



(19)
 Bundesrepublik Deutschland
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2007 057 129 A1** 2009.06.04

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2007 057 129.3**

(22) Anmeldetag: **24.11.2007**

(43) Offenlegungstag: **04.06.2009**

(51) Int Cl.⁸: **B23K 26/10** (2006.01)

B23K 26/34 (2006.01)

B23K 26/36 (2006.01)

B22F 3/105 (2006.01)

(71) Anmelder:

Hochschule Mittweida (FH), 09648 Mittweida, DE

(74) Vertreter:

**Krause, W., Dr.-Ing. Faching.f.Erfindungswesen,
 Pat.-Anw., 09648 Mittweida**

(72) Erfinder:

**Ebert, Robby, 09114 Chemnitz, DE; Drechsel, Jan,
 01139 Dresden, DE; Schille, Jörg, 09306 Rochlitz,
 DE; Streek, Andre, 09456 Annaberg-Buchholz, DE;
 Hartwig, Lars, 09648 Mittweida, DE; Klötzer,
 Sascha, 07545 Gera, DE; Löschner, Udo, 09526
 Olbernhau, DE; Exner, Horst, Prof., 09648
 Mittweida, DE; Süß, Tino, 09456
 Annaberg-Buchholz, DE**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

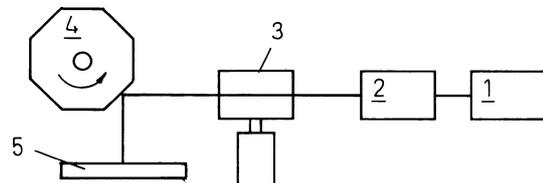
Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Einrichtung zur Hochleistungs-Mikrobearbeitung eines Körpers oder einer Pulverschicht mit einem Laser hoher Brillanz**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft Verfahren und Einrichtungen zur Hochleistungs-Mikrobearbeitung eines Körpers oder einer Pulverschicht mit einem Laser hoher Brillanz und die Verwendung von Laserstrahlen hoher Brillanz zur Hochleistungs-Mikrobearbeitung. Diese zeichnen sich insbesondere dadurch aus, dass der Körper oder die Pulverschicht sehr schnell bearbeitbar ist.

Dazu wird über im Strahlengang nach dem Laser mit einer mittleren Leistung gleich oder größer 1 kW angeordnetem Strahlschalter, Galvoscanner, Zeilenscanner und Fokussieroptik eine Oberfläche des Körpers oder der Pulverschicht mit den durch den Zeilenscanner abgelenkten fokussierten Laserstrahlen zeilenweise beaufschlagt. Die Zeilenwechsel erfolgen mittels des Galvoscanners. Der fokussierte Laserstrahl besitzt auf der Oberfläche eine Geschwindigkeit größer 50 m/s. Der Fokus zur Mikrostrukturierung ist im Durchmesser definitionsgemäß kleiner oder gleich 100 µm. Die Einwirkzeit der Laserstrahlung auf der Oberfläche beträgt maximal 1 µs.

Dadurch ist eine um mindestens eine Größenordnung höhere Bearbeitungsgeschwindigkeit erreichbar.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft Verfahren und Einrichtungen zur Hochleistungs-Mikrobearbeitung eines Körpers oder einer Pulverschicht mit einem Laser hoher Brillanz und die Verwendung von Laserstrahlen hoher Brillanz zur Hochleistungs-Mikrobearbeitung.

[0002] Verfahren und Vorrichtungen zur Bearbeitung von Körpern oder Pulverschichten durch Laserstrahlen sind durch eine Vielzahl von Druckschriften bekannt. Ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Herstellung von Körpern aus schichtweise aufgebrachttem Pulver und einem selektiven Sintern der jeweilig aufgetragenen Schicht ist unter anderem aus der US 4,863,538 bekannt. Dabei wird durch energiereiche Strahlung das Pulver der jeweiligen Schicht partiell gesintert. Über das Auftreffen einer Strahlung auf die Pulverschicht wird dabei der Körper realisiert. Zur Erzeugung des jeweiligen Körpervolumens wird die energiereiche Strahlung gescannt. Zum Einsatz kommen CO₂- oder Nd:YAG-Laser mit Scanner, mit einer Leistung von 50 W bis 200 W und einem Fokus von 100 µm bis 300 µm. Die Sinterzeit ist sehr lang, wobei diese bis zu 100 h beträgt.

[0003] Durch die DE 43 09 524 C2 (Verfahren zum Herstellen eines dreidimensionalen Objekts) ist ein Verfahren bekannt, wobei die Strahlungseinwirkung im Kernbereich eines Objektes zu einer minimalen Verformung und im Hüllbereich zu einer möglichst glatten und genauen Oberfläche führen. Die Ermittlung des Hüllbereichs erfolgt durch Subtraktion in dreidimensionaler Weise von Einzelbereichen des Kernbereichs von dem Gesamtkörper. Die Bestrahlung erfolgt in unterschiedlicher Art und Weise, je nachdem ob es sich um einen Einzelbereich im Kernbereich oder einen solchen im Hüllbereich handelt. Neben der Ermittlung der Hüllbereiche sind unterschiedliche Bestrahlungstechnologien zur Realisierung des Objektes notwendig.

[0004] Durch die Druckschrift DE 199 53 000 C2 (Verfahren und Einrichtung zur schnellen Herstellung von Körpern) sind Verfahren und Vorrichtungen bekannt, wobei vorteilhafterweise Körper maßgenau, konturscharf schnell und mit hoher Dichte hergestellt werden können. Formkorrigierende Nachbehandlungen werden weitestgehend vermieden, so dass sehr ökonomisch derartige Körper herstellbar sind. Das wird durch die Verwendung zweier Strahlungsquellen beim Sintern oder Schweißen erreicht, wobei die Erste der Erzeugung der Kontur und die Zweite zur schnellen Realisierung des Innenraumes des zu erzeugenden Körpers dient. Der Nachteil liegt in der Verwendung von zwei Lasern zur Herstellung der Körper.

[0005] Der in den Patentansprüchen 1, 3 und 18 angegebenen Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ei-

nen Körper oder eine Pulverschicht durch eine Hochleistungs-Mikrobearbeitung einfach und schnell zu bearbeiten.

[0006] Diese Aufgabe wird mit den in den Patentansprüchen 1, 3 und 18 aufgeführten Merkmalen gelöst.

[0007] Die Verfahren und Einrichtungen zur Hochleistungs-Mikrobearbeitung eines Körpers oder einer Pulverschicht mit einem Laser hoher Brillanz zeichnen sich insbesondere dadurch aus, dass der Körper oder die Pulverschicht sehr schnell bearbeitbar ist. Dazu wird über im Strahlengang nach dem Laser mit einer mittleren Leistung gleich oder größer 1 kW angeordnetem Strahlschalter, Galvoscaner, Zeilenscanner und Fokussieroptik eine Oberfläche des Körpers oder der Pulverschicht mit den durch den Zeilenscanner abgelenkten fokussierten Laserstrahlen zeilenweise beaufschlagt. Die Zeilenwechsel erfolgen mittels des Galvoscaners. Der fokussierte Laserstrahl besitzt auf der Oberfläche eine Geschwindigkeit größer 50 m/s. Der Fokus zur Mikrostrukturierung ist im Durchmesser definitionsgemäß kleiner oder gleich 100 µm. Die Einwirkzeit der Laserstrahlung auf der Oberfläche beträgt maximal 1 µs.

[0008] Dazu sind der Strahlschalter, der Galvoscaner, der Zeilenscanner und die Fokussieroptik vorzugsweise in dieser Reihenfolge im Strahlengang nach dem Laser angeordnet. Natürlich können diese auch in einer anderen Reihenfolge angeordnet sein. Die für die Mikrobearbeitung bekannten eingesetzten gütegeschalteten Laser weisen eine durchschnittliche Leistung von kleiner 100 W auf. Die Verfahren und Einrichtungen zur Hochleistungs-Mikrobearbeitung eines Körpers oder einer Pulverschicht mit einem Laser hoher Brillanz und schneller Strahlablenkung zeichnen sich vorteilhafterweise dadurch aus, dass eine um mindestens eine Größenordnung höhere Bearbeitungsgeschwindigkeit erreicht wird. Dadurch eignen sich vorteilhafterweise die Verfahren und Einrichtungen auch für eine Bearbeitung größerer Flächen. Weiterhin können auch Bearbeitungen als schneller Durchlaufprozess erfolgen.

[0009] Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Patentansprüchen 2 und 4 bis 17 angegeben.

[0010] Vorteilhafterweise entstehen durch mehrmaliges nacheinander folgendes zeilenweises Beaufschlagen mit mehreren Zeilenwechsel nach der Weiterbildung des Patentanspruchs 2 Körper mit dreidimensionalen Strukturen.

[0011] Im Strahlengang ist nach der Weiterbildung des Patentanspruchs 4 nach dem Laser ein Strahlschalter mit einer Anstiegszeit kleiner 500 ns angeordnet. Durch schnelles definiertes Ein- und Ausschalten des kontinuierlich strahlenden Laser hoher

Brillanz werden vorteilhafterweise partiell bestrahlte konturierte Schichten des Körpers oder aus der Pulverschicht erzeugt. Dadurch können auch bei hohen Scangeschwindigkeiten Konturen erzeugt werden.

[0012] Zum schnellen Schalten der Laserstrahlen sind nach der Weiterbildung des Patentanspruchs 5 im Strahlengang des Lasers optische Modulatoren in Reihenschaltung oder Pockelszellen in Parallelschaltung angeordnet. Durch die Reihenschaltung der optischen Modulatoren wird vorteilhafterweise die schaltbare Leistung erhöht und die Schaltzeit verringert. Alternativ werden zwei Pockelszellen für vorteilhafte Schaltzeiten kleiner 50 ns eingesetzt. Dabei wird der zufällig polarisierte Laserstrahl in zwei senkrecht zueinander polarisierte Laserstrahlen aufgeteilt, welche in den beiden Pockelszellen parallel geschaltet und danach wieder zusammengeführt werden.

[0013] Zur schnellen Strahlableitung ist der Zeilenscanner nach der Weiterbildung des Patentanspruchs 6 vorzugsweise ein Polygonscanner oder Galvo-Resonanzscanner.

[0014] Nach der Weiterbildung des Patentanspruchs 7 ist die Drehgeschwindigkeit des Polygonscanners oder die Scanfrequenz des Galvo-Resonanzscanners so groß, dass die Ablenkgeschwindigkeit der Laserstrahlen auf der Oberfläche des Körpers oder der Pulverschicht größer 50 m/s ist.

[0015] Der Laser ist nach der Weiterbildung des Patentanspruchs 8 vorteilhafterweise ein Monomode-Faserlaser oder ein Monomode-Scheibenlaser mit einer Leistung größer 1 kW.

[0016] Der Monomode-Faserlaser oder der Monomode-Scheibenlaser ist nach der Weiterbildung des Patentanspruchs 9 ein hochrepetierender Ultrakurzpulslaser. Damit kann der Laser vorteilhafterweise zur schnellen Bearbeitung von Oberflächen, zum schnellen Abtragen von Schichten oder zur schnellen indirekten Bearbeitung mit einem Laserplasma eingesetzt werden.

[0017] Die mit den abgelenkten Laserstrahlen beaufschlagte Oberfläche der Pulverschicht ist nach der Weiterbildung des Patentanspruchs 10 die Oberfläche einer mit einer sich drehenden Rakel aufgetragenen Pulverschicht, so dass wenigstens Partikel der Pulverschicht sintern und/oder schmelzen.

[0018] Die Drehgeschwindigkeit der Rakel ist nach der Weiterbildung des Patentanspruchs 11 zur Durchführung des Hochleistungsverfahrens größer 100 U/min.

[0019] Die mit den abgelenkten Laserstrahlen beaufschlagte Oberfläche der Pulverschicht ist nach

der Weiterbildung des Patentanspruchs 12 die Oberfläche einer mit einer Breitstrahldüse aufgetragenen Pulverschicht, so dass die Schicht über ein selektives Pulverauftragsschweißen mit einem Körper verbunden wird.

[0020] Die mit den abgelenkten Laserstrahlen beaufschlagte Oberfläche des Körpers ist nach der Weiterbildung des Patentanspruchs 13 wenigstens ein Bereich einer abzutragenden Schicht zur zwei- oder dreidimensionalen Lasermikrostrukturierung des Körpers.

[0021] Die mit den abgelenkten Laserstrahlen beaufschlagte Oberfläche des Körpers ist nach der Weiterbildung des Patentanspruchs 14 die Oberfläche eines Körpers für eine indirekte Bearbeitung mit Laserplasma zur spannungsarmen Mikrostrukturierung von Körpern.

[0022] Die mit den abgelenkten Laserstrahlen beaufschlagte Oberfläche des Körpers ist nach der Weiterbildung des Patentanspruchs 15 die Oberfläche eines Targets in einer physikalischen Dampfabscheideeinrichtung, wobei eine Beschichtung von gegenüber stehenden Substraten mit einer hohen Schichtabscheiderate erfolgt.

[0023] Die bestrahlte Oberfläche des Körpers ist nach der Weiterbildung des Patentanspruchs 16 entweder die Oberfläche des Körpers, wobei diese gereinigt, modifiziert, gehärtet, nanostrukturiert, geschmolzen, geglättet, indirekt gesputtert oder direkt abgetragen wird, oder eine Pulveroberfläche auf dem Körper, wobei diese gesintert oder geschmolzen wird.

[0024] Die Fokussieroptik ist nach der Weiterbildung des Patentanspruchs 17 eine mindestens eindimensionale f-Theta-Optik oder eine Fokussieroptik mit einem Element zur vertikalen Fokussierung auf der Oberfläche des Körpers. Damit ist gewährleistet, dass der Fokus auf der Oberfläche des Körpers unabhängig vom Auslenkwinkel des Galvoscanners immer den gleichen Durchmesser und die gleiche vertikale Lage besitzt.

[0025] Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen jeweils prinzipiell dargestellt und werden im Folgenden näher beschrieben.

[0026] Es zeigen:

[0027] [Fig. 1](#) eine Einrichtung zur Hochleistungs-Mikrobearbeitung eines Körpers oder einer Pulverschicht mit einem Laser hoher Brillanz,

[0028] [Fig. 2](#) eine Einrichtung zum Lasermikrosintern,

[0029] [Fig. 3](#) eine Einrichtung zur zwei- oder dreidimensionalen Mikrostrukturierung,

[0030] [Fig. 4](#) eine Einrichtung zum Pulverauftrags-schweißen und

[0031] [Fig. 5](#) eine Einrichtung für ein PLD (Pulsed Laser Deposition)-Verfahren.

[0032] In den nachfolgenden Ausführungsbeispielen werden jeweils Verfahren und Einrichtungen zur Hochleistungs-Mikrobearbeitung eines Körpers oder einer Pulverschicht mit einem Laser hoher Brillanz zusammen näher erläutert.

[0033] Die Einrichtungen zur Hochleistungs-Mikrobearbeitung eines Körpers mit einem Laser **1** hoher Brillanz der folgenden Ausführungsbeispiele bestehen dabei im Wesentlichen aus einem Strahlschalter **2**, einem Galvoscaner **3**, einem Zeilenscanner in Form vorzugsweise eines Polygonscanners **4** und einer Fokussieroptik in Form einer mindestens eindimensionalen f-Theta-Optik, die im Strahlengang nach dem Laser angeordnet sind.

[0034] Die [Fig. 1](#) zeigt eine Einrichtung zur Hochleistungs-Mikrobearbeitung eines Körpers oder einer Pulverschicht mit einem Laser hoher Brillanz in einer prinzipiellen Darstellung.

[0035] Dabei wird eine Oberfläche des Körpers **5** oder der Pulverschicht mit den durch den Polygonscanner **4** abgelenkten fokussierten Laserstrahlen zeilenweise beaufschlagt. Ein Zeilenwechsel erfolgt mittels des Galvoscaners **3**. Bei einer Ablenkgeschwindigkeit von 200 m/s und einer Scanlänge von 100 mm beträgt die Drehgeschwindigkeit des Polygonscanners **4** beispielsweise 10.000 U/min. Die Scanfrequenz beträgt dabei 2 kHz. Alternativ kann ein Galvo-Resonanzscanner mit einer Scanfrequenz von 2 kHz zum Einsatz gelangen.

[0036] Zur Erhaltung der Fokusposition beim Zeilenwechsel mit dem Galvoscaner **3** wird die f-Theta-Optik eingesetzt. Diese ist in der [Fig. 1](#) nicht gezeigt.

[0037] In einem ersten Ausführungsbeispiel wird ein Verfahren und eine Einrichtung zum Lasermikrosintern genutzt.

[0038] Die [Fig. 2](#) zeigt eine Einrichtung zum Lasermikrosintern in einer prinzipiellen Darstellung.

[0039] Dazu wird ein kontinuierlich strahlender Monomode-Faserlaser mit einer Leistung von 2,5 kW als Laser **1** eingesetzt. Monomode bedeutet in diesem und den folgenden Ausführungsbeispielen $M^2 < 1,3$. Der Laserstrahl wird auf einen Durchmesser von 60 μm fokussiert. Die Intensität im Fokus beträgt für das

Verfahren notwendige $0,88 \cdot 10^8 \text{ W/cm}^2$. Bei einer Scangeschwindigkeit von 200 m/s ergibt sich eine durchschnittliche Einwirkzeit im Fokus von 300 ns. Auf die Oberfläche eines Körpers **5** werden nacheinander Pulverschichten **6** aufgetragen, die jeweils nach dem Aufbringen mit den Laserstrahlen des Lasers **1** beaufschlagt werden. Zum Auftrag wird eine schnell drehende Ringrakel **7** genutzt, deren Drehzahl vorzugsweise 250 U/min beträgt.

[0040] Bei einer Fläche des Bauraumes **8** von 10 cm^2 und einem Spurbstand von 30 μm ergibt sich eine Scanzeit von 165 ms für eine Pulverschicht **6**. Bei einer Schichtdicke von 5 μm können mit diesem Hochleistungsverfahren pro Stunde 72 cm^3 generiert werden. Die Auflösung des Verfahrens liegt im Bereich von kleiner 100 μm . Dafür sind Schaltzeiten des Strahlschalters **2** von kleiner 500 ns erforderlich. Der Körper befindet sich dabei vorteilhafterweise auf einem Träger **9**, der in der Höhe verfahrbar ist. Es können mikrostrukturierte Werkzeuge oder integrierte Mikrogeräte, zum Beispiel eine Turbine in einem Gehäuse oder ein funktionales Mikrochirurgiewerkzeug, effektiv hergestellt werden. Das Sintern von superharten Materialien wie WC, TaC, TiC oder HfC ist möglich. Als Binder können hochschmelzende Metalle wie Wolfram und Tantal eingesetzt werden.

[0041] In einem zweiten Ausführungsbeispiel wird ein Verfahren und eine Einrichtung zur Lasermikrostrukturierung in Form einer zweidimensionalen Mikrostrukturierung eingesetzt.

[0042] Die [Fig. 3](#) zeigt eine Einrichtung zur zwei- oder dreidimensionalen Mikrostrukturierung in einer prinzipiellen Darstellung.

[0043] Die Leistung des kontinuierlich strahlenden Monomode-Scheibenlasers als Laser **1** beträgt 2,5 kW. Der Fokusbereich ist 40 μm und die Intensität im Fokus beträgt $2 \cdot 10^8 \text{ W/cm}^2$. Die Scangeschwindigkeit ist dabei 400 m/s, wodurch eine durchschnittliche Einwirkzeit im Fokus von 100 ns vorhanden ist. Die Auflösung des Verfahrens liegt im Bereich von kleiner 50 μm . Dafür sind Schaltzeiten des Strahlschalters von kleiner 125 ns und eine Scanfrequenz von 4 kHz erforderlich. Bei einem Spurbstand von 25 μm wird mit dem Verfahren eine Flächenabtragsrate von 100 cm^2/s erzielt.

[0044] Dabei erfolgt ein strukturiertes Abtragen von Schichten bis zu einer maximalen Dicke von 5 μm . Das Verfahren und die Einrichtung sind für extrem schnelle Durchlaufprozesse oder eine Hochleistungsmikrostrukturierung von Oberflächenschichten, zum Beispiel für die Solartechnik, geeignet. Zur Realisierung eines Verfahrens oder einer Einrichtung zur Bearbeitung großer Flächen sind weitere Achsen zur Bewegung des Körpers oder zur Bewegung der Einrichtung zur Hochleistungs-Mikrobearbeitung ange-

bracht.

[0045] In einem dritten Ausführungsbeispiel wird ein Verfahren und eine Einrichtung zur dreidimensionalen Mikrostrukturierung genutzt. Die Leistung des kontinuierlich strahlenden Monomode-Faser- oder Monomode-Scheibenlasers als Laser **1** beträgt 2,5 kW, der Fokusbereich ist 20 μm . Die Intensität im Fokus beträgt $8 \cdot 10^8 \text{ W/cm}^2$. Die Scangeschwindigkeit ist dabei 400 m/s, wodurch sich eine durchschnittliche Einwirkzeit im Fokus von 50 ns ergibt. Die Auflösung des Verfahrens liegt im Bereich von kleiner 25 μm . Dafür sind Schaltzeiten des Strahlschalters von kleiner 62,5 ns und eine Scanfrequenz von 4 kHz erforderlich. Bei einem Spurbstand von 25 μm und einer Abtragtiefe von 10 μm wird mit dem Verfahren und der Einrichtung eine Volumenrate von $6 \text{ cm}^3/\text{min}$ erzielt. Dabei werden insbesondere Mikrokavitäten für Werkzeuge in harte oder superharte Materialien oder dreidimensional strukturierte Oberflächen in Keramik, zum Beispiel für die Dentaltechnik, hergestellt. Die [Fig. 3](#) zeigt dazu eine Einrichtung zur zwei- oder dreidimensionalen Mikrostrukturierung in einer prinzipiellen Darstellung.

[0046] In einem vierten Ausführungsbeispiel wird ein Verfahren und eine Einrichtung für ein Oberflächenverfahren genutzt. Es kommt ein fs-Monomode-Faserlaser als Laser **1** mit einer Leistung von 1 kW zum Einsatz. Die Repetitionsrate des Lasers **1** beträgt 100 MHz, die Pulszeit ist 300 fs und die Pulsenergie beträgt 10 μJ . Die Scangeschwindigkeit ist 400 m/s bei einem Spurbstand von 100 μm . Dabei kommen eine lange Brennweite von 1000 mm und ein relativ großer Fokusbereich kleiner/gleich 100 μm zum Einsatz. Die maximale Intensität im Fokus beträgt $1 \cdot 10^{11} \text{ W/cm}^2$. Die durchschnittliche Einwirkzeit beträgt 250 ns. Die Auflösung des Verfahrens und der Einrichtung liegen im Bereich von kleiner 100 μm . Dafür sind Schaltzeiten des Strahlschalters **2** von kleiner 250 ns erforderlich. Bei einem Spurbstand von 100 μm wird mit dem Verfahren und der Einrichtung eine Flächenbearbeitungsrate von 400 cm^2/s erzielt.

[0047] Dabei werden Oberflächen durch Erzeugen von Nanostrukturen, Mikromustern, definierten Rauheiten, Materialmodifikationen oder durch partielles Verdichten (Härten) sowie durch Reinigen in großer Geschwindigkeit funktionalisiert.

[0048] In einem fünften Ausführungsbeispiel wird ein Verfahren und eine Einrichtung für ein Pulverauftragungsschweißen genutzt.

[0049] Die [Fig. 4](#) zeigt eine Einrichtung zum Pulverauftragungsschweißen in einer prinzipiellen Darstellung.

[0050] Die Leistung des kontinuierlich strahlenden Monomode-Faser- oder Monomode-Scheibenlasers

als Laser **1** beträgt 2,5 kW. Der Laserstrahl wird auf einen Durchmesser von 60 μm fokussiert. Die Intensität im Fokus beträgt $0,88 \cdot 10^8 \text{ W/cm}^2$. Bei einer Scangeschwindigkeit von 200 m/s ergibt sich eine durchschnittliche Einwirkzeit im Fokus von 300 ns. Die Pulverzufuhr erfolgt mittels einer Breitstrahl Düse. Dabei handelt es sich um ein selektives Pulverauftragungsschweißen, wobei mit einem Spurbstand von 50 μm ungefähr $10 \text{ cm}^2/\text{s}$ mit einer Schichtdicke von 10 μm erzeugt werden können.

[0051] Derartige Schichten sind beispielsweise Leiterbahnen **10** aus der Pulverschicht **6** für die Solartechnik oder Mikroerhebungen auch auf großflächigen Werkzeugen als Körper **5**. Darüber hinaus können auch Mikroteile mit begrenzter Hinterschneidung, beispielsweise beliebig geformte Röhrchen, hergestellt werden. Das Pulverauftragungsschweißen von superharten Materialien wie WC, TaC, TiC oder HfC ist möglich. Als Binder können hochschmelzende Metalle wie Wolfram oder Tantal eingesetzt werden.

[0052] In einem sechsten Ausführungsbeispiel wird ein Verfahren und eine Einrichtung für eine Plasmabearbeitung genutzt.

[0053] Die Leistung des kontinuierlich strahlenden Monomode-Faserlasers als Laser **1** beträgt 5 kW, der Fokusbereich ist 10 μm . Die Intensität im Fokus beträgt $6,4 \cdot 10^9 \text{ W/cm}^2$.

[0054] Alternativ kann ein fs-Monomode-Faserlaser mit einer Leistung von 1 kW zum Einsatz gelangen. Die Repetitionsrate des Lasers **1** beträgt 100 MHz, die Pulszeit ist 300 fs und die Pulsenergie beträgt 10 μJ . Der Fokusbereich ist 10 μm und die Intensität beträgt im Fokus $1 \cdot 10^{13} \text{ W/cm}^2$.

[0055] Die Scangeschwindigkeit beträgt dabei jeweils 400 m/s, wodurch sich eine durchschnittliche Einwirkzeit im Fokus von 25 ns ergibt. Die benötigte Scanfrequenz beträgt 4 kHz. Die Auflösung liegt im Bereich von kleiner 20 μm . Dafür sind Schaltzeiten des Strahlschalters **2** von kleiner 50 ns erforderlich. Bei einem Spurbstand von 10 μm wird eine Flächenabtragsrate von 40 cm^2/s erzielt.

[0056] Der Laserfokus liegt über der zu bearbeitenden Oberfläche. Dabei erfolgt eine indirekte Bearbeitung mit dem entstehenden Laserplasma, ähnlich dem Sputtern. Besonders vorteilhaft können damit Silizium, Glas oder Keramik spannungsarm mikrostrukturiert werden.

[0057] In einem siebten Ausführungsbeispiel wird ein Verfahren und eine Einrichtung für ein PLD (Pulsed Laser Deposition)-Verfahren genutzt.

[0058] Die [Fig. 5](#) zeigt eine Einrichtung für ein

PLD-Verfahren in einer prinzipiellen Darstellung.

[0059] Die Leistung des Lasers **1** beträgt 2,5 kW, der Fokusbereich ist 10 μm . Die Intensität im Fokus beträgt $3,2 \cdot 10^9 \text{ W/cm}^2$. Die Scangeschwindigkeit ist 400 m/s, wodurch sich eine durchschnittliche Einwirkzeit im Fokus von 25 ns ergibt. Die notwendige Auflösung liegt im Bereich von kleiner 200 μm . Dafür sind Schaltzeiten des Strahlschalters **2** von kleiner 500 ns erforderlich. Die Scanfrequenz beträgt 8 kHz bei einer Länge der Scanlinie von 50 mm. Bei einem Spurbereich von 25 μm wird mit dem Verfahren und der Einrichtung auf dem Target **11** als Körper **5** eine Flächenabtragsrate von $100 \text{ cm}^2/\text{s}$ erzielt. Dadurch können hohe Schichtabscheideraten auf einem Substrat erreicht werden. Das Substrat ist in der [Fig. 5](#) nicht gezeigt.

ZITATE ENHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- US 4863538 [0002]
- DE 4309524 C2 [0003]
- DE 19953000 C2 [0004]

Patentansprüche

1. Verfahren zur Hochleistungs-Mikrobearbeitung eines Körpers oder einer Pulverschicht mit einem Laser hoher Brillanz, **dadurch gekennzeichnet**, dass über im Strahlengang nach dem Laser (1) mit einer mittleren Leistung gleich oder größer 1 kW angeordneten Strahlschalter (2), Galvoscanner (3), Zeilenscanner und Fokussieroptik eine Oberfläche des Körpers (5) oder der Pulverschicht (6) mit den durch den Zeilenscanner abgelenkten fokussierten Laserstrahlen zeilenweise beaufschlagt wird und mittels des Galvoscanners (3) Zeilenwechsel erfolgen, wobei der fokussierte Laserstrahl mit einem Durchmesser kleiner 100 µm auf der Oberfläche eine Geschwindigkeit größer 50 m/s besitzt.

2. Verfahren nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass durch mehrmaliges nacheinander folgendes zeilenweises Beaufschlagen mit mehreren Zeilenwechseln dreidimensionale Strukturen erzeugt werden.

3. Einrichtung zur Hochleistungs-Mikrobearbeitung eines Körpers oder einer Pulverschicht mit einem Laser hoher Brillanz, dadurch gekennzeichnet, dass im Strahlengang nach dem Laser (1) ein Strahlschalter (2), ein Galvoscanner (3), ein Zeilenscanner und eine Fokussieroptik angeordnet sind, so dass eine Oberfläche des Körpers (5) oder der Pulverschicht (6) mit den durch den Zeilenscanner abgelenkten fokussierten Laserstrahlen zeilenweise beaufschlagt wird und mittels des Galvoscanners (3) ein Zeilenwechsel erfolgt.

4. Einrichtung nach Patentanspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Strahlschalter (2) eine Anstiegszeit kleiner 500 ns aufweist, so dass dadurch partiell bestrahlte konturierte Schichten des Körpers (5) oder aus der Pulverschicht (6) erzeugt werden.

5. Einrichtung nach Patentanspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass entweder optische Modulatoren in Reihenschaltung oder Pockelszellen in Parallelschaltung der Strahlschalter (2) ist.

6. Einrichtung nach Patentanspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Zeilenscanner vorzugsweise ein Polygonscanner (4) oder Galvo-Resonanzscanner ist.

7. Einrichtung nach Patentanspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Drehgeschwindigkeit des Polygonscanners (4) oder die Scanfrequenz des Galvo-Resonanzscanners so groß ist, dass die Ablengeschwindigkeit der Laserstrahlen auf der Oberfläche des Körpers (5) oder der Pulverschicht (6) größer 50 m/s ist.

8. Einrichtung nach Patentanspruch 3, dadurch

gekennzeichnet, dass der Laser (1) ein Monomode-Faserlaser oder ein Monomode-Scheibenlaser mit einer mittleren Leistung gleich oder größer 1 kW ist.

9. Einrichtung nach Patentanspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Monomode-Faserlaser oder der Monomode-Scheibenlaser ein hochrepetierender Ultrakurzpulslaser ist.

10. Einrichtung nach Patentanspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die mit den abgelenkten Laserstrahlen beaufschlagte Oberfläche der Pulverschicht (6) die Oberfläche einer mit einer sich drehenden Ringrakel (7) aufgetragenen Pulverschicht (6) ist, so dass wenigstens Partikel der Pulverschicht (6) sintern und/oder schmelzen.

11. Einrichtung nach Patentanspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Drehgeschwindigkeit der Ringrakel (7) größer 100 U/min ist.

12. Einrichtung nach Patentanspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die mit den abgelenkten Laserstrahlen beaufschlagte Oberfläche der Pulverschicht (6) die Oberfläche einer mit einer Breitstrahldüse aufgetragenen Pulverschicht (6) ist, so dass die Pulverschicht (6) über ein selektives Pulverauftragschweißen mit einem Körper verbunden wird.

13. Einrichtung nach Patentanspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die mit den abgelenkten Laserstrahlen beaufschlagte Oberfläche des Körpers (5) wenigstens ein Bereich einer abzutragenden Schicht zur zwei- oder dreidimensionalen Lasermikrostrukturierung des Körpers (5) ist.

14. Einrichtung nach Patentanspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die mit den abgelenkten Laserstrahlen beaufschlagte Oberfläche des Körpers (5) die Oberfläche eines Körpers (5) für eine indirekte Bearbeitung mit Laserplasma zur spannungsarmen Mikrostrukturierung von Körpern ist.

15. Einrichtung nach Patentanspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die mit den abgelenkten Laserstrahlen beaufschlagte Oberfläche des Körpers (5) die Oberfläche eines Targets (11) in einer physikalischen Dampfabscheideeinrichtung ist, wobei eine Beschichtung von gegenüber stehenden Substraten mit einer hohen Schichtabscheiderate erfolgt.

16. Einrichtung nach Patentanspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die bestrahlte Oberfläche entweder die Oberfläche des Körpers (5), wobei diese gereinigt, modifiziert, gehärtet, nanostrukturiert, geschmolzen, geglättet, indirekt gesputtert oder direkt abgetragen werden, oder eine Pulveroberfläche auf dem Körper (5), wobei diese gesintert oder geschmolzen werden, ist.

17. Einrichtung nach Patentanspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Fokussieroptik eine mindestens eindimensionale f-Theta-Optik oder eine Fokussieroptik mit einem Element zur vertikalen Fokussnachführung auf der Oberfläche des Körpers **(5)** ist.

18. Verwendung von Laserstrahlen hoher Brillanz zur Hochleistungs-Mikrobearbeitung, dadurch gekennzeichnet, dass die mit einer Geschwindigkeit von größer 50 m/s abgelenkten und mittels eines Anstiegszeit von kleiner 500 ns aufweisenden Strahlschalters **(2)** geschalteten Laserstrahlen mit einer mittleren Leistung gleich oder größer 1 kW zur Hochleistungs-Mikrobearbeitung in Form von Reinigen, Modifizieren, Härten, Nanostrukturieren, Schmelzen, Sintern, Glätten, indirekten Sputtern oder eines direkten Materialabtrags eines Körpers **(5)** oder einer Pulverschicht **(6)** verwendet werden.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

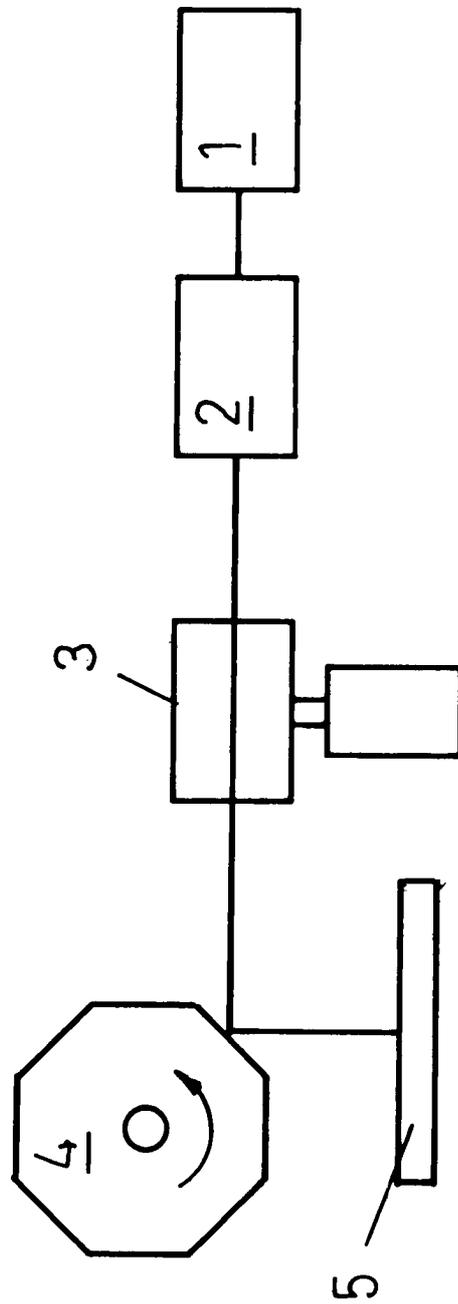


Fig. 1

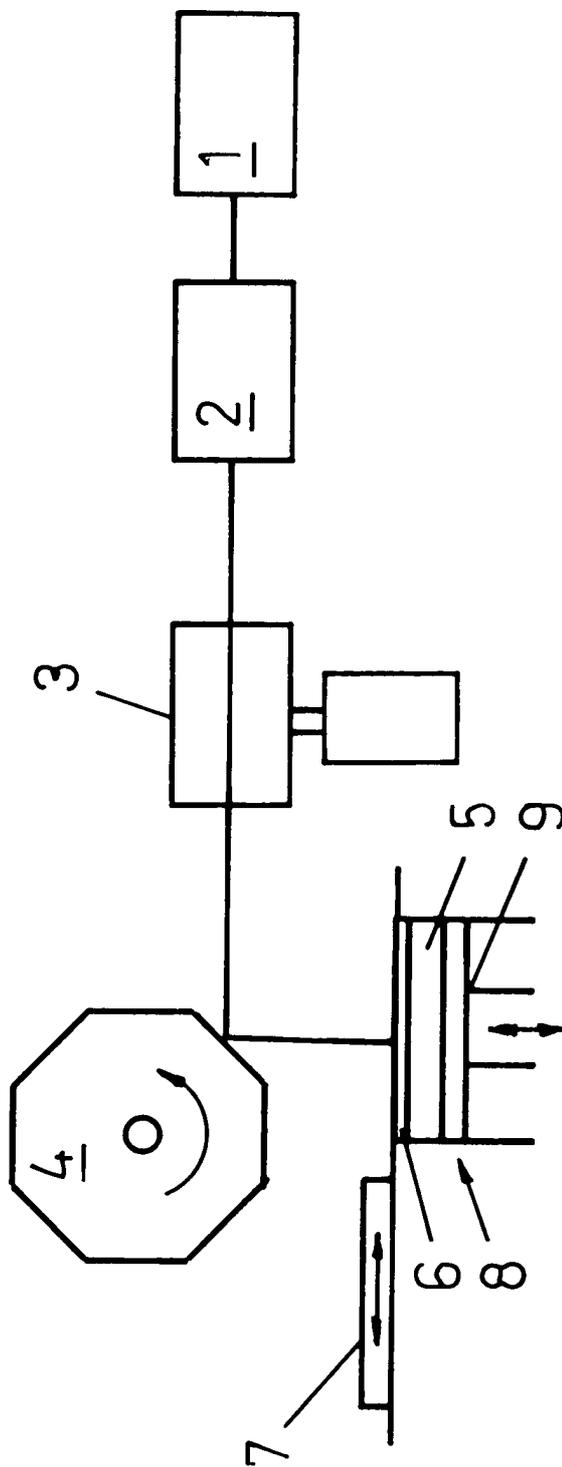


Fig. 2

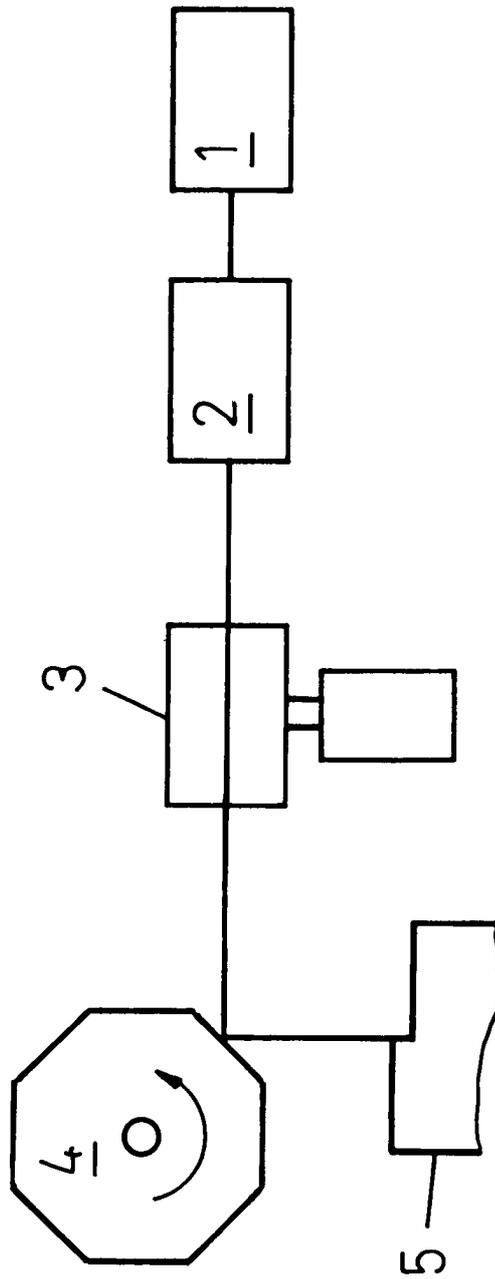


Fig. 3

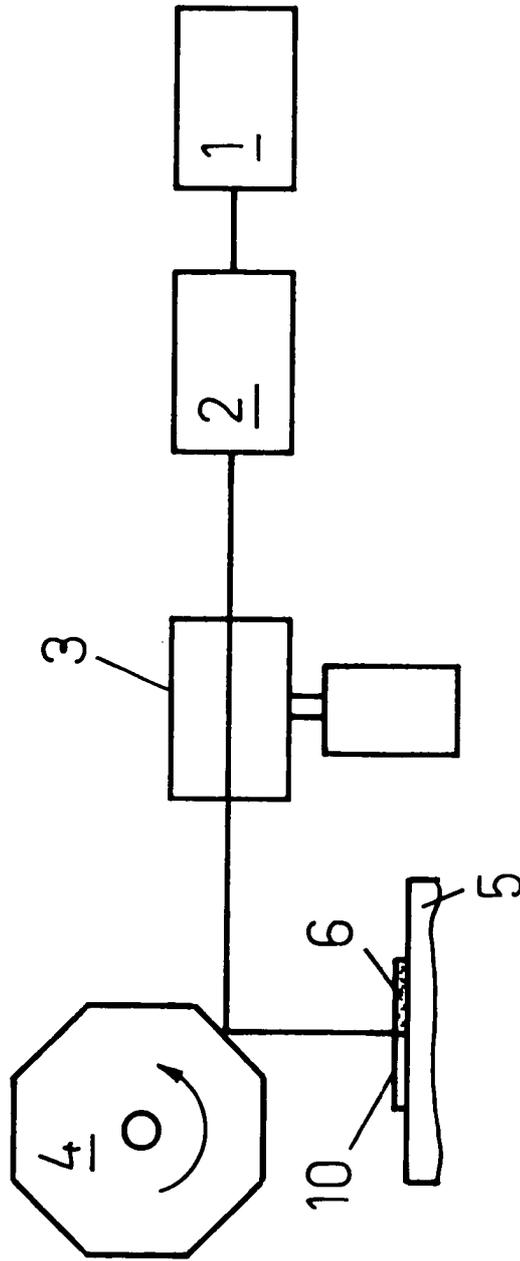


Fig. 4

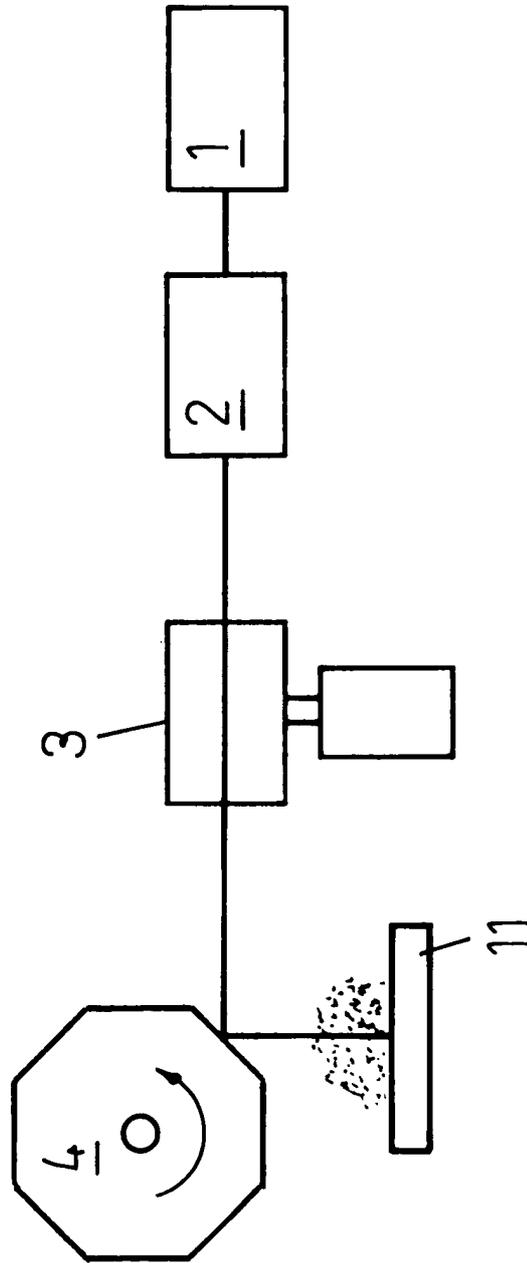


Fig. 5