl durch den Plasmajet hindurch verläuft.

Figur 4 zeigt eine dritte Ausführungsform des Verfahrens, bei der der Laserstrahl in den Plasmajet gerichtet wird.

Figur 5 zeigt eine Draufsicht ähnlich der Figur 2, jedoch für die Ausführungsform der Figur 4.

5 **Figur 6** zeigt eine Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung.

Figur 7 zeigt eine weitere Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung.

Figur 1 zeigt eine erste Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Aufbau einer Struktur 2 auf einem Substrat 100. Einem Niedertemperatur-Plasmajet 10 wird ein Pulver 20 zugesetzt, welches durch den Plasmajet 10 auf einer
10 Oberfläche 1 des Substrats 100 abgeschieden wird. Das Pulver 20 wird hier durch eine nur schematisch gezeigte Pulverzuführung 21 dem Plasmajet 10 zugeführt. Der Plasmajet 10 entströmt einem Bearbeitungskopf 11, welcher mit einem hier nicht gezeigten Plasmaerzeuger in Verbindung steht. Ein Laserstrahl 30, hier erzeugt von einem Laser 31, wird auf die Oberfläche 1 des Substrats gerichtet, und definiert dort
15 einen Laserauftreffbereich 35 (siehe Figur 2) in einem Bereich, der noch nicht durch den Plasmajet 10 mit Pulver 20 beaufschlagt worden ist. Die Anordnung aus Bearbeitungskopf 11, Laser 31, und Pulverzuführung 21 wird in Richtung des Pfeils 50 relativ zur Oberfläche 1 des Substrats 100 geführt. Damit werden auch Plasmajet 10 und Laserstrahl 20 in Richtung des Pfeils 50 relativ zur Oberfläche 1 des
20 Substrats 100 geführt.

In dieser und den folgenden Darstellungen wird das Pulver 20 dem Plasmajet 10 außerhalb des Bearbeitungskopfes 11 zugeführt. Dies stellt jedoch keine Einschränkung der Erfindung dar. Das Pulver 20 kann dem letztlich den Plasmajet 10 bildenden Plasma auf jede dem Fachmann für Niedertemperatur-
25 Plasmaspritzverfahren bekannte Weise zugeführt werden. Ebenso wenig ist es eine Einschränkung der Erfindung, dass der Laserstrahl 30 direkt durch den Laser 31 auf das Substrat 100 gerichtet und der Laser 31 relativ zur Oberfläche 1 bewegt wird. Für das Verfahren ist das Auftreffen des Laserstrahls 30 auf dem Substrat 100 und die Bewegung des Laserstrahls 30 relativ zur Oberfläche 1 relevant, unabhängig
30 davon, wo der Laserstrahl 30 erzeugt und wie er letztlich auf das Substrat 100 gerichtet wird.

Figur 2 zeigt eine Draufsicht auf eine Oberfläche 1 eines Substrats 100; die Draufsicht entspricht einer Ausführungsform des Verfahrens, wie sie in Figur 1 gezeigt ist. Dargestellt ist der Laserauftreffbereich 35, also der Bereich, in dem der Laserstrahl 30 (siehe Figur 1) auf das Substrat 100 trifft; die gezeigte kreisförmige Form des Laserauftreffbereichs 35 stellt keine Einschränkung der Erfindung dar. Gezeigt ist ferner ein Teil eines definierten, zu beschichtenden Bereichs 37. Der Laserauftreffbereich 35 wird in Richtung des Pfeils 50 über den definierten Bereich 37 geführt und bewirkt dort einen Wärmeeintrag in das Substrat 100. Dadurch hinterlässt der Laserauftreffbereich 35 bei Bewegung in Richtung des Pfeils 50 einen vorgewärmten Bereich 36 auf der Oberfläche 1 des Substrats 100, welcher noch nicht mit Pulver 20 (siehe Figur 1) beaufschlagt ist. Der in Figur 1 gezeigte Plasmajet 10 trifft in einem hier kreisförmig dargestellten Plasmaauftrittsbereich 15 auf die Oberfläche 1 des Substrats 100; diese Kreisform ist jedoch keine Einschränkung der Erfindung. Laserauftreffbereich 35 und Plasmaauftrittsbereich 15 weisen eine definierte Relativposition R zueinander auf. Zwischen dem Plasmaauftrittsbereich 15 und dem Laserauftreffbereich 35 liegt der vorgewärmte, noch nicht mit Pulver 20 beaufschlagte, Bereich 36. Wird der Plasmajet 10, und damit auch der Plasmaauftrittsbereich 15, in Richtung des Pfeiles 50 über die Oberfläche 1 bewegt, so wird entlang einer Spur S des Plasmaauftrittsbereichs 15 auf der Oberfläche 1 Pulver 20 abgeschieden; der Plasmaauftrittsbereich 15 überstreicht bei dieser Bewegung auch den jeweils vorgewärmten Bereich 36, da der Plasmajet 10 dem Laserstrahl 30 nachgeführt wird, was bewirkt, dass der Plasmaauftrittsbereich 15 dem Laserauftreffbereich 35 folgt. Nach den eingangs gemachten Erläuterungen kann sich zwischen dem in den vorgewärmten Bereich 36 abgeschiedenen Pulver 20 und der Oberfläche 1 des Substrats 100 eine gute Haftung ausbilden, da durch die Vorwärmung des Bereichs 36 unter anderem eine Temperaturdifferenz zwischen den Pulverpartikeln im Plasmajet 10 und dem vorgewärmten Bereich 36 verringert ist. Auf diese Weise wird schließlich auf der Oberfläche 1 des Substrats 100 die Struktur 2, hier in Form einer Linie mit einer Breite 3, aufgebaut.

In Bereichen 16 außerhalb des vorgewärmten Bereichs 36 ist eine solche Verringerung der Temperaturdifferenz zwischen den Pulverpartikeln im Plasmajet 10 und dem jeweiligen Bereich 16 nicht gegeben, so dass sich in den Bereichen 16 keine gute Haftung der Pulverpartikel auf dem Substrat 100 ausbildet. Das

abgeschiedene Pulver 20 kann einfach von diesen Bereichen 16 mit bekannten Verfahren entfernt werden.

Wie eingangs bereits erwähnt, sind mit dem erfindungsgemäßen Verfahren Linienbreiten 3 möglich, die deutlich kleiner sind als die mit einem Niedertemperatur-
5 Plasmajet allein, also ohne Verwendung eines Laserstrahls, erzielbaren Linienbreiten. Dies liegt daran, dass eine Fokussierung des Laserstrahls 30 auf entsprechende, kleinere Durchmesser, welche in etwa der gewünschten Linienbreite 3 entsprechen, einfacher möglich ist als eine entsprechende Fokussierung des
10 Plasmajets 10. Dementsprechend ist in der Figur 2 ein Durchmesser DP des Plasmaaufreffbereichs 15 größer dargestellt als ein Durchmesser DL des Laserauffreffbereichs 35.

Figur 3 entspricht weitgehend der Figur 1. In der in Figur 3 gezeigten Ausführungsform wird der Laserstrahl 30 jedoch durch den Plasmajet 10 hindurch auf die Oberfläche 1 des Substrats 100 gerichtet. Der Laserstrahl 30 trifft dabei
15 außerhalb des Plasmajets 10 auf die Oberfläche 1 des Substrats 100. In einer Draufsicht ergäbe sich ein Bild wie in der Figur 2. Auch in der in Figur 3 dargestellten Ausprägung des Verfahrens liegt ein vom Laserstrahl 30 auf dem Substrat 100 definierter Laserauffreffbereich 35 in Bewegungsrichtung 50 gesehen vor dem
20 Plasmaaufreffbereich 15, so dass auch in dieser Ausprägung der Plasmajet 10 dem Laserauffreffbereich 35 nachgeführt wird. Neben einem Wärmeeintrag in einen Bereich des Substrats 100 kann der Laserstrahl 30 hier auch Pulverpartikel erwärmen, welche den Laserstrahl 30 innerhalb des Plasmajets 10 durchqueren. Diese zusätzliche Erwärmung der Pulverpartikel führt zu einer Verzögerung des
25 Erstarrens der Pulverpartikel nach ihrem Auftreffen auf das Substrat 100, wie weiter oben bereits dargelegt.

Figur 4 zeigt eine weitere Ausführungsform des Verfahrens, das der in Figur 1 dargestellten ähnlich ist. Die überwiegende Zahl der dargestellten Elemente wurde bereits im Zusammenhang mit Figur 1 diskutiert. Plasmajet 10 und Laserstrahl 30 wurden gegenüber Figur 1 größer dargestellt, aus Gründen der Übersichtlichkeit.
30 Gezeigt ist in der Figur 4 ferner ein Dichteprofil 22 des Pulvers 20 im Plasmajet 10 und der durch das Dichteprofil 22 bestimmte Plasmaaufreffbereich 15. Der Laserstrahl 30 wird in dieser Ausführungsform auf einen Bereich der Oberfläche 1

des Substrats 100 gerichtet, der bereits mit Pulver 20 beaufschlagt ist. Genauer wird der Laserstrahl 30 so in den Plasmajet 10 gerichtet, dass er auf eine, in Richtung 50 einer Relativbewegung des Plasmajets 10 zur Oberfläche 1 gesehen, vordere Flanke 22F des Dichteprofils 22 trifft. Dadurch wird eine in dieser vorderen Flanke 22F
5 bereits auf dem Substrat 100 abgeschiedene dünne Pulverschicht 2d mit Laserstrahlung beaufschlagt. Dies führt zu einem Wärmeeintrag in die in der dünnen Pulverschicht 2d befindlichen Pulverpartikel. Dieser Wärmeeintrag wirkt dem Wärmeabfluss von diesen Pulverpartikeln an das Substrat 100 entgegen, und zögert
10 eingangs erläutert, so dass letztlich die auf der Oberfläche 1 des Substrats 100 gut haftende Struktur 2 aufgebaut wird.

Figur 5 zeigt eine Draufsicht auf die Oberfläche 1 des Substrats 100, wie sie einer in Figur 4 gezeigten Ausführungsform des Verfahrens entspricht. Alle gezeigten Elemente wurden bereits in Figur 2 erläutert, welche eine entsprechend Darstellung
15 für eine in Figur 1 gezeigte Ausführungsform des Verfahrens ist. Im Unterschied zu Figur 2 liegt in der Figur 5 der Laserauftreffbereich 35 innerhalb des Plasmaauftrittsbereichs 15. Ein vorgewärmter Bereich 36 wie in Figur 2 liegt hier nicht vor, da der Wärmeeintrag im Laserauftreffbereich 35 in auf der Oberfläche 1 bereits abgeschiedenes Pulver erfolgt, wie in Figur 4 gezeigt. Voraussetzung für die in den
20 Figuren 4 und 5 dargestellte Ausführungsform ist, dass das Pulver 20 in der Lage ist, das Laserlicht ausreichend zu absorbieren. Hingegen kann das Substrat 100 in dieser Ausführungsform für das Laserlicht transparent sein.

Figur 6 zeigt eine Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung 300. Ein Bearbeitungskopf 11 weist eine Düse 12 zur Formung eines Plasmajets aus einem
25 Plasma auf. Zur Erzeugung des Plasmas kann ein dem Fachmann bekannter Plasmaerzeuger verwendet werden. Am Bearbeitungskopf 11 ist ein Laser 31 angebracht. Durch einen Aktuator 32 ist der Laser 31 verstellbar, so dass sich insbesondere die oben diskutierte Relativposition R zwischen Plasmaauftrittsbereich 15 und Laserauftreffbereich 35 einstellen lässt. Bei dem Laser kann es sich um einen
30 Halbleiterlaser handeln.

Figur 7 zeigt eine weitere Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung 300. Einige der gezeigten Elemente wurden bereits in Zusammenhang mit Figur 6

diskutiert. Ein Ende 33e eines Lichtleiters 33 ist in einer Halterung 33h am Bearbeitungskopf 11 angebracht. Durch einen Aktuator 32 ist die Halterung 33h verstellbar, so dass sich insbesondere die oben diskutierte Relativposition R zwischen Plasmaauftrittsbereich 15 und Laserauftrittsbereich 35 einstellen lässt. In dieser Ausführungsform ist ferner eine Auskoppeloptik 34 zur Auskoppelung von Laserlicht aus dem Lichtleiter 33 vorgesehen. Die Auskoppeloptik 34 ist in dieser Ausführungsform am Bearbeitungskopf 11 gehalten. Das Laserlicht wird von einem Laser 31 in dem Fachmann bekannter Weise in den Lichtleiter 33 eingespeist. Bei dem Laser kann es sich um einen Halbleiterlaser handeln.

Ansprüche

- 5 1. Verfahren zum Aufbau wenigstens einer Struktur (2) aus einem Pulver (20) auf einer Oberfläche (1) eines Substrats (100),
- gekennzeichnet durch** die folgenden Schritte:
- a) Aufbringen des Pulvers (20) auf die Oberfläche (1) des Substrats (100) durch einen Niedertemperatur-Plasmajet (10) während einer Relativbewegung zwischen dem Niedertemperatur-Plasmajet (10) und dem Substrat(100);
- 10 b) Richten wenigstens eines Laserstrahls (30) auf das Substrat (100), wobei eine definierte Relativposition (R) zwischen einem Laserauftreffbereich (35) des mindestens einen Laserstrahls (30) auf dem Substrat (100) und einem Plasmaauftrittsbereich (15) des Niedertemperatur-Plasmajets (10) auf dem Substrat (100) gegeben ist;
- 15 c) Bewirken eines Wärmeeintrags in das Substrat (100) und / oder das Pulver (20) durch den mindestens einen Laserstrahl (30) im Laserauftreffbereich (35).
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die definierte Relativposition (R) zwischen dem Laserauftreffbereich (35) und Plasmaauftrittsbereich (15) derart ist, dass der Laserauftreffbereich (35) außerhalb des Plasmaauftrittsbereichs (15) liegt und noch nicht mit Pulver (20) beaufschlagt ist.
- 20 3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei der mindestens eine Laserstrahl (30) derart geführt wird, dass er den Niedertemperatur-Plasmajet (10) nicht durchquert.
4. Verfahren nach Anspruch 2, wobei der mindestens eine Laserstrahl (30) derart geführt wird, dass er den Niedertemperatur-Plasmajet (10) durchquert.
- 25 5. Verfahren nach Anspruch 1, wobei sich der Laserauftreffbereich (35) mit dem Plasmaauftrittsbereich (15) überschneidet.
6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei der Laserauftreffbereich (35) vollständig innerhalb des Plasmaauftrittsbereichs (15) liegt.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein Durchmesser (DL) des Laserauftreffbereichs (35) kleiner ist als ein Durchmesser (DP) des Plasmaaufreffbereichs (15).
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei Pulver (20), das außerhalb der durch die Zusammenwirkung des Niedertemperatur-Plasmajets (10) und des mindestens einen Laserstrahls (30) gebildeten wenigstens einen Struktur (2) durch den Niedertemperatur-Plasmajet (10) auf die Oberfläche (1) des Substrats (100) aufgebracht worden ist, wieder von der Oberfläche (1) des Substrats (100) entfernt wird.
9. Vorrichtung (300) zum Aufbau wenigstens einer Struktur (2) auf einer Oberfläche (1) eines Substrats (100), umfassend:
- einen Bearbeitungskopf (11) mit einer Düse (12) zur Formung eines Niedertemperatur-Plasmajets (10);
- eine Pulverzuführung (21) zur Zuführung eines Pulvers (20) in den Niedertemperatur-Plasmajet (10) oder in das Plasma zur Bildung des Niedertemperatur-Plasmajets (10);
- gekennzeichnet durch**
- mindestens einen Laser-Emitter (31, 33e), welcher derart dem Bearbeitungskopf (11) zugeordnet ist, dass ein Laserstrahl (30) derart auf das Substrat (100) richtbar ist, dass eine definierte Relativposition (R) zwischen einem Laserauftreffbereich (35) des Laserstrahls (30) auf dem Substrat (100) und einem Plasmaaufreffbereich (15) des Niedertemperatur-Plasmajets (10) auf dem Substrat (100) gegeben ist.
10. Vorrichtung (300) nach Anspruch 9, wobei der mindestens eine Laser-Emitter ein am Bearbeitungskopf (11) angebrachter Laser (31) ist.
11. Vorrichtung (300) nach Anspruch 9, wobei der mindestens eine Laser-Emitter ein am Bearbeitungskopf (11) gehaltenes Ende (33e) eines Lichtleiters (33) ist.

12. Vorrichtung (300) nach Anspruch 11, wobei eine Auskoppeloptik (34) für in dem Lichtleiter (33) geführtes Laserlicht vorgesehen ist.
13. Vorrichtung (300) nach einem der Ansprüche 9 bis 12, wobei der Laser-Emitter (31, 33e) verstellbar am Bearbeitungskopf (11) angebracht ist.
- 5 14. Vorrichtung (300) nach einem der Ansprüche 9 bis 13, wobei mindestens ein beweglicher Reflektor vorgesehen ist, um den Laserstrahl (30) über die Oberfläche (1) des Substrats (100) zu führen.
15. Vorrichtung (300) nach Anspruch 14, wobei mindestens ein Reflektor am Laser-Emitter (31, 33e) oder am Bearbeitungskopf (11) angebracht ist.
- 10 16. Vorrichtung (300) nach einem der Ansprüche 9 bis 15, wobei eine Einrichtung zur Erzeugung einer Relativbewegung zwischen dem Substrat (100) und dem Bearbeitungskopf (11) vorgesehen ist.

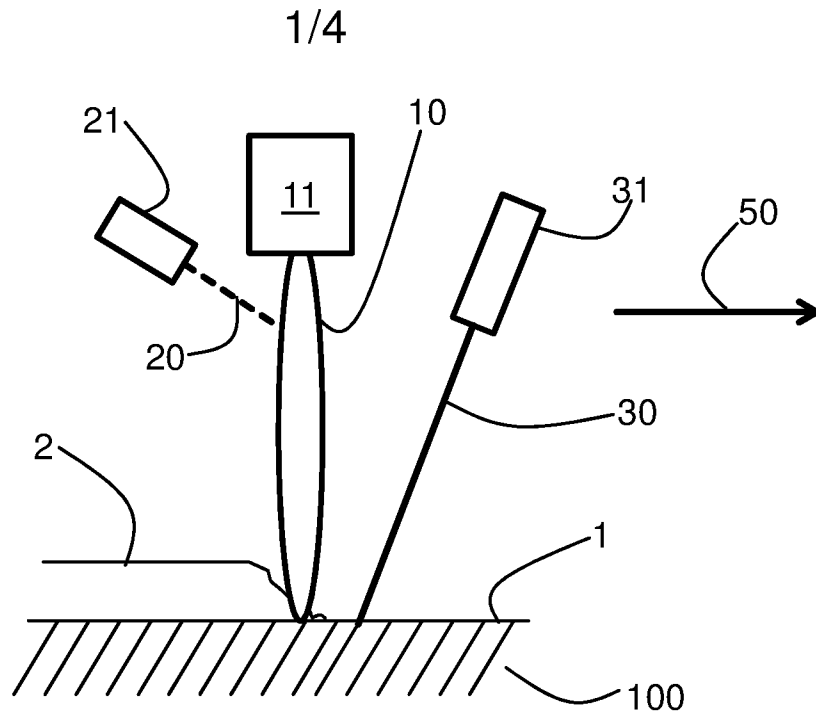


Fig. 1

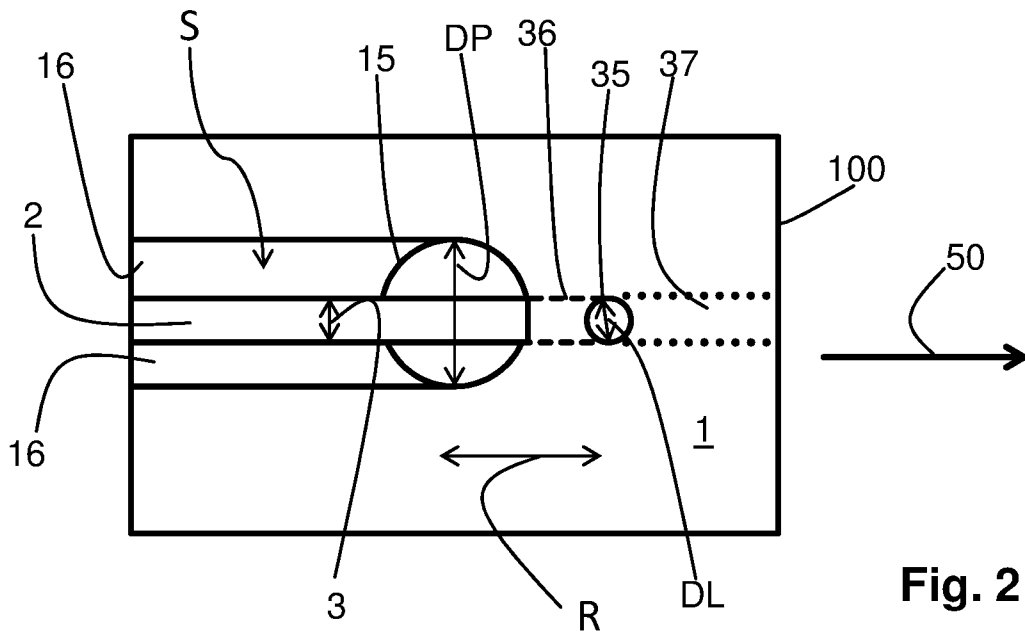
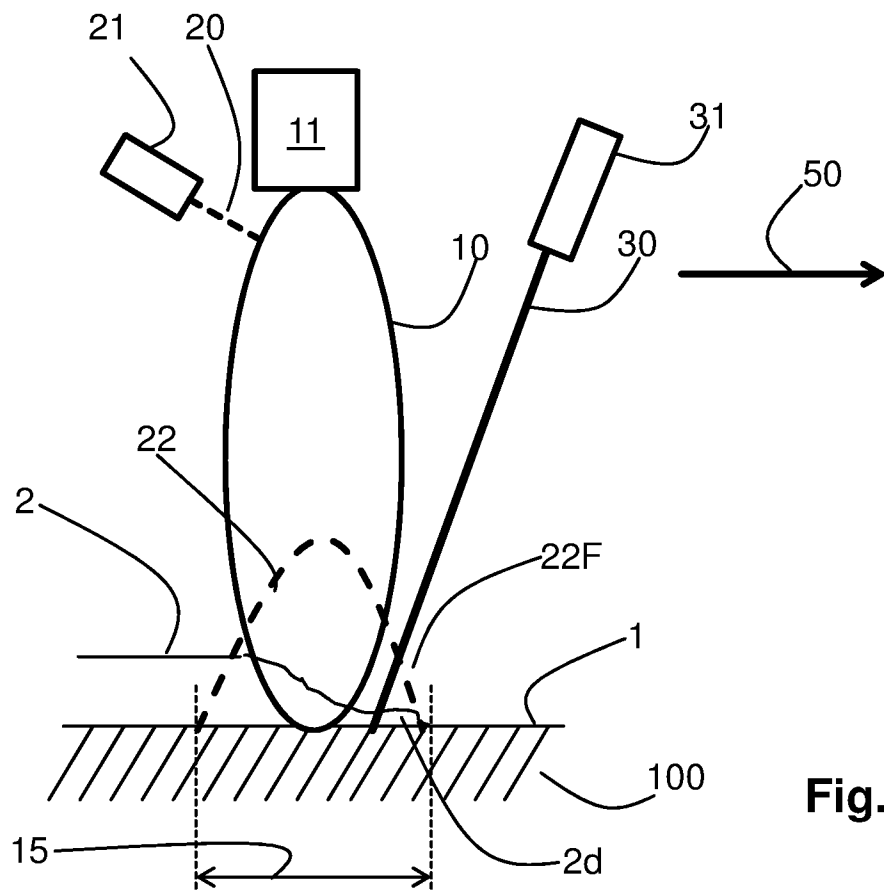
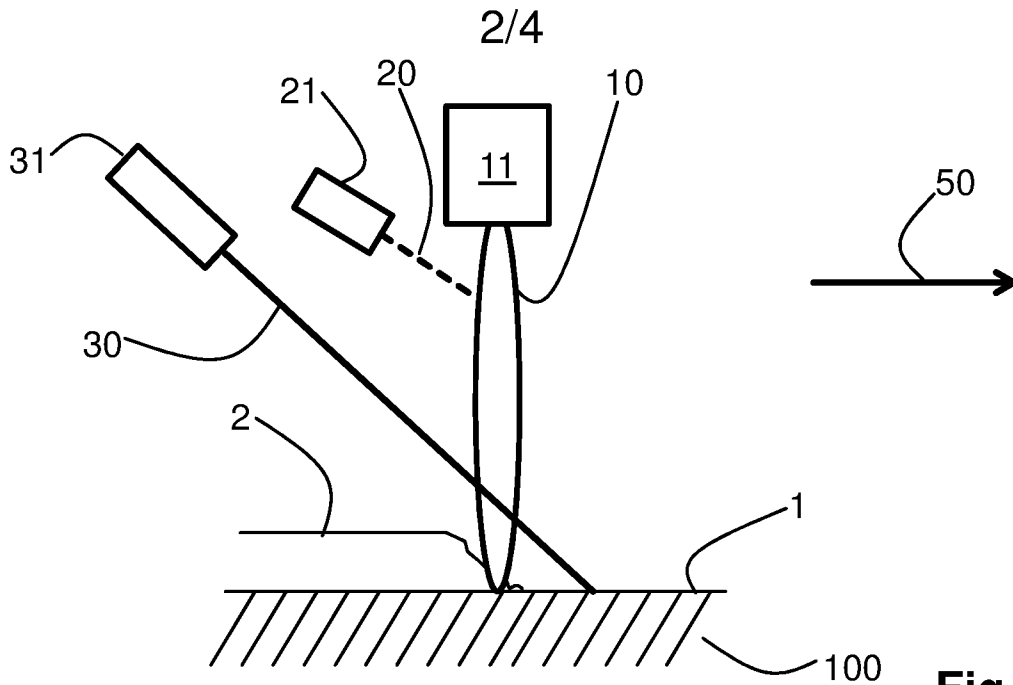


Fig. 2



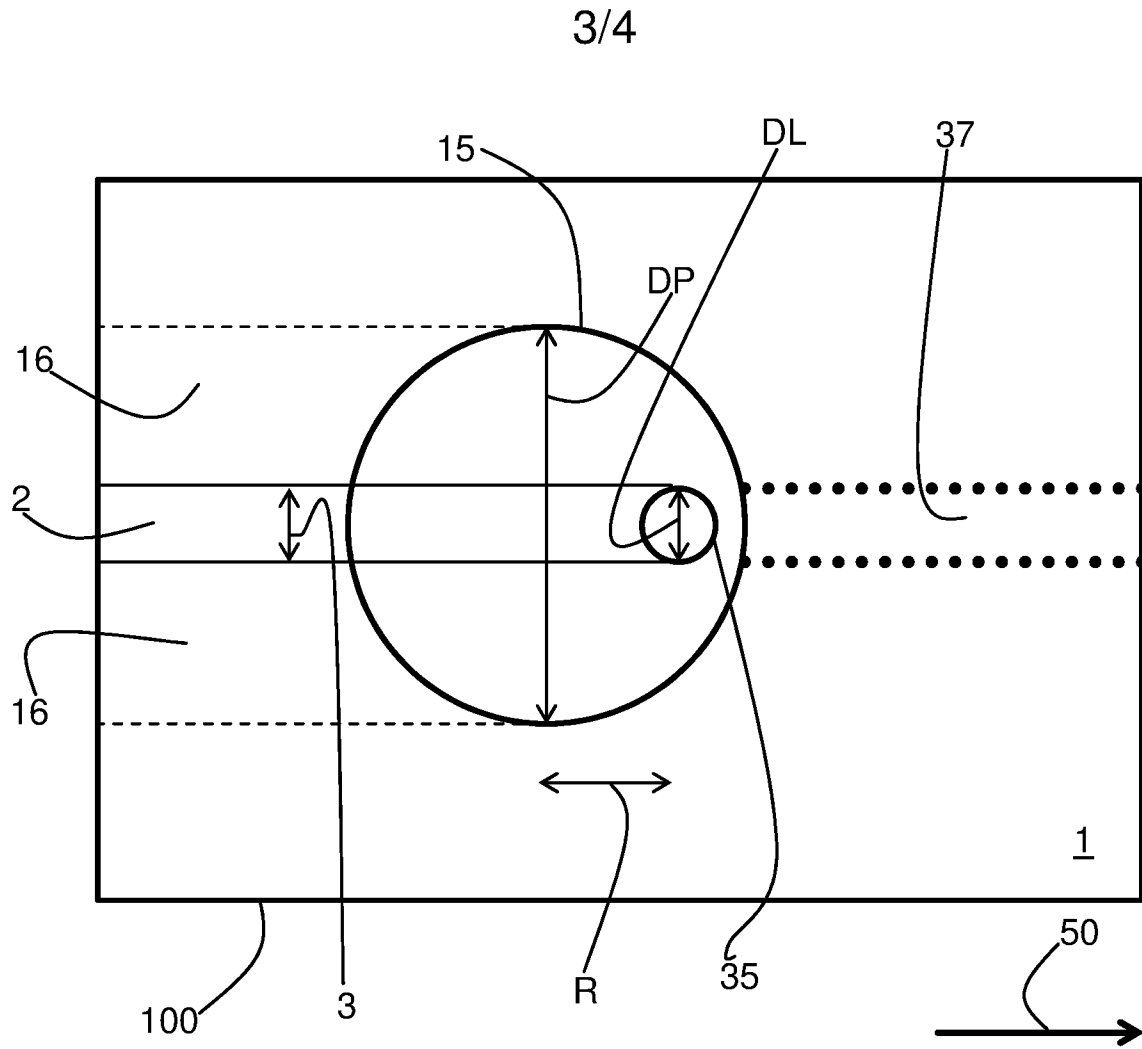


Fig. 5

4/4

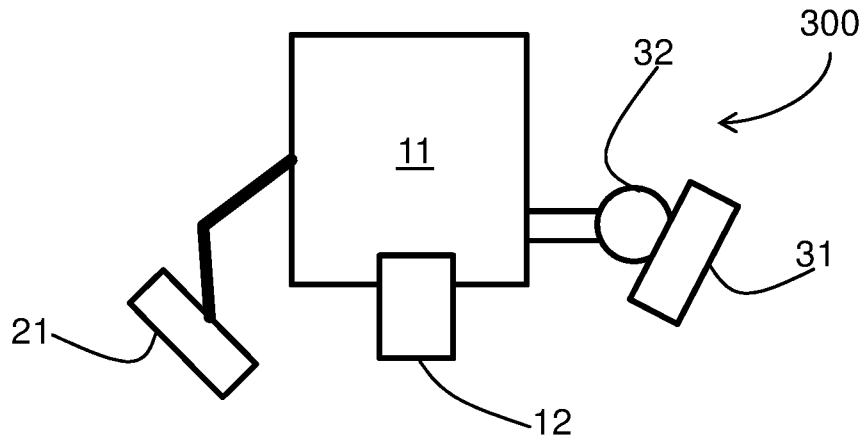


Fig. 6

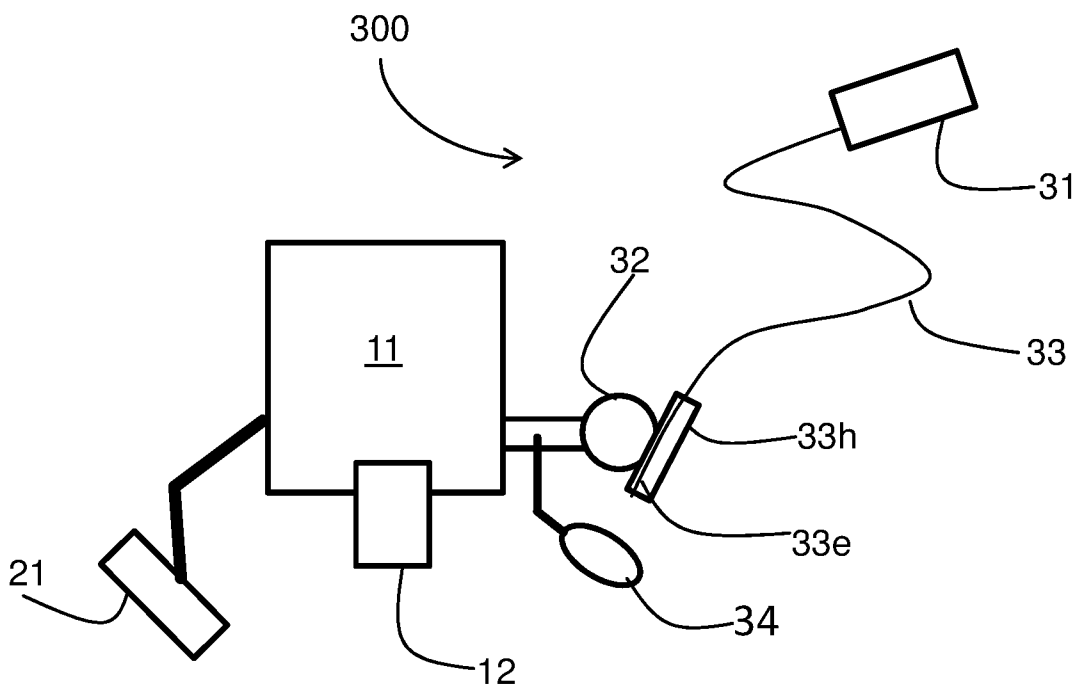


Fig. 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/IB2014/060422

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. C23C4/02 C23C4/12
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)
C23C
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, INSPEC, IBM-TDB, 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	ZIERIS R ET AL: "Investigation of AISi coatings prepared by laser-assisted atmospheric plasma spraying of internal surfaces of tubes", PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL THERMAL SPRAY CONFERENCE,, 1 May 2004 (2004-05-01), pages 651-656, XP009156349, the whole document	1-16
X	DE 199 41 564 A1 (VOLKSWAGEN AG [DE]) 31 August 2000 (2000-08-31) cited in the application the whole document	1-3,7-16
X	DE 197 40 205 B4 (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG [DE]) 25 November 2004 (2004-11-25) cited in the application the whole document	1,5-16

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 3 July 2014	Date of mailing of the international search report 11/07/2014
---	---

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

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/IB2014/060422

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 19941564	A1	31-08-2000	NONE

DE 19740205	B4	25-11-2004	DE 19740205 A1 18-03-1999
			EP 0903423 A2 24-03-1999
			US 6197386 B1 06-03-2001

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. C23C4/02 C23C4/12
 ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 C23C

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, INSPEC, IBM-TDB, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	ZIERIS R ET AL: "Investigation of AISi coatings prepared by laser-assisted atmospheric plasma spraying of internal surfaces of tubes", PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL THERMAL SPRAY CONFERENCE,, 1. Mai 2004 (2004-05-01), Seiten 651-656, XP009156349, das ganze Dokument	1-16
X	DE 199 41 564 A1 (VOLKSWAGEN AG [DE]) 31. August 2000 (2000-08-31) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument	1-3,7-16
X	DE 197 40 205 B4 (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG [DE]) 25. November 2004 (2004-11-25) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument	1,5-16



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

3. Juli 2014

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

11/07/2014

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

Brisson, Olivier

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/IB2014/060422

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 19941564	A1	31-08-2000	KEINE

DE 19740205	B4	25-11-2004	DE 19740205 A1 18-03-1999
			EP 0903423 A2 24-03-1999
			US 6197386 B1 06-03-2001
