

Verfahren und Vorrichtung zum Aufbau eines Festkörpers

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum
5 Aufbau eines Festkörpers.

Es sind mehrere Verfahren zum Aufbau von Festkörpern bekannt.
Mit ihnen werden auf der Basis von Geometriedaten beschreibbare
Objekte generiert. Sie dienen der schnellen und preiswerten Her-
10 stellung von Prototypen (rapid prototyping), Werkzeugen (rapid
tooling) und sogar Werkstücken in Produktionsqualität (rapid
manufacturing). Hierbei ist ein schichtweiser Aufbau des
Festkörpers für kleine Serien und komplexe Geometrien oft ein
bevorzugter Herstellungsprozess (layered manufacturing). Ein
15 Nachteil von schichtweisen Herstellungsverfahren ist die bislang
geringe Vielfalt an verwendbaren Materialien und damit verbunden
eine gewisse Beschränktheit hinsichtlich der Materialeigen-
schaften des hergestellten Festkörpers.

20 Ein herkömmliches Verfahren zum Aufbau eines Festkörpers ist die
Stereolithographie. Hierbei werden dreidimensionale Modelle aus
photosensitiven Polymeren erzeugt, die bei Belichtung mit
ultraviolettem Licht aushärten. Ein UV-Laser zeichnet die
Schnittformen des Modells auf die Oberfläche eines flüssigen
25 Kunststoffes. Nach dem Aushärten wird jedes Mal das Modell um
eine Schichtdicke abgesenkt und die nächste Schnittform gezeich-
net. Schließlich wird das feste Modell aus dem Bad genommen und
gereinigt.

30 Ähnlich ist das selektive Laser-Sintern (selective laser
sintering). Anstelle flüssigen Kunststoffes verwendet man hier
pulverförmige Substanzen, deren Partikel unter dem Einfluss des
Laserstrahls miteinander verkleben. Neben Kunststoffen wie Nylon
kommen auch Metallpulver zum Einsatz.

35 Es gibt Laminier-Verfahren, welche das Modell aus übereinander
geklebten Folien nachbilden. Die Folien bestehen zumeist aus
Kunststoff oder Papier und sind einseitig mit einem durch Wärme
aktivierbaren Klebstoff beschichtet.

Beim Fused Deposition Modeling wird mittels einer Extrusions-
vorrichtung ein dickflüssiger, geschmolzener Kunststoff auf das
Modell aufgetragen, wo er wieder erstarrt. Das Rohmaterial wird
in Form eines Drahtes zugeführt. Verwandt ist der 3D-
5 Tintenstrahl-Druck. Hier wird anstelle der Tinte geschmolzener
Kunststoff auf das Modell gespritzt.

Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Vorrichtung
und ein Verfahren zum Herstellen eines Festkörpers anzugeben.

10 Insbesondere ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung eine
vereinfachte Herstellung von Objekten mit komplizierter
Geometrie und innerer Struktur zu ermöglichen, wobei
insbesondere eine größere Auswahl an Materialien und deren
15 Mischungen zum Einsatz kommen kann.

Gemäß einer Ausführungsform unterteilt sich das Herstellen einer
Materialschicht in zwei Arbeitsschritte, die meist nacheinander
ausgeführt werden können: Zuerst wird Rohmaterial aus einem Vor-
20 ratsbehälter bzw. einem Materialreservoir in die Nähe einer
Stelle des Festkörpers bzw. Werkstücks transportiert, an welcher
dieser zum weiteren Aufbau desselben ergänzt wird. Anschließend
wird das herangebrachte Material mit dem Werkstück verbunden.
Bei dem Transport wird das Material mit möglichst hoher
25 Präzision und relativ schnell in dünnen Schichten aufgetragen.
Vorteilhafterweise wird hierbei die nachfolgende, selektive Ver-
festigung der Schicht an dem Festkörper nicht behindert.

Die Geschwindigkeit des Materialtransports kann beispielsweise
30 dadurch begrenzt sein, dass das Material unter Einwirkung der
Schwerkraft in seine endgültige Position an dem Festkörper
fließen oder fallen muss.

Gemäß einer Ausführungsform wird ein schneller und gleichzeitig
35 präziser Materialtransport dadurch erreicht, dass dieser auf
einer gleichmäßig rotierenden Scheibe erfolgt. Die Übertragung
von Material erfolgt in zwei Stufen durch geeignete
physikalische oder chemische Prozesse. In der ersten Stufe wird
Rohmaterial aus dem Vorrat abgetragen und auf die Scheibe

gebracht. Mit dieser bewegt er sich an seinen Bestimmungsort. Dort angekommen, gelangt das Material schließlich in einem zweiten Übertragungsprozess von der Transportscheibe auf das Werkstück. Beide Übertragungsprozesse können parallel ablaufen, 5 so dass durch die Aufteilung kein Zeitverlust entsteht.

Die Bearbeitungsebene bzw. der Abscheidungsort des Werkstücks, also dort wo die aktuelle Schicht entsteht, liegt dicht unter der Transportscheibe. Der Übertragungsweg kann sehr kurz sein. 10 Das selbe gilt für die Abtragungsebene des Materialvorrats, der im Zuge des Verfahrens Schicht für Schicht abgebaut wird. Werkstück wie Materialvorrat werden durch Positioniervorrichtungen nachgeführt. Abtrageort und Auftrageort eines Materialteilchens haben von der Rotationsachse der Scheibe den selben Abstand, 15 liegen also auf der selben Spur.

Der Materialtransport erfolgt praktisch in einer Ebene und für ein jedes einzelne Materialteilchen sogar innerhalb der selben radialen Spur bezüglich der Rotationsachse. Die Bahn eines Teilchens ist damit durch dessen Verweildauer auf der 20 Transportscheibe bestimmt, was sich technisch sehr leicht und präzise steuern lässt.

Ausführungsformen der Erfindung werden nachfolgend anhand von 25 Figuren näher erläutert:

Figur 1 zeigt eine vereinfachte schematische Darstellung einer Herstellvorrichtung gemäß einer Ausführungsform der Erfindung, 30

Figur 2 zeigt eine vereinfachte schematische Darstellung einer Herstellvorrichtung gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung,

35 Figur 3 zeigt eine vereinfachte schematische Darstellung einer Herstellvorrichtung gemäß noch einer weiteren Ausführungsform der Erfindung,

Figur 4 zeigt schematisch ein Verfahren zum Aufbau eines Festkörpers gemäß einer Ausführungsform der Erfindung unter Verwendung der in Figur 3 gezeigten Herstellvorrichtung, und

5
Figur 5 zeigt eine vereinfachte schematische Darstellung einer Herstellvorrichtung gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung.

10
Figur 1 zeigt schematisch eine Herstellvorrichtung gemäß einer Ausführungsform der Erfindung. Die Herstellvorrichtung 1 umfasst einen um eine Drehachse 5 durch Betätigung eines Antriebs 4 drehbaren Trägerkörper 3. Der Trägerkörper 3 besteht aus Glas und ist für Laserstrahlung durchlässig.

15
Mehrere Materialreservoirs 7, welche Rohmaterialien in fester oder auch flüssiger Form bereitstellen, sind jeweils so relativ zu dem Trägerkörper angeordnet, dass Oberflächen 9 der Materialreservoirs 7 mit Abstand von einer Oberfläche 11 des
20 Trägerkörpers 3 angeordnet sind. Hierzu ist ein jedes Materialreservoirs 7 an einer Halterung 13 gehalten, welche durch einen Antrieb 15 in Richtung eines Pfeils 17 parallel zu der Drehachse 5 sowie radial bezüglich der Drehachse 5 verlagerbar ist und gegebenenfalls auch um ihre eigene Achse drehbar ist.

25
Ein Festkörper 19, welcher mit der Herstellvorrichtung 1 aufgebaut werden soll, ist an einer Halterung 21 gehalten, welche durch einen Antrieb 23 sowohl in Richtung eines Pfeils 25 parallel zu der Drehachse 5 als auch in Richtung eines Pfeils 27
30 radial bezüglich der Drehachse 5 verlagerbar ist.

Ein Laser 31 emittiert einen Laserstrahl 33, welcher über einen Umlenkspiegel 35, dessen Orientierung durch einen Antrieb 36 änderbar ist, durch die Glasscheibe 3 hindurch auf die
35 Oberfläche 9 des Materialreservoirs 7 gerichtet ist.

Ein Laser 37 emittiert einen Laserstrahl 39, welcher über einen Umlenkspiegel 41, dessen Orientierung durch einen Antrieb 42

änderbar ist, durch die Glasscheibe 3 hindurch auf eine Oberfläche 20 des Festkörpers 19 gerichtet ist.

5 Eine Steuerung 43, welche einen oder mehrere miteinander ver-
netzte Computer oder Recheneinheiten umfassen kann, steuert den
Antrieb 4 zur Drehung der Glasscheibe 3, die Antriebe 7 zur
Einstellung der Abstände zwischen den Oberflächen 9 der
Materialreservoirs 7 und der Oberfläche 11 der Glasscheibe 3,
den Antrieb 23 zur Einstellung der Position der Oberfläche 20
10 des Festkörpers 19 bezüglich der Glasscheibe 3, die Antriebe 36
und 42 zur Einstellung der Orientierung der Spiegel 35 bzw. 41
sowie die Laser 31 und 37 zur Erzeugung der Laserstrahlen 33
bzw. 39.

15 Der abtragende Laserstrahl 33 kann, unter der Kontrolle der
Steuerung 43, durch die Glasscheibe 3 hindurch jeden Ober-
flächenpunkt des Materialvorrats erreichen und dort dem Material
des Materialreservoirs 7 Energie zuführen und dieses beispiels-
weise verdampfen. Der Materialdampf kondensiert in einem
20 Teilbereich der Oberfläche 11 der kalten Drehscheibe 3. Hierbei
kann an einer Vielzahl von Teilbereichen der Oberfläche 11 der
Drehscheibe 3 Material abgeschieden werden. Die Teilbereiche
können einander Überlappen oder voneinander separiert sein, und
sie können sowohl in Umfangsrichtung als auch in Radialrichtung
25 bezüglich der Drehachse 5 relativ zueinander versetzt sein.
Hierzu kann der Laserstrahl 33 durch den Laser 31 gepulst oder
kontinuierlich erzeugt werden und durch den Spiegel 35 an radial
oder in Umfangsrichtung um die Drehachse versetzt zueinander an-
geordnet Orte auf der Oberfläche 9 des Materialreservoirs 7
30 gerichtet sein.

Aufgrund der Drehung der Glasscheibe 3 um die Achse 5 gelangen
die Oberflächenbereiche, auf welche Material übertragen wurde,
mitsamt dem dort abgeschiedenen Material zu dem Werkstück 19.
35 Über der gewünschten Auftragsstelle an der Oberfläche 20 des
Werkstücks 19 wird dem auf der Scheibe abgeschiedenen Material
durch den Laserstrahl 39 Energie zugeführt, so dass wenigstens
ein Teil davon auf die Oberfläche 20 des Werkstücks 19 übergeht
und dort deponiert wird. Beispielsweise wird das Material an der

Glasscheibe durch die Energiezuführung durch den Laserstrahl verdampft, sublimiert oder in einer anderen Weise von der Oberfläche 11 der Glasscheibe 3 gelöst. Ein Teil des von der Oberfläche 11 gelösten Materials schlägt sich, beispielsweise durch Kondensieren oder eine andere Art der Abscheidung, auf dem Werkstück 19 nieder.

In den Zwischenräumen zwischen den Oberflächen 9 und 20 der Materialreservoirs 7 bzw. des Werkstücks 19 einerseits und der Oberfläche 11 der Glasscheibe 3 andererseits kann ein Vakuum oder ein Schutzgas, wie beispielsweise Stickstoff vorgesehen sein. Hierbei können die einzelnen Materialreservoirs 7 wiederum radial verlagerbar sein.

Die Materialreservoirs 7 können gleiche oder verschiedene Materialien enthalten und können in Radialrichtung bezüglich der Drehachse 5 nebeneinander angeordnet sein, wie dies in Figur 1 vereinfacht dargestellt ist, und/oder sie können auch in Umfangsrichtung bezüglich der Drehachse 5 nebeneinander angeordnet sein. Hierbei können die einzelnen Materialreservoirs 7 wiederum radial verlagerbar sein.

Das Verfahren erlaubt damit die gleichzeitige Verarbeitung mehrerer Materialien und sogar deren Abscheidung als Mischung, beispielsweise als Legierung, an dem Werkstück. Dabei sitzt jeder Materialvorrat auf einer eigenen Positioniervorrichtung. Die Art der verwendbaren Materialien ist wenig eingeschränkt. Durch Mischen lässt sich eine große Bandbreite von Materialeigenschaften erzielen. Es können dicht nebeneinander unterschiedlichste Legierungen hergestellt werden, deren Zusammensetzung sich innerhalb des Werkstücks 19 ändert, so dass das Werkstück eine innere Struktur erhält. Ebenso sind Stützstrukturen aus leicht entfernbaren Materialien möglich.

Neben der Verdampfung sind auch andere durch Laser vermittelte Übertragungsprozesse denkbar. Material könnte erst oberflächlich aufgeschmolzen und anschließend durch einen kurzen Laserpuls verspritzt werden. Die Tröpfchen würden an der Glasplatte haftend erstarren. An der Auftragsstelle könnte man die

Tröpfchen wieder schmelzen. Durch kurzes, oberflächliches Verdampfen würden die Reste der Tröpfchen durch den dabei entstehenden Rückstoß in Richtung des Werkstücks beschleunigt. Die Erzielung effizienter Übertragungstechniken kann durch eine geeignete Ansteuerung der Laser 31, 37 erreicht werden.

Zur Regulierung des Schichtaufbaus muss laufend dessen Fortschritt gemessen werden. Durch die Glasplatte hindurch könnte man dazu interferometrisch und punktweise den Abstand zwischen der Glasplatte und dem Werkstück bestimmen.

Neben der Stoffübertragung können die Laser auch zur subtraktiven und hochgenauen Nachbearbeitung der auf dem Werkstück aufgetragenen Schicht eingesetzt werden, die ebenfalls durch die Glasplatte hindurch erfolgt. Außerdem ermöglichen die Laser das Reinigen der Transportscheibe von Materialresten.

Das Material der Platte 3 ist nicht auf Glas beschränkt. Es kann jedes andere Material eingesetzt werden, welches für die verwendete Laserstrahlung eine ausreichende Transparenz aufweist. Beispielsweise kann die Platte 3 aus Silizium gefertigt sein und der Laserstrahl vornehmlich infrarote Strahlung enthalten.

Nachfolgend werden Varianten der anhand der Figur 1 erläuterten Ausführungsform dargestellt. Hierbei sind Komponenten, die hinsichtlich ihrer Funktion oder ihres Aufbaus Komponenten der Ausführungsform der Figur 1 entsprechen, mit den gleichen Bezugszeichen, zur Unterscheidung jedoch mit einem zusätzlichen Buchstaben, versehen.

Figur 2 zeigt schematisch eine Herstellvorrichtung 1a gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung. Die Herstellvorrichtung 1a weist eine ähnliche Konfiguration auf, wie die in Figur 1 gezeigte Herstellvorrichtung. Im Unterschied hierzu weist die Glasplatte 3a an ihrer Oberfläche 11a eine Vielzahl von Mikrovertiefungen 51 auf.

In die Mikrovertiefungen 51 kann das von den Materialreservoirs 7a abgetragene Material beispielsweise als Dampf Wolke eindringen

und auf einer im Vergleich zur glatten Oberfläche der Glas-
scheibe gemäß Figur 1 vergrößerten Oberfläche innerhalb der
Vertiefungen 51 kondensieren. Dadurch kann die Glasplatte 3a zu-
nächst mehr Material aufnehmen und auch in größerer Dichte an
5 dem Werkstück 19a wieder abgeben. Die Mikrovertiefungen haben
die Form kleiner zylindrischer Löcher oder Kammern, möglichst
eng und tief, entsprechend den Möglichkeiten der Glas-
Bearbeitungstechnologie. Die Mikrovertiefungen können einen
Durchmesser von beispielsweise 0,1 Mikrometer bis beispielsweise
10 2 Millimeter und eine Tiefe von beispielsweise 0,1 Mikrometer
bis beispielsweise 2 Millimeter aufweisen.

Zur Übertragung auf das Werkstück 19 wird das in den
Mikrovertiefungen 51 abgeschiedene Material innerhalb der Mikro-
15 vertiefungen 51 bestrahlt und erhitzt. Der entstehende
Materialdampf kann die Mikrovertiefungen 51 nur in Richtung hin
zu der Oberfläche 20a des Werkstücks 19a verlassen. Hierbei kann
das Material zu einem aus der Mikrovertiefung 51 austretenden
Strahl gebündelt werden. An engen Öffnungen der Mikrover-
20 tiefungen 51 ergibt sich eine Düsenwirkung, durch die der
Dampfstrahl gezielt in Richtung hin zu dem Werkstück 19a be-
schleunigt wird. Ein schneller Dampfstrahl kann laminare
Strömungsschichten, welche in einem Gas zwischen der Oberfläche
11a der Scheibe 3a und der Oberfläche 20a des Werkstücks 19a
25 entstehen können, ohne nennenswerte Ablenkung durchdringen. Auf
dem Werkstück kondensiert sodann ein Materialfleck, der in
seiner Form und Größe durch die Öffnung der Mikrovertiefung de-
finiert und begrenzt ist.

30 Es kann in der Mikrovertiefung auch nur ein Teil des Materials
verdampft werden, während der Rest sich nur verflüssigt oder gar
fest bleibt. Der sich ausdehnende Dampf kann dann die flüssigen
und festen Materialreste aus dem Loch hinausschießen. Material
kann hierbei überwiegend in flüssiger Form übertragen werden,
35 was die Effizienz der Übertragung erhöht.

Unter bestimmten Bedingungen ist auf Molekularstrahlen das
Prinzip der Lochkamera anwendbar. Versteht man die Mikrover-
tiefungen 51 als Mikro-Lochkameras, dann kann man bei

entsprechender Auslegung die Molekularstrahlen genau auf die Werkstücksoberfläche fokussieren und so eine besonders genaue Abbildung des Materials erzielen.

5 Eine denkbare Komplikation, die bei dem Verfahren auftreten kann, ist die chemische Reaktion des flüssigen oder gasförmigen Werkstoffs mit der Glasplatte. Da chemische Reaktionen aber nicht mit beliebig hoher Geschwindigkeit ablaufen und chemische Gleichgewichte sich immer erst nach einer gewissen Zeit
10 einstellen, kann man Schäden an der Glasplatte dadurch vermeiden, dass man den Kontakt mit der flüssigen oder gasförmigen Phase des Werkstoffs auf sehr kurze Zeiträume beschränkt, sehr viel kürzer als die Halbwertszeit der zu erwartenden Reaktion. Sowohl das Verflüssigen und Verdampfen des
15 Baumaterials wie auch das Kondensieren an der kalten Platte müssen plötzlich erfolgen. Begünstigt werden schnelle Phasenwechsel durch eine kleine Portionierung des Materials mit entsprechend geringer Wärmekapazität jeder einzelnen Portion. Darüber hinaus könnte man die Glasplatte mit besonderen Schutz-
20 schichten überziehen, etwa mit Oxiden sehr unedler Metalle, die besonders langsam und anstelle der Glasplatte mit dem Baumaterial reagieren, und die gegebenenfalls regeneriert werden können.

25 Figur 3 zeigt schematisch eine Herstellvorrichtung 1b gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung. Die Herstellvorrichtung 1b weist eine ähnliche Konfiguration auf, wie die in Figur 2 gezeigte Herstellvorrichtung. Im Unterschied hierzu enthält das Materialreservoir 7b das auf das Werkstück 19b zu
30 übertragende Material in Form eines Pulvers auf.

Das Material wird dabei in Form von Feststoffpartikeln transportiert, beispielsweise als Staub oder Pulver. Hierdurch wird eine Reaktion des Materials mit der Scheibe 3b weitgehend vermieden.
35 Mit Hilfe einer Bestäubungs-Vorrichtung, die beispielsweise eine Ultraschallquelle oder dergleichen umfassen kann, wird Materialstaub auf die Platte 3b aufgebracht und beispielsweise durch elektrostatische Kräfte an dieser fest gehalten. Die Platte 3b kann mit Mikrovertiefungen 51b versehen sein, in denen

sich der Staub sammelt. Dem Materialstaub kann ein ebenfalls staubförmiges Treibmittel beigemischt sein, welches bei Laser- Bestrahlung verdampft und durch die entstehenden Gase das Metallpulver aus der Mikrovertiefung heraus schießt, entgegen den
5 elektrostatischen Haltekräften. Auf ihrem Weg von der Platte 3b zum Werkstück 19b können die noch festen Materialpartikel weitere Energie aus dem Laserstrahl aufnehmen, schmelzen, und in flüssiger Form auf dem Werkstück ankommen. Alternativ oder zusätzlich kann man die Werkstücksoberfläche lokal aufschmelzen,
10 während der Zeitintervalle, in denen sich gerade keine Staubkammer 51b über der Stelle befindet. Die Partikel oder Tröpfchen können dann in das aufgeschmolzene Material an der Werkstücksoberfläche fallen und möglicherweise von diesem umschlossen werden.

15
Ein besonderer Vorteil dieser Variante liegt darin, dass auch Partikel von Substanzen verarbeitet werden können, die sich mit dem gegebenen Laser gar nicht schmelzen lassen, sofern nur die Werkstücksoberfläche schmelzbar ist. Beispielsweise kann man
20 Diamantpartikel in eine Aluminiumschicht hinein schießen, oder kurze Kohlefasern. Mikro-strukturierte Verbundwerkstoffe lassen sich so herstellen.

Als Treibmittel nimmt man beispielsweise Ammoniumcarbamat
25 $\text{H}_2\text{NCOONH}_4$, welches auch in Ammoniak-Generatoren verwendet wird. Die Substanz zerfällt schon bei Temperaturen ab 35°C teilweise, oberhalb von 60°C vollständig in Ammoniak und Kohlendioxid. Vorteilhaft ist, dass dabei kein Wasser und keine festen Rückstände entstehen.

30
Wenn Wasser dennoch unproblematisch ist, kann man auch Ammoniumcarbonat $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ verwenden, welches sich ebenfalls in Ammoniak und Kohlendioxid zersetzt, aber auch in etwas Wasserdampf. Ammoniumcarbamat und Ammoniumcarbonat sind wegen des entstehenden Ammoniaks reduzierend, können in vorteilhafter Weise und
35 unter geeigneten Bedingungen etwa Oxidschichten von Metallpartikeln entfernen.

Auch flüssige Treibmittel kann man in Betracht ziehen, etwa Wasser oder organische Stoffe, Ethanol o.ä., die bei Laserbestrahlung einfach verdampfen und den Metallstaub mitreißen, und die separat auf die bereits aufgebrauchte Staubschicht aufgesprüht werden - oder besser zuvor auf die leere Glasplatte, dann haftet der Metallstaub an dem Flüssigkeitsfilm und man braucht keine elektrostatischen Haltekräfte.

Die Bestäubungs-Vorrichtung besteht im einfachsten Fall aus einem Behälter, der zur Transportscheibe hin offen ist, und der teilweise mit Werkstoffpartikeln oder Treibmittel gefüllt ist. Durch seitliches Rütteln am Behälter, durch eine rotierende Bürste im Behälter oder durch Ultraschall werden die Staubteilchen aufgewirbelt und gelangen durch die Öffnung zur Transportscheibe. Dort setzen sie sich bevorzugt in den Mikrovertiefungen fest, während sie außerhalb der Vertiefungen wegen der auf das Umgebungsgas übertragenen Rüttelbewegung nicht zur Ruhe kommen. Die Öffnung des Bestäubers kann periodisch oder gesteuert verschließbar sein so dass gezielt nur bestimmte Bereiche der Transportscheibe beladen werden, während andere Bereiche anderen Materialien vorbehalten sind. Eine einfache, periodische Unterbrechung der Staubzufuhr erreicht man beispielsweise durch eine rotierende Lochscheibe vor der Öffnung. Die Lochscheibe ist zweckmäßig mit der Transportscheibe synchronisiert.

Die Staubkammern auf der Glasplatte kann man nach ihrer Verwendung mit einem Gasstrahl reinigen, beispielsweise durch Ausblasen.

Figur 4 zeigt zusammenfassend die Arbeitsschritte einer bei Verwendung der in Figur 3 gezeigten Vorrichtung.

(A) Eine leere Staubkammer 51b wird an den ersten Bestäuber 13b₁ heran geführt.

(B) Die Staubkammer 51b wird mit Treibmittel 71 gefüllt.

- (C) Auf das Treibmittel 71 wird an einem zweiten Bestäuber 13b₂ eine erste Werkstoffschicht 72 aufgetragen, z.B. Aluminiumpulver.
- 5 (D) Auf die erste Werkstoffschicht 72 kommt an einem dritten Bestäuber 13b₃ eine zweite Werkstoffschicht 73, z.B. Kohlenstofffasern.
- (E) Die Werkstückoberfläche 20b wird mit dem Laserstrahl 39b
10 lokal geschmolzen.
- (F) Die Staubkammer 51b wird über der geschmolzenen Stelle mit dem Laserstrahl 39b bestrahlt, das Treibmittel 71 verpufft, der Inhalt wird in die Schmelze entleert. Die Stelle wird
15 weiter bestrahlt, bis alles verschmolzen ist.
- (G) Die entleerte Staubkammer 51b wird mit einem Gasstrahl 61 gereinigt und ist danach bereit für den nächsten Zyklus.

20 Beim obigen Verfahren hat die Oberflächenspannung des geschmolzenen Materials eine vorteilhafte Wirkung dahingehend, dass das aufgeschmolzene Material an dem Werkstück haften bleibt. Ferner vermittelt die Oberflächenspannung eine
25 Verbindung der neu auf die Oberfläche treffenden Partikel oder Tröpfchen mit dem bereits aufgeschmolzenen Material an der Oberfläche des Werkstücks. Die Oberflächenspannung verhindert ferner auch ein Verspritzen von aufgeschmolzenem Material an der Werkstückoberfläche durch weitere auftreffende Partikel bzw. Tröpfchen. Die Oberflächenspannung führt schließlich zu einer
30 Glättung der Oberfläche.

Figur 5 illustriert eine elektrochemische Variante des Verfahrens. Die Stoffübertragung erfolgt hier galvanisch und beschränkt sich auf bestimmte Metalle. Dazu sind einzeln an-
35 steuerbare Transportelektroden 63 in eine rotierende Isolatorscheibe 3c eingelassen. Bei Anlegen einer Spannung zwischen der Vorratselektrode 13c und einer der Transportelektroden 63 wandern Metallionen durch einen dünnen Elektrolytfilm auf die Drehscheibe 3c und entladen sich dort.

Als feine Metallschicht 65 gelangen sie mit der Drehscheibe 3c zum Werkstück 19c. Nach Anlegen einer umgekehrten Spannung zwischen der Transportelektrode 63 und dem Werkstück 19c durchwandert das Material erneut den Elektrolyten und scheidet
5 sich schließlich auf dem Werkstück 19c ab.

Die Transportelektroden 63 können sehr kleine Durchmesser haben und entsprechend feine Strukturen herstellen. Das Erreichen beliebiger Oberflächenpunkte an dem Werkstück und dem Rohmaterial
10 wird durch radiale Beweglichkeit der Positioniervorrichtungen für das Reservoir 7c bzw. das Werkstück 19c erleichtert, wie dies durch die Pfeile 17c und 27c angedeutet ist. Die zur Regelung des Schichtaufbaus benötigte Abstandsinformation zwischen der Drehscheibe 3c und dem Werkstück 19c kann aus den
15 elektrischen Widerständen zwischen den Transportelektroden 63 und dem Werkstück 19c ermittelt werden.

Eine Komponente der Steuerung 43c zur Ansteuerung der Transportelektroden 63 kann auf der Scheibe 3c montiert sein, so
20 dass eine Spannungszuführung von der Steuerungskomponente zu den Transportelektroden 63 durch Stromleitungen einfach möglich ist. Eine Spannungsversorgung der auf der Scheibe montierten Steuerungskomponente kann über einen Schleifkontakt erfolgen. Steuersignale können der auf der Scheibe montierten
25 Steuerungskomponente von einer separaten drehfesten zentralen Steuerung drahtlos, beispielsweise durch ein Funksignal oder ein moduliertes Lichtsignal, zugeführt werden.

Galvanischer Stofftransport gelingt üblicherweise nur mit einer
30 einzelnen Metallsorte. Befinden sich verschiedene Metallionen in einer Lösung, so werden diese entsprechend ihres Abscheidungspotentials nacheinander entladen. Ein Wechsel der Metallsorte hätte erst dann einen Effekt, wenn dem Elektrolyten zuvor alle leichter abscheidbaren Ionen entzogen würden. Bei der
35 hier vorliegenden, sehr dünnen Elektrolytschicht würde diese allerdings schon nach kürzester Zeit lokal an Restionen verarmen, so dass auch in diesem Fall eine Mischung von Materialien erreicht werden könnte.

Ausführungsformen der Erfindung umfassen:

- 5 (A) Verfahren und Vorrichtung zum schichtweisen Aufbau von Festkörpern, gekennzeichnet dadurch, dass der Transport von Rohmaterial zum Werkstück in zwei Stufen über eine rotierende Transportscheibe als Zwischenstation erfolgt.
- 10 (B) Verfahren und Vorrichtung zum schichtweisen Aufbau von Festkörpern nach Ausführungsform A, gekennzeichnet dadurch, dass die Übertragung von Material zur oder von der Transportscheibe mit Hilfe von Laserstrahlen erfolgt.
- 15 (C) Verfahren und Vorrichtung zum schichtweisen Aufbau von Festkörpern nach Ausführungsform A, gekennzeichnet dadurch, dass die Übertragung von Material zur oder von der Transportscheibe galvanisch erfolgt.
- 20 (D) Verfahren und Vorrichtung zum schichtweisen Aufbau von Festkörpern nach Ausführungsform A, gekennzeichnet dadurch, dass die rotierende Transportscheibe durch eine Walze, ein Band, oder durch irgendeinen anderen bewegten Körper ersetzt ist.

25 Zusammenfassend schlägt die Erfindung vor ein Verfahren und eine Vorrichtung zum schichtweisen Aufbau von Festkörpern, gekennzeichnet dadurch, dass der Transport von Rohmaterial zum Werkstück in zwei Stufen über eine rotierende Transportscheibe als Zwischenstation erfolgt. Der Materialtransfer erfolgt galvanisch oder mit Hilfe von Laserstrahlen.

30

Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen eines Festkörpers, umfassend:

5 Anordnen verschiedener Teilbereiche eines Trägerkörpers relativ zu einem ersten Materialreservoir derart, dass zeitlich nacheinander jeweils einer der verschiedenen Teilbereiche dem ersten Materialreservoir gegenüberliegend angeordnet ist,

10 Übertragen eines ersten Materials aus dem ersten Materialreservoir auf den jeweils einen dem ersten Materialreservoir gegenüberliegenden Teilbereich des Trägerkörpers,

15 Verlagern des Trägerkörpers relativ zu einem Abscheidungsort derart, dass der Teilbereich des Trägerkörpers, auf den das erste Material übertragen wurde, einem an dem Abscheidungsort gebildeten Festkörper gegenüberliegend angeordnet ist, und

20 Ergänzen des Festkörpers durch Übertragen von erstem Material, welches auf den dem Festkörper gegenüberliegend angeordneten Teilbereich des Trägerkörpers übertragen wurde, auf den Festkörper, wobei der Festkörper an einer Vielzahl von Orten zeitlich nacheinander wiederholt durch das Übertragen des ersten Materials ergänzt wird, um den Festkörper herzustellen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Trägerkörper eine sowohl
30 dem ersten Materialreservoir als auch dem Festkörper zugewandte Frontseite aufweist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei der Trägerkörper um
eine Achse rotierbar ist.

35 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die verschiedenen Teilbereiche des Trägerkörpers in einer gemeinsamen Ebene angeordnet sind.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei der Trägerkörper eine Platte umfaßt, an deren Flachseite die verschiedenen Teilbereiche vorgesehen sind.
- 5 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei ein jeder Teilbereich jeweils eine in einer Frontseite des Trägerkörpers vorgesehene Ausnehmung umfaßt.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei das erste
10 Materialreservoir einen Festkörper aus dem ersten Material oder ein Volumen des ersten Materials in flüssigem Zustand umfaßt.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei das erste
15 Materialreservoir einen Pulverkörper aus dem ersten Material umfaßt.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei wenigstens ein zweites Materialreservoir dem Trägerkörper gegenüberliegend angeordnet ist und das Verfahren ferner
20 umfaßt:
- Anordnen eines Teilbereichs des Trägerkörpers relativ zu dem
25 zweiten Materialreservoir derart, dass der Teilbereich dem zweiten Materialreservoir gegenüberliegend angeordnet ist,
- Übertragen eines zweiten Materials aus dem zweiten
Materialreservoir auf den dem zweiten Materialreservoir gegenüberliegenden Teilbereich des Trägerkörpers, und danach
30
- Anordnen des Teilbereichs des Trägerkörpers relativ zu dem
ersten Materialreservoir derart, dass der Teilbereich dem
ersten Materialreservoir gegenüberliegend angeordnet ist,
- 35 Übertragen des ersten Materials aus dem zweiten Materialreservoir auf den dem zweiten Materialreservoir gegenüberliegenden Teilbereich des Trägerkörpers.

10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei der Festkörper im wesentlichen aus einer Mischung, insbesondere einer Legierung, des ersten Materials mit dem zweiten Material besteht.
- 5
11. Verfahren nach Anspruch 9, wobei der Festkörper im wesentlichen, insbesondere zu mehr als 80 Vol-%, aus dem ersten Material besteht.
- 10 12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei das zweite Material ein Treibmittel ist, welches beim Übertragen des ersten Materials auf den Festkörper letzteres hin zu dem Festkörper beschleunigt.
- 15 13. Verfahren nach Anspruch 12, wobei das Treibmittel wenigstens eines von Ammoniumcarbamat ($\text{CH}_6\text{N}_2\text{O}_2$), Ammoniumcarbonat ($(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$), Ammoniumnitrat (NH_4NO_3) umfaßt.
- 20 14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, wobei das Übertragen des Materials von dem Materialreservoir auf den Teilbereich des Trägerkörpers ein Zuführen von Energie zu dem ersten Materialreservoir umfaßt.
- 25 15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, wobei das Übertragen des Materials auf den Festkörper ein Zuführen von Energie zu dem dem Festkörper gegenüberliegend angeordneten Teilbereich des Trägerkörpers umfaßt.
- 30 16. Verfahren nach Anspruch 14 oder 15, wobei die Energie eines Lichtstrahls, insbesondere eines Laserstrahls, umfaßt.
17. Verfahren nach Anspruch 14 oder 15, wobei die Energie elektrische Energie umfaßt.
- 35 18. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 17, wobei eine Oberfläche des Materialreservoirs und eine der Oberfläche des Materialreservoirs zuweisende Oberfläche des Trägerkörpers mit einem Abstand voneinander angeordnet sind.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 17, wobei eine Oberfläche des Festkörpers und eine der Oberfläche des Festkörpers zuweisende Oberfläche des Trägerkörpers mit einem Abstand voneinander angeordnet sind.
- 5
20. Verfahren nach Anspruch 18 oder 19, wobei in einem Zwischenraum zwischen der Oberfläche des Materialreservoirs oder/und der Oberfläche des Festkörpers einerseits und der Oberfläche des Trägerkörpers andererseits ein Gas angeordnet ist.
- 10
21. Verfahren nach Anspruch 18 oder 19, wobei in einem Zwischenraum zwischen der Oberfläche des Materialreservoirs oder/und der Oberfläche des Festkörpers einerseits und der Oberfläche des Trägerkörpers andererseits eine Flüssigkeit angeordnet ist.
- 15
22. Verfahren nach Anspruch 21, wobei ein Vielzahl von Teilbereichen voneinander elektrisch isoliert sind und einem jeden der Teilbereiche der Vielzahl von Teilbereichen eine separat einstellbare elektrische Spannung zuführbar ist.
- 20
23. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 22, wobei das Übertragen des Materials auf den Festkörper während einer kontinuierlichen Bewegung des Trägerkörpers relativ zu dem Festkörper erfolgt.
- 25
24. Vorrichtung zum Herstellen eines Festkörpers, wobei die Vorrichtung umfaßt:
- 30
- eine Halterung für ein erstes Materialreservoir,
- eine Halterung für den herzustellenden Festkörper,
- 35
- einen Trägerkörper, welcher derart konfiguriert ist, dass wenigstens ein Teilbereich des Trägerkörpers wahlweise dem Materialreservoir gegenüberliegend oder dem Festkörper gegenüberliegend angeordnet ist,

einen Antrieb, um Trägerkörper derart zu bewegen, dass der wenigstens eine Teilbereich des Trägerkörpers zwischen einer dem Materialreservoir gegenüberliegenden Stellung und einer dem Festkörper gegenüberliegenden Stellung hin und her zu bewegen,

eine erste Energiezuführungsvorrichtung, welche dazu konfiguriert ist, dem Materialreservoir Energie zuzuführen, um Material des Materialreservoirs auf den Teilbereich des Trägerkörpers zu übertragen, wenn der Teilbereich des Trägerkörpers in der dem Materialreservoir gegenüberliegenden Stellung angeordnet ist, und

eine zweite Energiezuführungsvorrichtung, welche dazu konfiguriert ist, dem Teilbereich des Trägerkörpers Energie zuzuführen, um Material von dem Trägerkörper auf den Festkörper zu übertragen, wenn der Teilbereich des Trägerkörpers in der dem Festkörper gegenüberliegenden Stellung angeordnet ist.

25. Vorrichtung nach Anspruch 24, ferner umfassend eine Steuerung, welche dazu konfiguriert ist, den Antrieb, die erste Energiezuführungsvorrichtung und die zweite Energiezuführungsvorrichtung derart zu steuern, dass der Festkörper an einer Vielzahl von Orten zeitlich nacheinander wiederholt durch das Übertragen des Materials ergänzt wird, um den Festkörper herzustellen.

26. Vorrichtung nach Anspruch 24 oder 25, ferner umfassend einen Antrieb, um die Halterung für das Materialreservoir relativ zu dem Trägerkörper zu verlagern.

27. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 24 bis 26, ferner umfassend einen Antrieb, um die Halterung für den herzustellenden Festkörper relativ zu dem Trägerkörper zu verlagern.

28. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 24 bis 27, wobei die erste oder/und die zweite Energiezuführungsvorrichtung einen Laser umfaßt.
- 5 29. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 24 bis 27, wobei die erste oder/und die zweite Energiezuführungsvorrichtung eine elektrische Leistungsquelle und einen Stromleiter von der Leistungsquelle zu wenigstens einem von dem Reservoir, dem Festkörper und dem wenigstens einen Teilbereich des Trägerkörpers umfaßt.
- 10

Zusammenfassung

Verfahren und Vorrichtung zum schichtweisen Aufbau von Festkörpern, gekennzeichnet dadurch, dass der Transport von Rohmaterial zum Werkstück in zwei Stufen über eine rotierende Transportscheibe als Zwischenstation erfolgt. Der Materialtransfer erfolgt galvanisch oder mit Hilfe von Laserstrahlen.

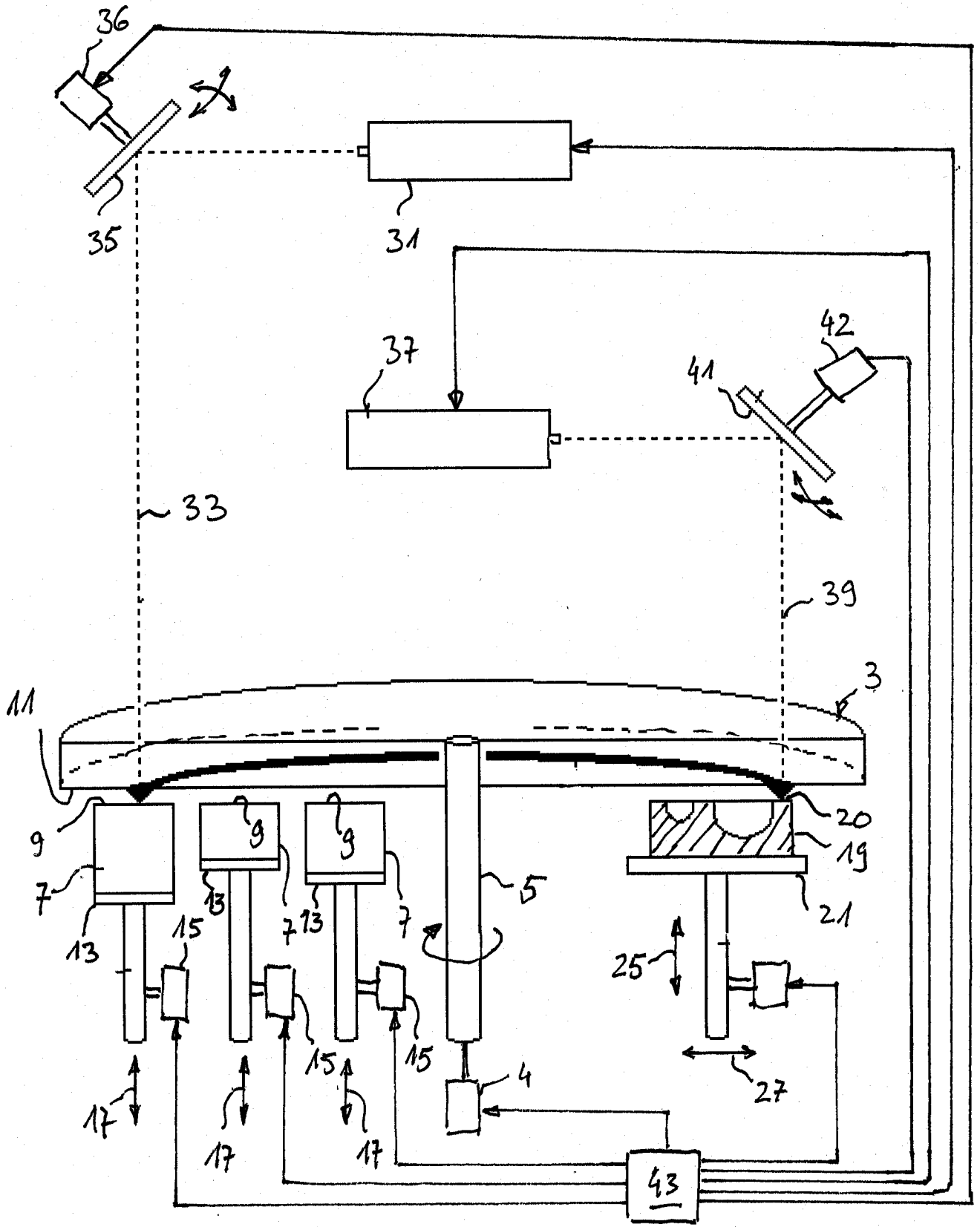


Fig. 1

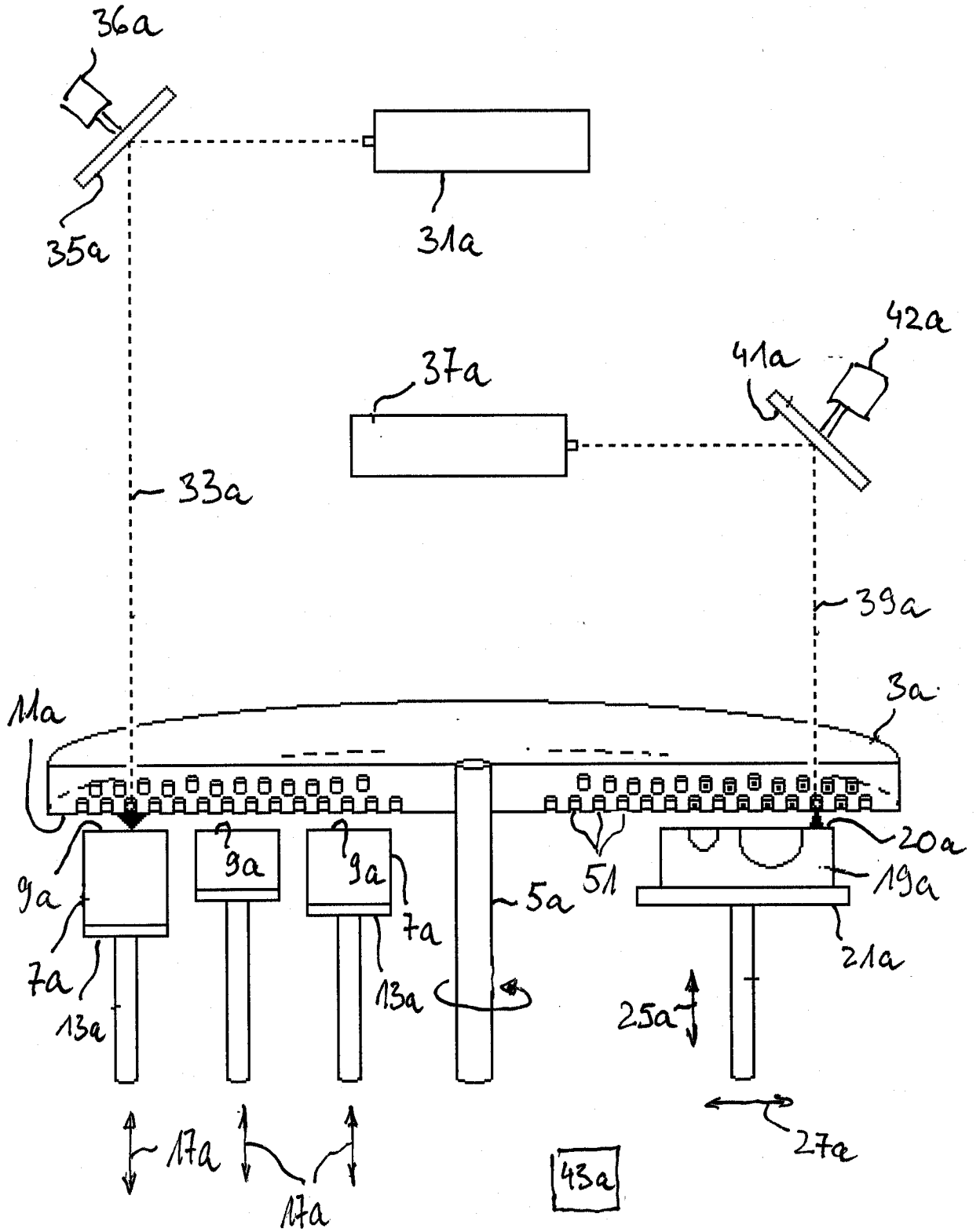


Fig. 2

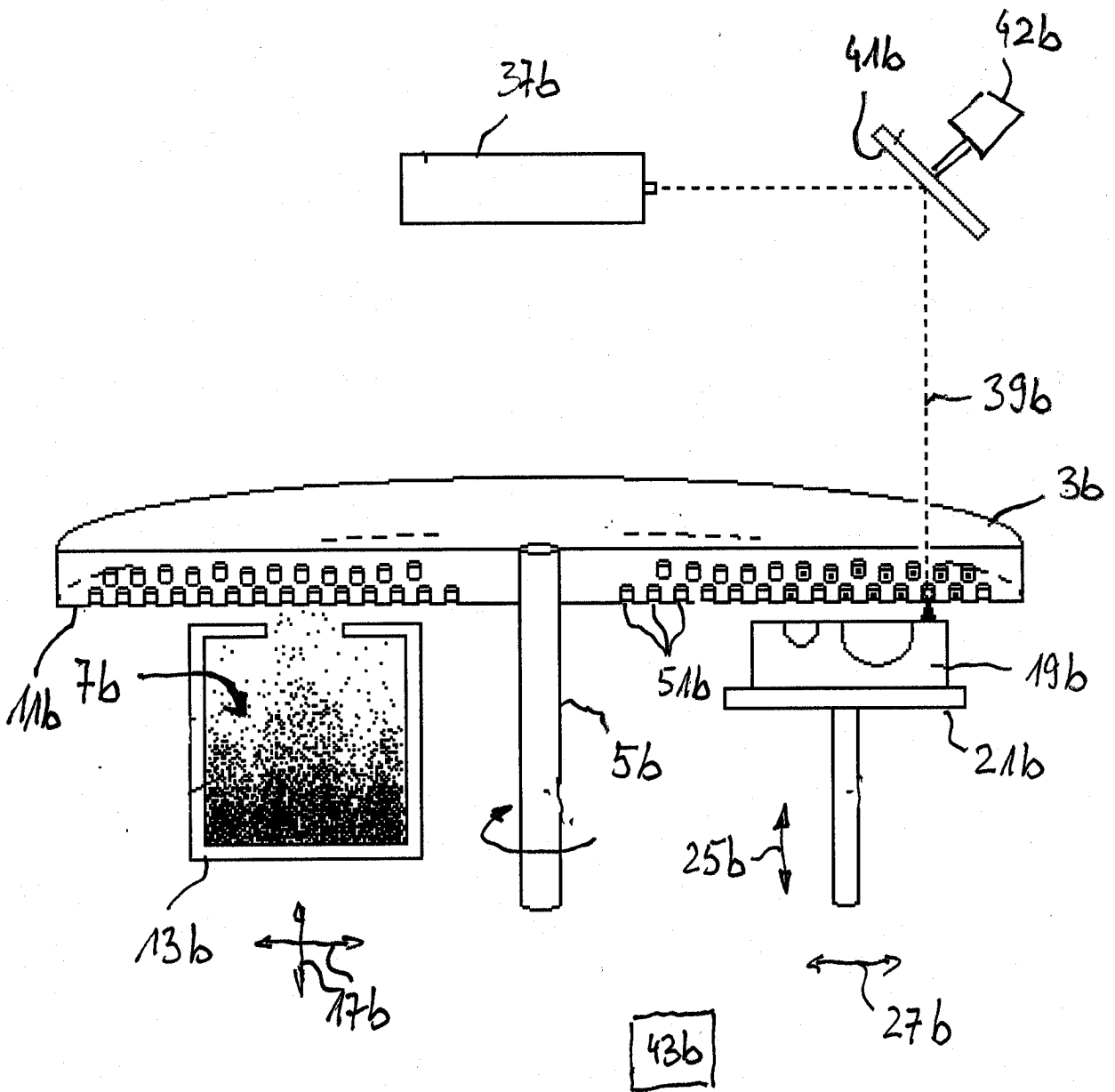


Fig. 3

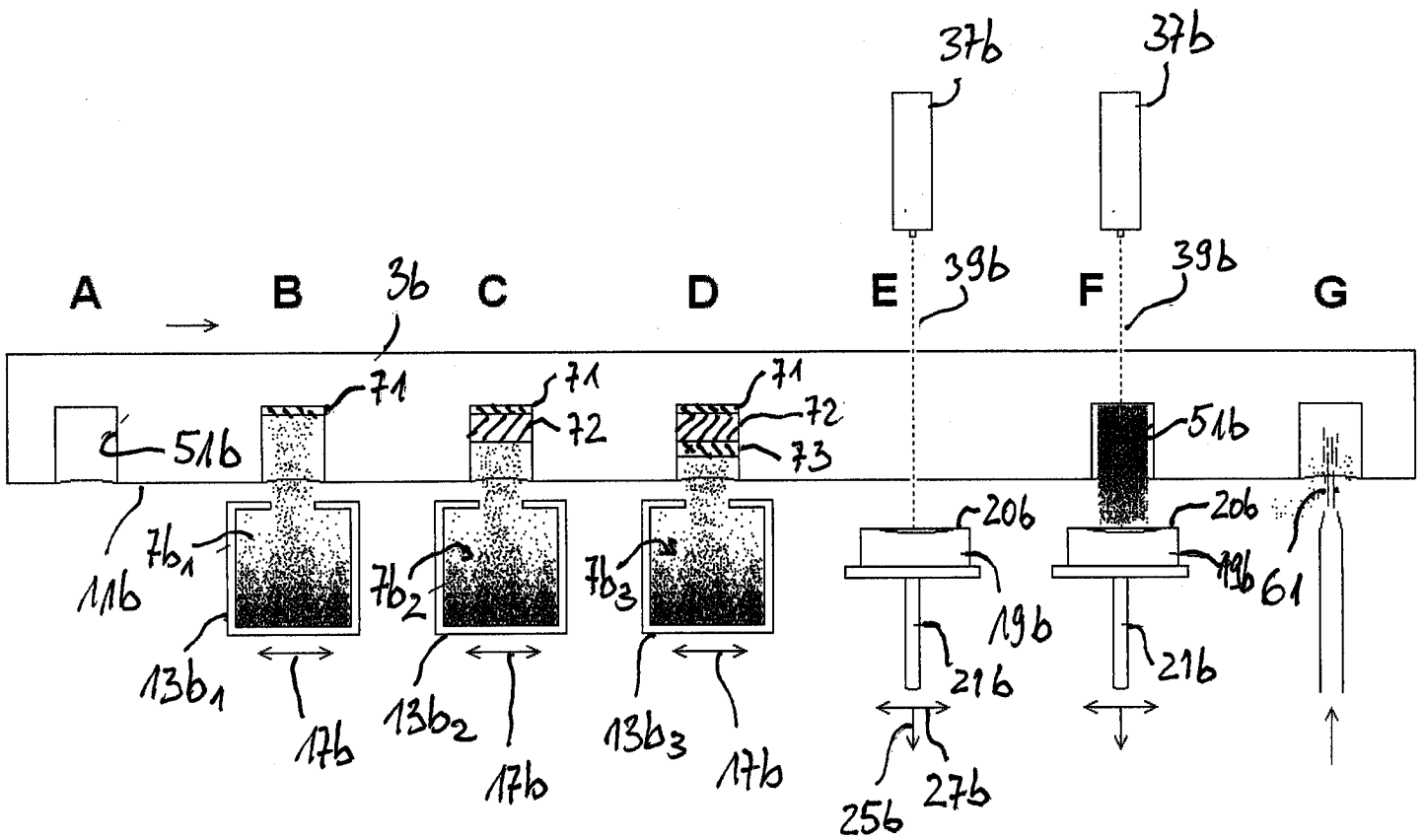


Fig. 4

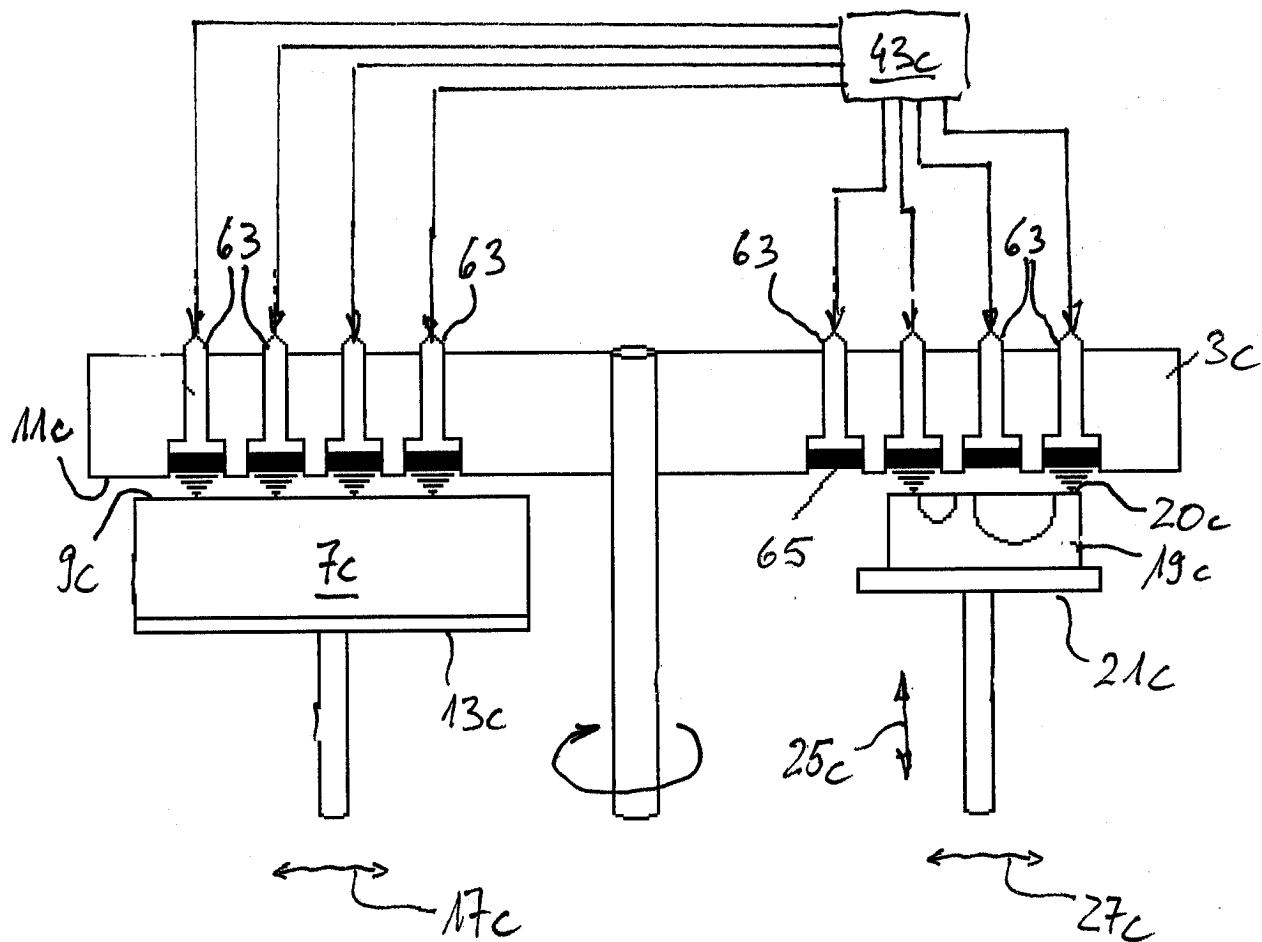


Fig. 5