



(10) **DE 11 2007 003 090 B4** 2013.02.07

(12)

Patentschrift

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2007 003 090.9**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2007/074853**
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2008/081784**
(86) PCT-Anmeldetag: **25.12.2007**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **10.07.2008**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **15.10.2009**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **07.02.2013**

(51) Int Cl.: **B22F 3/105 (2012.01)**
B22F 3/24 (2006.01)
C22C 38/00 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:
2006-346498 **22.12.2006** **JP**

(73) Patentinhaber:
Panasonic Corp., Kadoma-shi, Osaka, JP

(74) Vertreter:
Vossius & Partner, 81675, München, DE

(72) Erfinder:
Fuwa, Isao, Kadoma-shi, Osaka, JP

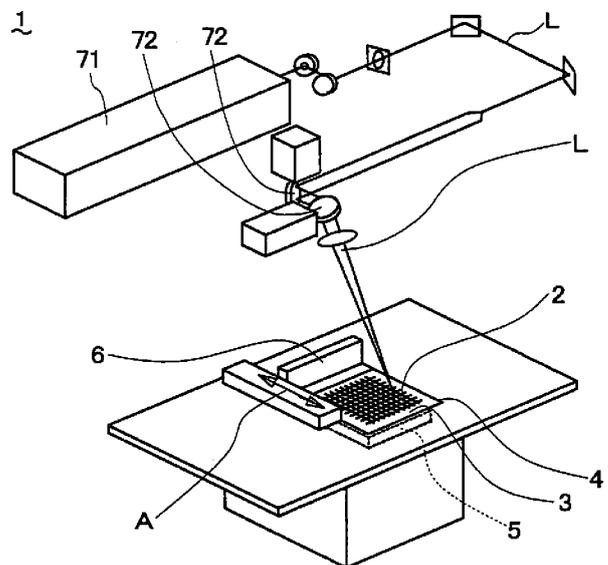
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE	697 06 651	T2
EP	1 419 836	A1

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Herstellen eines dreidimensional geformten Gegenstandes**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Herstellen eines dreidimensional geformten Gegenstandes durch Bestrahlen eines Metallmaterials durch Lichtstrahlen, wobei das Verfahren die Schritte aufweist:

einen Bestrahlungsschritt zum Bestrahlen eines aus Metalldrähten gebildeten Metallmaschenmaterials und eines Metallpulvers durch Lichtstrahlen zum Ausbilden einer verfestigten Schicht oder einer geschmolzenen Schicht; und
einen Laminierungsschritt zum Ausbilden verfestigter Schichten oder geschmolzener Schichten durch wiederholtes Ausführen des Bestrahlungsschrittes für Metallmaschenmaterialien und Metallpulver, wobei vor jedem Bestrahlungsschritt das Metallmaschenmaterial und das Metallpulver zugeführt werden, um einen dreidimensional geformten Gegenstand auszubilden.



Beschreibung

Technischer Bereich

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen eines dreidimensional geformten Gegenstandes durch Bestrahlen eines Metallmaterials durch Lichtstrahlen.

Hintergrundtechnik

[0002] Es ist ein herkömmliches Verfahren bekannt, gemäß dem ein dreidimensional geformter Gegenstand hergestellt wird durch Bestrahlen einer aus einem Metallmaterial gebildeten Metallschicht durch Lichtstrahlen (Strahlen mit gerichteter Energie, wie beispielsweise Laserstrahlen), um eine gesinterte Schicht oder eine geschmolzene Schicht zu bilden, und wiederholtes Ausführen des Prozesses zum Ausbilden einer anderen Materialschicht auf der gesinterten Schicht oder der geschmolzenen Schicht und Bestrahlen dieser Schicht durch Lichtstrahlen, um eine weitere gesinterte Schicht oder geschmolzene Schicht auszubilden. Diese Technik hat den Vorteil, dass ein komplexer dreidimensionaler Gegenstand innerhalb einer kurzen Zeit hergestellt werden kann. Wenn Lichtstrahlen mit einer hohen Energiedichte verwendet werden, kann das Metallmaterial nahezu vollständig geschmolzen werden, bevor es sich verdichtet. D. h., nach dem Schmelzen kann das Material nahezu 100% dicht sein. Durch Endbearbeiten der Oberfläche des dichten geformten Gegenstandes kann der endbearbeitete Gegenstand eine glatte Oberfläche aufweisen, so dass er als Kunststoffspritzgussform oder ähnliches Bauteil verwendbar ist.

[0003] Bei dieser als Metall-Lasersintern bezeichneten Technik wird typischerweise ein pulverförmiges Metallmaterial verwendet. Durch die Verwendung eines Metallpulvers als das in Schichten aufzubringende Material kann die Oberfläche des Materials vergrößert und die Absorption von Laserlicht erhöht werden. Dadurch kann das Material auch unter Bedingungen einer Bestrahlung mit niedriger Energiedichte gesintert oder geschmolzen werden, wodurch die zum Formen eines Gegenstandes erforderliche Zeitdauer vermindert wird.

[0004] EP 1 419 836 A1 betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Formkörpers, insbesondere Stereolithografie- oder Pulversinterverfahren, wobei aus Pulver bestehendes Baumaterial schichtweise auf eine Oberfläche aufgetragen und durch Eintrag von Strahlungsenergie verfestigt wird.

[0005] Um einen geformten Gegenstand mit einer geeigneten Festigkeit zu erhalten, muss nicht nur die Haftfestigkeit bezüglich eines Abschnitts verbessert werden, der einem laserbehandelten Abschnitt einer

durch Laserstrahlen behandelten Schicht benachbart ist, sondern muss auch die Haftfestigkeit zwischen einem bestrahlten Abschnitt und einer darunterliegenden Schicht verbessert werden. Wenn das in Schichten aufzubringende Material ein Metallpulver ist, durchläuft das Laserlicht Zwischenräume zwischen Partikeln und erreicht die darunterliegende Schicht. Dadurch wird die darunterliegende Schicht erwärmt, so dass die Haftfestigkeit verbessert werden kann.

[0006] Außerdem sollte die obere Fläche eines durch Laserlicht bestrahlten Abschnitts nicht zu stark erhöht sein. Wenn eine andere Materialschicht ausgebildet wird, um eine nachfolgende Schicht zu formen, würde, wenn die Schwellhöhe größer ist als die Dicke einer Metallpulverschicht, die Ausbildung der Materialschicht selbst erschwert.

[0007] Natürlich darf die Außenseite eines geformten Gegenstandes keine Risse aufweisen. Außerdem ist es bevorzugt, jegliche Mikrorisse in der inneren Struktur zu eliminieren.

[0008] Ein durch Laserlicht bestrahltes Metallmaterial wird einmal teilweise oder vollständig geschmolzen und dann abgekühlt und zu einem geformten Gegenstand verfestigt. Im geschmolzenen Zustand wird, wenn die Benetzbarkeit hoch ist, die Fläche, die mit einem benachbarten geformten Abschnitt verbunden ist, größer, und wenn das Fließvermögen hoch ist, wird der Schwelleffekt gering. Daher sind ein höheres Fließvermögen und eine höhere Benetzbarkeit im geschmolzenen Zustand erwünscht.

[0009] Angesichts dessen hat der Anmelder der vorliegenden Anmeldung ein Pulvergemisch für Metall-Lasersintern vorgeschlagen, das ein Eisengruppenmetallpulver eines Chrom-Molybdän-Stahls, Nickelpulver und Phosphor-Kupfer- oder Mangan-Kupfer-Pulver aufweist. Das Chrom-Molybdän-Stahlpulver wird aufgrund seiner Härte und Festigkeit verwendet, das Nickelpulver wird aufgrund seiner Festigkeit, Zähigkeit und Verarbeitbarkeit verwendet, und das Phosphor-Kupfer- oder Mangan-Kupfer-Pulver wird aufgrund seiner Benetzbarkeit und seines Fließvermögens verwendet.

[0010] Es ist schwierig, einen dichten dreidimensional geformten Gegenstand durch Bestrahlen ausschließlich eines Eisengruppenmetallpulvers durch Laserlicht herzustellen. Dies ist der Fall, weil es schwierig ist, eine nachfolgende Schicht mit einer zuvor ausgebildeten Eisenschicht ohne Zwischenraum dazwischen zu verbinden. Obwohl Chrom-Molybdän-Stahl selbst hart ist und eine ausgezeichnete mechanische Festigkeit besitzt, hat ein durch Laserbestrahlung ausschließlich eines Chrom-Molybdän-Stahlpulvers erhaltener dreidimensional geformter Gegen-

stand eine geringere Dichte und eine geringe Festigkeit.

[0011] Wenn das Eisengruppenmetallpulver in Form einer Legierung mit einem hohen Anteil einer Nickelkomponente vorliegt, ist das vorstehend erwähnte Problem signifikant, weil eine auf der Oberfläche des Pulvers ausgebildete harte Oxidschicht die Verschmelzung von Partikeln des Eisengruppenmetallpulvers beeinträchtigt. Durch Hinzufügen von Nickel im Eisengruppenmetall werden vorteilhaft die Zähigkeit, die Festigkeit und die Korrosionsbeständigkeit des Eisengruppenmetalls verbessert. Wenn das Material zum Herstellen eines dreidimensional geformten Gegenstandes durch Laserbestrahlung verwendet wird, wird dieser Vorteil überhaupt nicht genutzt.

[0012] Wenn ein Hochenergie-Laser verwendet wird, kann sogar Eisengruppenmetallpulver, das Chrom-Molybdän-Stahl und eine Nickelkomponente enthält, geeignet verschmolzen werden. Dies hat allerdings den Nachteil, dass eine großformatige Laservorrichtung und eine hohe Leistung erforderlich sind, wodurch die Herstellungskosten steigen. Außerdem nimmt, weil die Laserscangeschwindigkeit nicht erhöht werden kann, die Fertigungseffizienz ab. Außerdem kann ein mit einer übermäßigen Bestrahlungsenergiemenge ausgebildeter geformter Gegenstand sich aufgrund von Wärmebelastungen verziehen oder verformen.

[0013] Kupfer ist ein Metallmaterial, das im geschmolzenen Zustand ein ausgezeichnetes Fließvermögen und im geschmolzenen Zustand eine ausgezeichnete Benetzbarkeit bezüglich eines Eisengruppenmaterials hat, und dessen Eigenschaften auch dann nicht schlechter werden, wenn es mit einem Eisengruppenmaterial legiert wird. Wenn ein Pulvergemisch aus einem Eisengruppenmetallpulver und einem Kupferlegierungspulver durch Laserlicht bestrahlt wird, schmilzt zunächst die Kupferlegierung und füllt die Zwischenräume zwischen Partikeln des Eisengruppenmetallpulvers, und gleichzeitig dient dies als Bindungsmaterial für eine Verschmelzung. Wenn ein Hochenergie-Laser verwendet wird, werden Eisenpulver und ein Kupferlegierungspulver, die ein Pulvergemisch bilden, vollständig zu einer Legierung geschmolzen.

[0014] Das Fließvermögen von geschmolzenem Metall nimmt zu, wenn der Unterschied zwischen der Temperatur im geschmolzenen Zustand und dem Schmelzpunkt zunimmt. Eine Phosphor-Kupfer-Legierung und eine Mangan-Kupfer-Legierung haben niedrigere Schmelzpunkte als reines Kupfer und haben daher ein höheres Fließvermögen als reines Kupfer, wenn sie mit der gleichen Energie bestrahlt werden.

[0015] Ein herkömmliches Eisenpulvermaterial für Metall-Lasersintern enthält Nickelpulver. Wie vorstehend beschrieben wurde, beeinträchtigt, wenn eine eine Nickelkomponente enthaltende Legierung als Eisengruppenmetallpulver verwendet wird, eine auf der Oberfläche des Pulvers ausgebildete harte Oxidschicht die Verschmelzung der Partikel des Pulvers. Wenn jedoch Nickelpulver getrennt von Eisengruppenmetallpulver mit einer Kupferlegierung gemischt wird, können Partikel dieser Pulver gut verschmolzen werden. Eine gehärtete Schicht, die eine Eisenkomponente, Nickel und eine Kupferlegierungskomponente enthält, hat eine hohe Sinterdichte und ist daher zäh und fest.

[0016] Besonders gute Ergebnisse werden erzielt, wenn 60 bis 90 Gew.-% Chrom-Molybdän-Stahl, 5 bis 35 Gew.-% Nickelpulver und 5 bis 15 Gew.-% Kupfer-Mangan-Legierungspulver enthalten sind.

[0017] Beim Metall-Lasersintern unter Verwendung des vorstehend erwähnten Metallpulvermaterials sind allgemein erwünschte Ergebnisse dahingehend erzielt worden, dass ein komplexer dreidimensional geformter Gegenstand durch Laserbestrahlung und Ausbilden der Schichten erhalten werden kann.

[0018] Ein Metallpulvermaterial kann jedoch dann keine hohe Füllichte haben, wenn das Metallpulver in einer dünnen Schicht gleichmäßig aufgebracht wird. Daher kann, insofern nicht die Energiedichte der Laserbestrahlung erhöht wird, kein dichter geformter Gegenstand erhalten werden, so dass die Festigkeit des geformten Gegenstandes niedrig ist.

[0019] Außerdem tritt, wenn Pulver durch Laserbestrahlung geschmolzen oder gesintert wird, eine umso größere Schrumpfung auf, je mehr Zwischenraum zwischen den Partikeln vorhanden ist. Dadurch entstehen innere Spannungen im geformten Gegenstand, wodurch der geformte Gegenstand anfällig wird für Verformungen und Verzug, so dass er eine geringe Maßgenauigkeit besitzt.

Kurze Beschreibung der Erfindung

[0020] Die vorliegende Erfindung ist entwickelt worden, um die vorstehend erwähnten Probleme zu lösen. Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zum Herstellen eines dreidimensional geformten Gegenstandes bereitzustellen, der eine hohe Maßgenauigkeit, eine hohe Dichte und eine hohe Festigkeit besitzt, indem ein Metallmaterial in einem dichten Zustand zugeführt wird.

[0021] Um die vorstehende Aufgabe zu lösen, wird erfindungsgemäß ein Verfahren zum Herstellen eines dreidimensional geformten Gegenstandes durch Bestrahlen eines Metallmaterials durch Lichtstrahlen

bereitgestellt, wobei das Verfahren die Schritte aufweist:

einen Bestrahlungsschritt zum Bestrahlen eines aus Metalldrähten gebildeten Metallmaschenmaterials und eines Metallpulvers durch Lichtstrahlen zum Ausbilden einer verfestigten Schicht oder einer geschmolzenen Schicht; und einen Laminierungsschritt zum Ausbilden verfestigter Schichten oder geschmolzener Schichten durch wiederholtes Ausführen des Bestrahlungsschrittes für Metallmaschenmaterialien und Metallpulver, wobei vor jedem Bestrahlungsschritt das Metallmaschenmaterial und das Metallpulver zugeführt werden, um einen dreidimensional geformten Gegenstand auszubilden.

[0022] Erfindungsgemäß kann, weil das Metallmaschenmaterial und das Metallpulver in Kombination als Metallmaterial zugeführt werden, das Metallmaterial im Vergleich zu dem Fall, in dem nur das Metallpulver zugeführt wird, in einem dichten Zustand zugeführt werden. Dies ermöglicht die Herstellung eines dreidimensional geformten Gegenstandes mit einer hohen Maßgenauigkeit und mit einer hohen Dichte und einer hohen Festigkeit. Außerdem ist das Material leicht handhabbar und ausscheidungs- oder segregationsbeständig.

[0023] Vorzugsweise haben die Metalldrähte Drahtdurchmesser zwischen 0,01 und 0,1 mm. Dadurch kann die Dicke jeder Schicht des Metallmaterials vermindert werden, so dass der dreidimensional geformte Gegenstand mit einer hohen Maßgenauigkeit hergestellt werden kann. Weil die Drahtdurchmesser der Metalldrähte nicht übermäßig klein sind, bewegen sich die Metalldrähte bei einer Bestrahlung durch Lichtstrahlen weniger wahrscheinlich auseinander.

[0024] Der Abstand zwischen den Metalldrähten des Metallmaschenmaterials liegt vorzugsweise zwischen 0,01 und 0,1 mm. Weil zwischen den Metalldrähten Zwischenräume vorhanden sind, können Lichtstrahlen zwischen den Metalldrähten hindurchdringen und eine darunterliegende verfestigte Schicht erreichen, um die darunterliegende verfestigte Schicht und eine benachbarte verfestigte Schicht zu erwärmen. Dadurch kann die Haftfestigkeit zwischen der darunterliegenden verfestigten Schicht und der benachbarten verfestigten Schicht verbessert werden.

[0025] Der mittlere Partikeldurchmesser des Metallpulvers liegt vorzugsweise zwischen 1 und 100 µm. Weil der mittlere Partikeldurchmesser des Metallpulvers klein ist, können die Zwischenräume zwischen den Metalldrähten des Metallmaschenmaterials mit dem Metallpulver gefüllt werden. Außerdem ist der mittlere Partikeldurchmesser des Metallpulvers 1 µm oder größer. Dadurch kann eine Dispersion des Metallpulvers während Arbeitsvorgängen verhindert werden, so dass das Metallpulver leicht handhabbar

ist. Außerdem hat das Metallpulver ein hohes Fließvermögen, so dass die Zwischenräume zwischen den Metalldrähten des Metallmaschenmaterials mit Partikeln des Metallpulvers dicht gefüllt werden können.

[0026] Vorzugsweise weist das Metallmaschenmaterial einen Eisengruppenmetalldraht, einen Nickel Draht und/oder einen Nickellegierungsdraht und einen Kupferdraht und/oder einen Kupferlegierungsdraht auf und weist das Metallpulver ein Eisengruppenmetallpulver, ein Nickelpulver und/oder ein Nickellegierungspulver und ein Kupferpulver und/oder ein Kupferlegierungspulver auf. Dadurch kann ein Schwellen einer verfestigten Schicht vermindert werden, so dass ein nachfolgend aufzulegendes Metallmaschenmaterial präzise angeordnet werden kann.

[0027] Vorzugsweise weist das Metallmaschenmaterial 60 bis 90 Gew.-% Eisengruppenmetalldrähte, 5 bis 35 Gew.-% Nickeldrähte und/oder Nickellegierungsdrähte und 5 bis 15 Gew.-% Kupferdrähte und/oder Kupferlegierungsdrähte auf und enthält das Metallpulver 60 bis 90 Gew.-% Eisengruppenmetallpulver, 5 bis 35 Gew.-% Nickelpulver und/oder Nickellegierungspulver und 5 bis 15 Gew.-% Kupferpulver und/oder Kupferlegierungspulver. Dadurch können Risse in der Außenseite und Mikrorisse in der Innenstruktur eines hergestellten dreidimensional geformten Gegenstandes verhindert werden.

[0028] Es ist bevorzugt, wenn das Metallmaschenmaterial einen Stapel aus einem Metallmaschenmaterial aus Eisengruppenmetalldrähten, einem Metallmaschenmaterial aus Nickeldrähten und/oder Nickellegierungsdrähten und einem Metallmaschenmaterial aus Kupferdrähten und/oder Kupferlegierungsdrähten aufweist. Weil verschiedene Typen von Metallmaschenmaterialien, die jeweils aus Metalldrähten eines einzelnen Materialtyps hergestellt sind, in Kombination verwendet werden, anstatt dass ein Metallmaschenmaterial verwendet wird, das aus Metalldrähten aus verschiedenen Materialien besteht, können die Kosten für die Metallmaschenmaterialien gesenkt werden. Außerdem kann ein Schwellen einer verfestigten Schicht vermindert werden, so dass ein nachfolgend aufzulegendes Metallmaschenmaterial präzise angeordnet werden kann.

[0029] Es ist bevorzugt, wenn das Metallmaterial, das das Metallmaschenmaterial und das Metallpulver aufweist, insgesamt 60 bis 90 Gew.-% Eisen, 5 bis 35 Gew.-% Nickel und 5 bis 15 Gew.-% Kupfer enthält. Dadurch kann ein Schwellen einer verfestigten Schicht vermindert werden und können außerdem Risse in der Außenseite und Mikrorisse in der Innenstruktur eines hergestellten dreidimensional geformten Gegenstandes verhindert werden.

[0030] Das Verfahren weist ferner vorzugsweise einen Schneideschritt auf, in dem, nachdem die ver-

festigten Schichten oder geschmolzenen Schichten ausgebildet sind, ein Oberflächenabschnitt und/oder ein unerwünschter Abschnitt eines dreidimensional geformten Gegenstandes entfernt wird, der durch Ausbilden der Schichten bereits erhalten worden ist. Dadurch kann die Oberflächenrauigkeit eines hergestellten dreidimensional geformten Gegenstandes und damit die Maßgenauigkeit verbessert werden.

Beste Techniken zum Implementieren der Erfindung

Erste Ausführungsform

[0031] Nachstehend wird unter Bezug auf die Zeichnungen eine erste Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens zum Herstellen eines dreidimensional geformten Gegenstandes beschrieben. **Fig. 1** zeigt die Konfiguration einer Vorrichtung zum Ausführen eines zum Herstellen eines dreidimensional geformten Gegenstandes verwendeten Metall-Lasersinterprozesses. **Fig. 2** zeigt die Konfiguration eines als ein Material verwendeten Metallmaschenmaterials. **Fig. 3** zeigt eine Rasterelektronenmikroskop(SEM)aufnahme eines als Material verwendeten Metallpulvers. Die Vorrichtung zum Ausführen eines Metall-Lasersinterprozesses **1** weist auf: ein Substrat **4**, auf dem das Metallmaschenmaterial **2** als ein Material platziert wird und eine Pulverschicht **3** eines Metallpulvers aufgebracht wird; einen Tisch **5**, der das Substrat **4** hält und auf- und abwärts beweglich ist; einen Wischer **6**, der dem Substrat **4** das Metallpulver zuführt und sich in eine durch den Pfeil A dargestellte Richtung bewegt, um die Pulverschicht **3** auszubilden; einen Lichtstrahloszillator **71**, der Lichtstrahlen L emittiert; und einen Galvanometerspiegel **72**, der die Lichtstrahlen L auf das Metallmaschenmaterial **2** und die Pulverschicht **3** lenkt, um einen Scanvorgang auszuführen. Der Lichtstrahloszillator **71** ist ein Kohlendioxidlaser, ein Faserlaser oder eine ähnliche Einrichtung.

[0032] Das Metallmaschenmaterial **2** weist längs und quer angeordnete Metalldrähte **21** auf. Die Metalldrähte **21** sind durch Elektroschweißen miteinander verbunden. Der Drahtdurchmesser B eines Metalldrahts **21** beträgt 0,01 bis 0,1 mm, und der Abstand C zwischen den Metalldrähten **21** beträgt 0,01 bis 0,1 mm. Die Metalldrähte **21** weisen Eisengruppenmetalldrähte **21a**, Nickeldrähte **21b** und/oder Nickellegierungsdrähte **21c** sowie Kupferdrähte **21d** und/oder Kupferlegierungsdrähte **21e** auf. Der Gewichtsanteil der Eisengruppenmetalldrähte **21a** beträgt 60 bis 90 Gew.-% der Gewichtsanteil der Nickeldrähte **21b** und/oder Nickellegierungsdrähte **21c** beträgt 5 bis 35 Gew.-% und der Gewichtsanteil der Kupferdrähte **21d** und/oder Kupferlegierungsdrähte **21e** beträgt 5 bis 15 Gew.-%.

[0033] Die Partikel des Metallpulvers sind im Wesentlichen kugelförmig und haben einen mittleren

Durchmesser von 1 bis 100 µm. Das Metallpulver weist Eisengruppenmetallpulver, Nickelpulver und/oder Nickellegierungspulver und Kupferpulver und/oder Kupferlegierungspulver auf. Der Gewichtsanteil des Eisengruppenmetallpulvers beträgt 60 bis 90 Gew.-%, der Gewichtsanteil des Nickelpulvers und/oder Nickellegierungspulvers beträgt 5 bis 35 Gew.-% und der Gewichtsanteil des Kupferpulvers und/oder Kupferlegierungspulvers beträgt 5 bis 15 Gew.-%.

[0034] **Fig. 4** zeigt ein Ablaufdiagramm der vorliegenden Ausführungsform des erfindungsgemäßen Herstellungsverfahrens. Die **Fig. 5** und **Fig. 6** zeigen Arbeitsschritte dieses Herstellungsverfahrens. Zunächst wird das Metallmaschenmaterial **2** auf dem Substrat **4** angeordnet (S1) (vergl. **Fig. 5(a)**). Das Substrat **4** wird um die Strecke D abgesenkt, die der Dicke der auszubildenden Pulverschicht **3** entspricht (S2). Das Metallpulver wird dem Substrat **4** zugeführt, und der Wischer **6** wird in die durch den Pfeil A dargestellte Richtung bewegt, um die Zwischenräume zwischen den Metalldrähten des Metallmaschenmaterials **2** mit dem Metallpulver zu füllen und dadurch die Pulverschicht **3** auszubilden (S3) (vergl. **Fig. 5(b)**). Lichtstrahlen L werden vom Lichtstrahloszillator **71** emittiert (S4) und durch den Galvanometerspiegel **72** für einen Scanvorgang auf eine beliebige Stelle auf dem Metallmaschenmaterial **2** und der Pulverschicht **3** gelenkt (S5). Das Metallmaschenmaterial **2** und die Pulverschicht **3** werden geschmolzen und verfestigt, um eine mit dem Substrat **4** integrierte verfestigte Schicht zu bilden (S6) (vgl. **Fig. 5(c)**). Die Schritte S1 bis S6 bilden einen Bestrahlungsschritt. Dann wird bestimmt, ob die Formgebung abgeschlossen ist oder nicht (S7), und die Schritte S1 bis S6 werden so lange wiederholt, bis die Formgebung abgeschlossen ist (vgl. **Fig. 5(d)**, **Fig. 6(a)** und **Fig. 6(b)**). Die Schritte S1 bis S7 bilden einen Laminiierungsschritt. Durch Ausbilden verfestigter Schichten auf diese Weise wird ein dreidimensional geformter Gegenstand hergestellt (vgl. **Fig. 6(c)**).

[0035] Der Bestrahlungsweg von Lichtstrahlen L wird basierend auf dreidimensionalen CAD-Daten im Voraus festgelegt. Es werden Konturformdaten für jeden Querschnitt verwendet, die durch Zerlegen (Slicing) von STL-Daten in einzelne Schichten in regelmäßigen Abständen von einem dreidimensionalen CAD-Modell erhalten werden. Wenn Außenabschnitte als Konturen eines geformten Gegenstandes durch Lichtstrahlen L bestrahlt werden, können die Durchmesser fokussierter Lichtstrahlen L vermindert werden, um das Metallmaschenmaterial **2** vom geformten Gegenstand zu trennen. Dadurch kann ein endbearbeiteter dreidimensionaler geformter Gegenstand leicht entfernt werden. Außerdem ist es bevorzugt, wenn die Bestrahlung durch Lichtstrahlen L in einer inerten Atmosphäre oder einer reduzierenden Atmosphäre ausgeführt wird. Insbesondere ist ei-

ne inerte Atmosphäre oder eine reduzierende Atmosphäre zum Herstellen eines dichten dreidimensional geformten Gegenstandes erforderlich.

[0036] Im vorstehend beschriebenen Herstellungsverfahren kann, weil das Metallmaschenmaterial **2** und das Metallpulver in Kombination als Metallmaterial zugeführt werden, das Metallmaterial im Vergleich zu dem Fall, in dem nur Metallpulver zugeführt wird, in einem dichteren Zustand zugeführt werden. Dadurch kann ein dreidimensional geformter Gegenstand mit einer hohen Maßgenauigkeit und mit einer hohen Dichte und einer hohen Festigkeit hergestellt werden. Im Vergleich zu Metallpulver alleine ist das Material leicht handhabbar und ausscheidungs- oder segregationsbeständig. Außerdem kann, weil die Metalldrähte des Metallmaschenmaterials **2** dünn sind, die Dicke jeder Schicht des Metallmaterials vermindert werden, so dass der dreidimensional geformte Gegenstand mit einer hohen Maßgenauigkeit hergestellt werden kann. Weil die Drahtdurchmesser der Metalldrähte nicht übermäßig klein sind, bewegen sich die Metalldrähte bei einer Bestrahlung durch Lichtstrahlen weniger wahrscheinlich auseinander. Außerdem sind zwischen den Metalldrähten des Metallmaschenmaterials **2** Zwischenräume vorhanden, so dass Lichtstrahlen **L** zwischen den Metalldrähten hindurchdringen und eine darunterliegende verfestigte Schicht erreichen, um die darunterliegende verfestigte Schicht und eine benachbarte verfestigte Schicht zu erwärmen. Dadurch kann die Haftfestigkeit zwischen der darunterliegenden verfestigten Schicht und der benachbarten verfestigten Schicht verbessert werden.

[0037] Weil der mittlere Durchmesser der Partikel des Metallpulvers klein ist, können die Zwischenräume zwischen den Metalldrähten des Metallmaschenmaterials **2** mit dem Metallpulver gefüllt werden. Außerdem beträgt der mittlere Partikeldurchmesser des Metallpulvers $1\ \mu\text{m}$ oder mehr. Dadurch kann eine Dispersion des Metallpulvers während Arbeitsschritten verhindert werden, so dass das Metallpulver leicht handhabbar ist. Außerdem weist das Metallpulver ein hohes Fließvermögen auf, so dass die Zwischenräume zwischen den Metalldrähten des Metallmaschenmaterials **2** mit Partikeln des Metallpulvers dicht gefüllt werden können.

[0038] Weil das Metallmaschenmaterial **2** die Eisengruppenmetalldrähte **21a**, die Nickeldrähte **21b** und/oder die Nickellegierungsdrähte **21c** und die Kupferdrähte **21d** und/oder die Kupferlegierungsdrähte **21e** aufweist, und die Pulverschicht **3** das Eisengruppenmetallpulver, das Nickelpulver und/oder das Nickellegierungspulver und das Kupferpulver und/oder das Kupferlegierungspulver aufweist, kann ein Schwellen einer verfestigten Schicht vermindert werden, so dass ein nachfolgend aufzulegendes Metallmaschenmaterial präzise angeordnet werden kann. Außerdem

können durch die vorstehend beschriebenen Anteile der Metalldrähte im Metallmaschenmaterial **2** und der Metallpulver in der Pulverschicht **3** Risse in der Außenseite und Mikrorisse in der Innenstruktur eines hergestellten dreidimensional geformten Gegenstandes verhindert werden.

[0039] Ein Metallmaschenmaterial **2** als Material eines dreidimensional geformten Gegenstandes kann für jeden der Typen der Metalldrähte **21**, vorbereitet werden. **Fig. 7** zeigt ein Herstellungsverfahren unter Verwendung eines Metallmaschenmaterials **2** für jeden der Typen der Metalldrähte **21**. Ein aus Eisengruppenmetalldrähten **21a** gebildetes Metallmaschenmaterial **2a**, ein aus Nickeldrähten **21b** und/oder Nickellegierungsdrähten **21c** gebildetes Metallmaschenmaterial **2bc** und ein aus Kupferdrähten **21d** und/oder Kupferlegierungsdrähten **21e** gebildetes Metallmaschenmaterial **2de** werden stapelförmig auf dem Substrat **4** angeordnet (vgl. **Fig. 7(a)**). Daraufhin wird durch einen Wischer **6** eine Pulverschicht **3** ausgebildet (vgl. **Fig. 7(b)**), und es wird eine Bestrahlung durch Lichtstrahlen **L** ausgeführt, um einen dreidimensional geformten Gegenstand auszubilden (vgl. **Fig. 7(c)**). Die Metallmaschenmaterialien **2** werden derart kombiniert, dass sie 60 bis 90 Gew.-% Eisengruppenmetalldrähte **21a**, 5 bis 35 Gew.-% Nickeldrähte **21b** und/oder Nickellegierungsdrähte **21c** und 5 bis 15 Gew.-% Kupferdrähte **21d** und/oder Kupferlegierungsdrähte **21e** aufweisen. Weil anstatt eines Metallmaschenmaterials, das aus Metalldrähten gebildet wird, die aus verschiedenen Materialien bestehen, verschiedene Typen von Metallmaschenmaterialien, die jeweils aus Metalldrähten gebildet werden, die aus einem Materialtyp bestehen, in Kombination verwendet werden, können die Kosten für die Maschenmaterialien gesenkt werden. Außerdem können die Anteile der Materialien leicht verändert werden.

[0040] Außerdem können die Anteile der Metalle des Metallmaschenmaterials **2** und des Metallpulvers derart ausgewählt werden, dass das Metallmaterial des Metallmaschenmaterials **2** und des Metallpulvers insgesamt 60 bis 90 Gew.-% Eisen, 5 bis 35 Gew.-% Nickel und 5 bis 15 Gew.-% Kupfer enthält. Dadurch kann ein Schwellen einer verfestigten Schicht vermindert werden, so dass ein nachfolgend aufzulegendes Metallmaschenmaterial präzise angeordnet werden kann, und außerdem können Risse in der Außenseite und Mikrorisse in der inneren Struktur eines hergestellten dreidimensional geformten Gegenstandes verhindert werden.

Zweite Ausführungsform

[0041] Nachstehend wird eine zweite Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens zum Herstellen eines dreidimensional geformten Gegenstandes beschrieben. **Fig. 8** zeigt ein Ablaufdiagramm

dieser Ausführungsform des Herstellungsverfahrens. **Fig. 9** zeigt Arbeitsschritte dieses Herstellungsverfahrens. Bei dieser Ausführungsform ist ein Metallmaschenmaterial **22** lang und auf einer Abwickelrolle **81** aufgewickelt, wobei die Abwickelrolle **81** und eine Aufwickelrolle **82** auf beiden Seiten einer Vorrichtung zum Ausführen eines Metall-Lasersinterprozesses **1** angeordnet sind.

[0042] Zunächst wird eine für einen Lasersinterprozess benötigte Länge des Metallmaschenmaterials **22** von der Abwickelrolle **81** zur Aufwickelrolle **82** geführt und auf einem Substrat **4** angeordnet (S21) (vgl. **Fig. 9(a)**). Das Substrat **4** wird um eine der Dicke einer auszubildenden Pulverschicht **3** entsprechende Strecke *D* abgesenkt (S22). Dem Substrat **4** wird Metallpulver zugeführt, und ein Wischer **6** wird in die durch einen Pfeil *A* dargestellte Richtung bewegt, um die Zwischenräume zwischen Metalldrähten des Metallmaschenmaterials **22** mit dem Metallpulver zu füllen und dadurch die Pulverschicht **3** auszubilden (S23) (vgl. **Fig. 9(b)**). Lichtstrahlen *L* werden von einem Lichtstrahloszillator **71** emittiert (S24) und durch einen Galvanometerspiegel **72** für einen Scanvorgang auf eine beliebige Stelle auf dem Metallmaschenmaterial **22** gelenkt (S25). Das Metallmaschenmaterial **22** und die Pulverschicht **3** werden geschmolzen und verfestigt, um eine mit dem Substrat **4** integrierte verfestigte Schicht auszubilden (S26) (vgl. **Fig. 9(c)**). Zu diesem Zeitpunkt wird das Metallmaschenmaterial **2** durch Lichtstrahlen *L* vom geformten Gegenstand getrennt. Dann wird bestimmt, ob der Formungsvorgang abgeschlossen ist oder nicht (S27), und die Schritte S21 bis S26 werden wiederholt, bis bestimmt worden ist, dass der Formungsvorgang abgeschlossen ist. Durch Ausbilden verfestigter Schichten auf diese Weise wird ein dreidimensional geformter Gegenstand hergestellt (vgl. **Fig. 9(c)**). Weil das Metallmaschenmaterial **22** leicht zugeführt werden kann, können die Kosten gesenkt werden.

[0043] Außerdem kann ein Metallmaschenmaterial **22** als Material eines dreidimensional geformten Gegenstandes für jeden Typ der Metalldrähte **21** vorbereitet werden. **Fig. 10** zeigt ein Herstellungsverfahren unter Verwendung eines Metallmaschenmaterials **2** für jeden Typ der Metalldrähte **21**. Ein Metallmaschenmaterial **22a** aus Eisengruppenmetalldrähten **21a** wird von einer Abwickelrolle **81a** zugeführt, ein Metallmaschenmaterial **22bc** aus Nickeldrähten **21b** und/oder Nickellegierungsdrähten **21c** wird von einer Abwickelrolle **81b** zugeführt, und ein Metallmaschenmaterial **22de** aus Kupferdrähten **21d** und/oder Kupferlegierungsdrähten **21e** wird von einer Abwickelrolle **81c** zugeführt. Diese Metallmaschenmaterialien werden stapelförmig auf dem Substrat **4** angeordnet und auf einer Aufwickelrolle **82** aufgewickelt. Weil die Metallmaschenmaterialien **22** leicht hergestellt werden können, können die Kosten gesenkt werden. Au-

ßerdem können die Anteile der Materialien leicht geändert werden.

Dritte Ausführungsform

[0044] Nachstehend wird eine dritte Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens zum Herstellen eines dreidimensional geformten Gegenstandes beschrieben. Diese Ausführungsform eines Verfahrens zum Herstellen eines dreidimensional geformten Gegenstandes weist zusätzlich zur ersten Ausführungsform des Herstellungsverfahrens einen Schritt zum Schneiden einer Oberfläche eines geformten Gegenstandes auf. **Fig. 11** zeigt die Konfiguration einer komplexen Vorrichtung zum Ausführen eines Metall-Lasersinterprozesses **8** zur Verwendung in dieser Ausführungsform des Herstellungsverfahrens. Die komplexe Vorrichtung für einen Metall-Lasersinterprozess **8** weist zusätzlich zur Vorrichtung zum Ausführen eines Metall-Lasersinterprozesses **1** gemäß der ersten Ausführungsform einen Fräskopf **91** zum Schneiden der Oberfläche eines geformten Gegenstandes und einen X-Y-Antriebsmechanismus **92** zum Bewegen des Fräskopfes **91** zu einem zu schneidenden Abschnitt auf. Ein Werkzeug (Kugelpkopfräser) mit einem Durchmesser von 0,6 mm (1 mm effektive Schneidlänge) wird für den Fräskopf **91** verwendet. Der Fräskopf **91** wird aktiviert, wenn die verfestigten Schichten eine Dicke von 0,5 mm erreichen.

[0045] **Fig. 12** zeigt ein Ablaufdiagramm dieser Ausführungsform des Herstellungsverfahrens. **Fig. 13** zeigt Arbeitsschritte dieses Herstellungsverfahrens **8**. Zunächst wird ein Metallmaschenmaterial **2** auf einem Substrat **4** angeordnet (S31) (vgl. **Fig. 13(a)**). Das Substrat **4** wird um eine der Dicke einer auszubildenden Pulverschicht **3** entsprechende Strecke *D* abgesenkt (S32). Dem Substrat **4** wird Metallpulver zugeführt, und ein Wischer **6** wird in die durch einen Pfeil *A* dargestellte Richtung bewegt, um die Zwischenräume zwischen Metalldrähten des Metallmaschenmaterials **2** mit dem Metallpulver zu füllen und dadurch die Pulverschicht **3** auszubilden (S33) (vgl. **Fig. 13(b)**). Lichtstrahlen *L* werden von einem Lichtstrahloszillator **71** emittiert (S34) und durch einen Galvanometerspiegel **72** für einen Scanvorgang auf eine beliebige Stelle auf dem Metallmaschenmaterial **2** gelenkt (S35). Das Metallmaschenmaterial **2** und die Pulverschicht **3** werden geschmolzen und verfestigt, um eine mit dem Substrat **4** integrierte verfestigte Schicht auszubilden (S36) (vgl. **Fig. 13(c)**). Es wird bestimmt, ob die verfestigten Schichten eine Dicke von 0,5 mm erreicht haben oder nicht (S37), und die Schritte S31 bis S36 werden wiederholt, um verfestigte Schichten auszubilden, bis die verfestigten Schichten eine Dicke von 0,5 mm erreicht haben.

[0046] Wenn die ausgebildeten verfestigten Schichten eine Dicke von 0,5 mm erreichen, wird der Fräs-

kopf **91** aktiviert (S38). Der Fräskopf **91** wird durch den X-Y-Antriebsmechanismus **92** in die durch den Pfeil Y dargestellte Richtung bewegt, um die Oberfläche des durch Ausbilden der verfestigten Schichten erhaltenen geformten Gegenstandes zu schneiden bzw. spanabhebend zu bearbeiten (S39) (vgl. Fig. 13(d)). Diese Schritte S38 und S39 bilden einen Schneideschritt. Anschließend wird bestimmt, ob die Formgebung des dreidimensional geformten Gegenstandes abgeschlossen ist oder nicht (S40), wobei, wenn bestimmt worden ist, dass die Formgebung nicht abgeschlossen ist, der Prozess zum Pulverschichtausbildungsschritt (S31) zurückkehrt. Auf diese Weise wird durch Wiederholen der Schritte S31 bis S39 zum Ausbilden verfestigter Schichten ein dreidimensional geformter Gegenstand hergestellt (vgl. Fig. 13(e)). Dadurch kann die Oberflächenrauigkeit eines hergestellten dreidimensional geformten Gegenstandes verbessert werden, wodurch die Maßgenauigkeit verbessert wird.

[0047] Die vorliegende Erfindung ist nicht auf die Konfigurationen der vorstehend beschriebenen Ausführungsformen beschränkt, sondern innerhalb des Schutzzumfangs der vorliegenden Erfindung sind verschiedenartige Modifikationen möglich. Beispielsweise kann das Metallmaschenmaterial **2** durch Verweben von Metalldrähten **21** oder durch Crimpen von Metalldrähten **21** ausgebildet werden. Ein Metallmaschenmaterial **2** kann eine Kombination aus Metalldrähten **21** aufweisen, die anstatt zwei drei verschiedene Ausrichtungen haben. Die Metallpulverpartikel können anstatt im Wesentlichen kugelförmig stabförmig oder plattenförmig ausgebildet sein. Wenn die Metallpulverpartikel nicht im Wesentlichen kugelförmig ausgebildet sind, bezeichnet der Partikeldurchmesser die durch Mikroskopie gemessene maximale Gesamtlänge eines Partikels.

[0048] Die vorliegende Anmeldung beinhaltet einen Prioritätsanspruch basierend auf der japanischen Patentanmeldung Nr. 2006-346498. Auf die Beschreibung dieser Patentanmeldung wird hierin in ihrer Gesamtheit durch Verweis Bezug genommen.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0049] Fig. 1 zeigt eine perspektivische Ansicht einer Vorrichtung zum Ausführen eines Metall-Lasersinterprozesses, die für eine erste Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Herstellungsverfahrens verwendet wird;

[0050] Fig. 2 zeigt die Konfiguration eines zur Verwendung im Herstellungsverfahren vorgesehenen Metallmaschenmaterials;

[0051] Fig. 3 zeigt eine Rasterelektronenmikroskop (SEM)aufnahme eines zur Verwendung im Herstellungsverfahren vorgesehenen Metallpulvers;

[0052] Fig. 4 zeigt ein Ablaufdiagramm des Herstellungsverfahrens;

[0053] Fig. 5 zeigt eine Folge von Arbeitsschritten des Herstellungsverfahrens;

[0054] Fig. 6 zeigt eine Folge von Arbeitsschritten des Herstellungsverfahrens;

[0055] Fig. 7 zeigt eine Modifikation des Herstellungsverfahrens;

[0056] Fig. 8 zeigt ein Ablaufdiagramm einer zweiten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Herstellungsverfahrens;

[0057] Fig. 9 zeigt eine Folge von Arbeitsschritten des Herstellungsverfahrens;

[0058] Fig. 10 zeigt eine Modifikation des Herstellungsverfahrens;

[0059] Fig. 11 zeigt eine perspektivische Ansicht einer Vorrichtung zum Ausführen eines Metall-Lasersinterprozesses, die für eine dritte Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Herstellungsverfahrens verwendet wird;

[0060] Fig. 12 zeigt ein Ablaufdiagramm des Herstellungsverfahrens; und

[0061] Fig. 13 zeigt eine Folge von Arbeitsschritten des Herstellungsverfahrens.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen eines dreidimensional geformten Gegenstandes durch Bestrahlen eines Metallmaterials durch Lichtstrahlen, wobei das Verfahren die Schritte aufweist:

einen Bestrahlungsschritt zum Bestrahlen eines aus Metalldrähten gebildeten Metallmaschenmaterials und eines Metallpulvers durch Lichtstrahlen zum Ausbilden einer verfestigten Schicht oder einer geschmolzenen Schicht; und

einen Laminierungsschritt zum Ausbilden verfestigter Schichten oder geschmolzener Schichten durch wiederholtes Ausführen des Bestrahlungsschrittes für Metallmaschenmaterialien und Metallpulver, wobei vor jedem Bestrahlungsschritt das Metallmaschenmaterial und das Metallpulver zugeführt werden, um einen dreidimensional geformten Gegenstand auszubilden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Drahtdurchmesser der Metalldrähte zwischen 0,01 und 0,1 mm liegen.

3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Abstand zwischen den Metalldrähten des Metallmaschenmaterials zwischen 0,01 und 0,1 mm liegt.

4. Verfahren nach Anspruch 1, wobei ein mittlerer Partikeldurchmesser des Metallpulvers zwischen 1 und 100 μm liegt.

5. Verfahren nach Anspruch 1, wobei:
das Metallmaschenmaterial einen Eisengruppenmetalldraht, einen Nickeldraht und/oder einen Nickellegierungsdraht und einen Kupferdraht und/oder einen Kupferlegierungsdraht aufweist; und
das Metallpulver ein Eisengruppenmetallpulver, ein Nickelpulver und/oder ein Nickellegierungspulver und ein Kupferpulver und/oder ein Kupferlegierungspulver aufweist.

6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei:
das Metallmaschenmaterial 60 bis 90 Gew.-% Eisengruppenmetalldrähte, 5 bis 35 Gew.-% Nickeldrähte und/oder Nickellegierungsdrähte und 5 bis 15 Gew.-% Kupferdrähte und/oder Kupferlegierungsdrähte aufweist; und
das Metallpulver 60 bis 90 Gew.-% Eisengruppenmetallpulver, 5 bis 35 Gew.-% Nickelpulver und/oder Nickellegierungspulver und 5 bis 15 Gew.-% Kupferpulver und/oder Kupferlegierungspulver enthält.

7. Verfahren nach Anspruch 5, wobei das Metallmaschenmaterial einen Stapel aus einem Metallmaschenmaterial aus Eisengruppenmetalldrähten, einem Metallmaschenmaterial aus Nickeldrähten und/oder Nickellegierungsdrähten und einem Metallmaschenmaterial aus Kupferdrähten und/oder Kupferlegierungsdrähten aufweist.

8. Verfahren nach Anspruch 5, wobei das Metallmaterial, das das Metallmaschenmaterial und das Metallpulver aufweist, insgesamt 60 bis 90 Gew.-% Eisen, 5 bis 35 Gew.-% Nickel und 5 bis 15 Gew.-% Kupfer enthält.

9. Verfahren nach Anspruch 1, ferner mit einem Schneideschritt, in dem, nachdem die verfestigten Schichten oder geschmolzenen Schichten ausgebildet sind, ein Oberflächenabschnitt und/oder ein unerwünschter Abschnitt eines dreidimensional geformten Gegenstandes entfernt wird, der durch Ausbilden der Schichten bereits erhalten worden ist.

Es folgen 13 Blatt Zeichnungen

FIG. 1

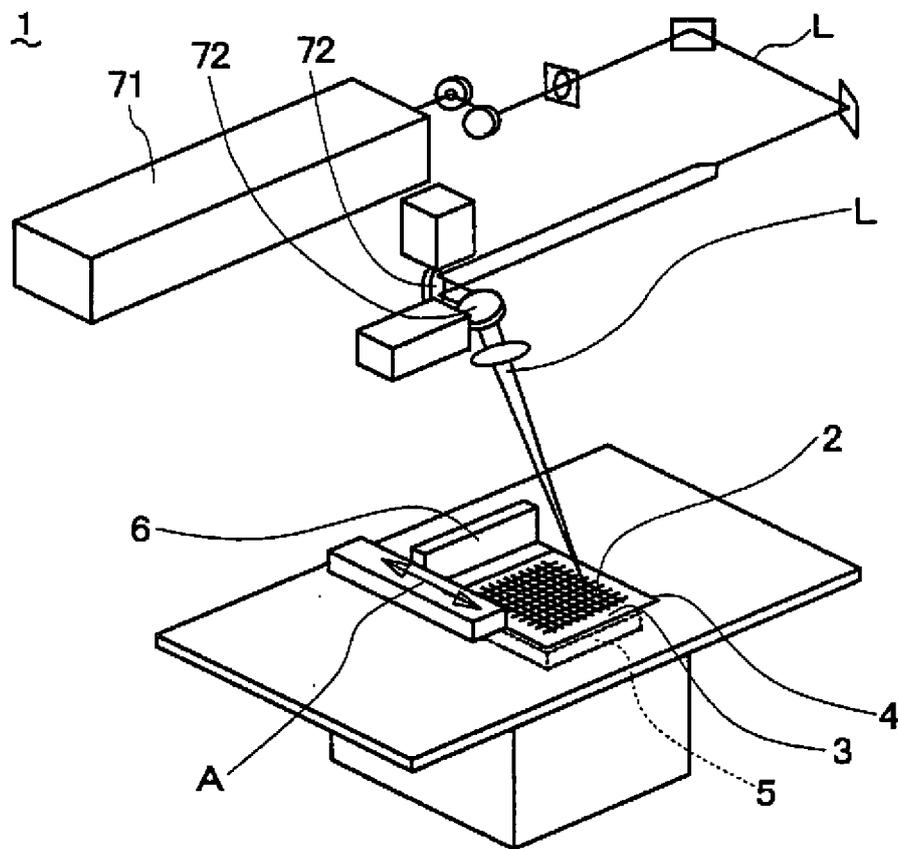


FIG. 2

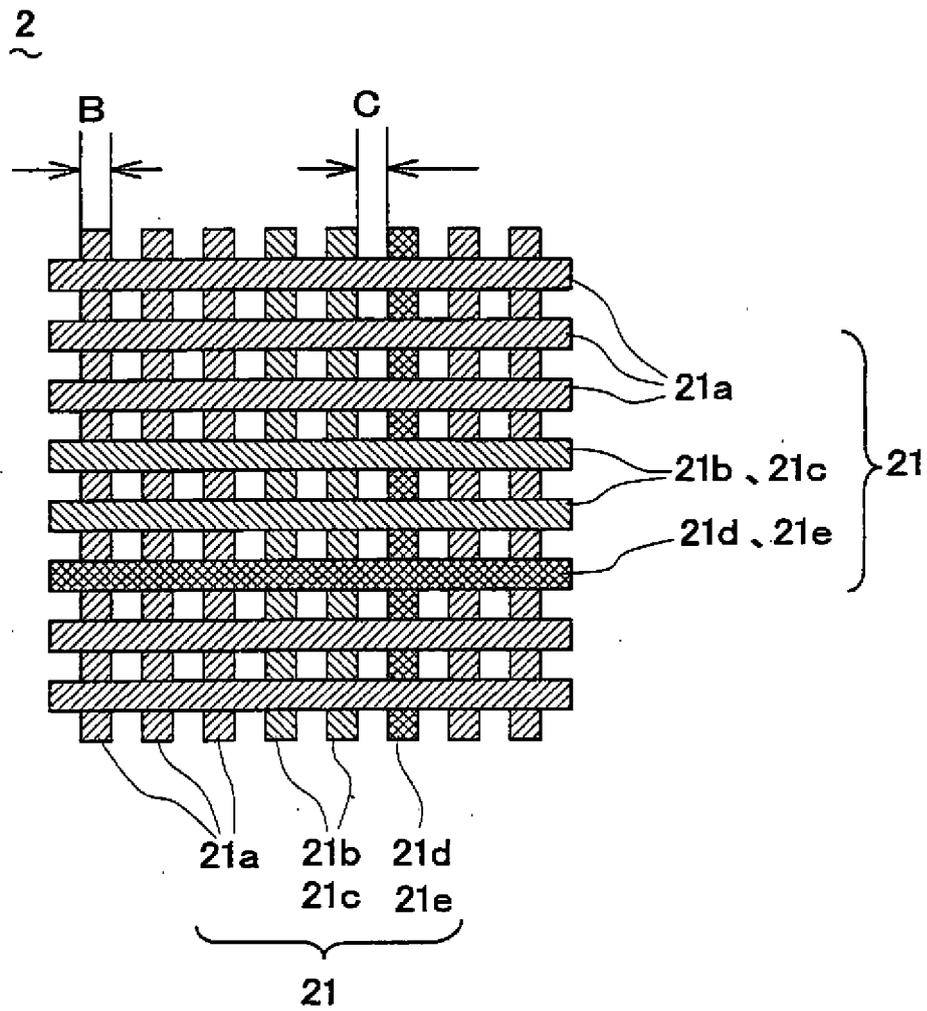
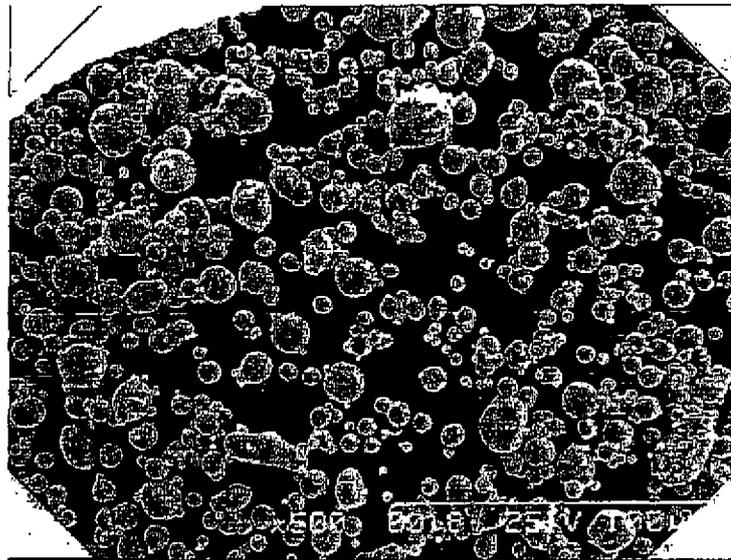


FIG. 3



10 μ m
|—|

FIG. 4

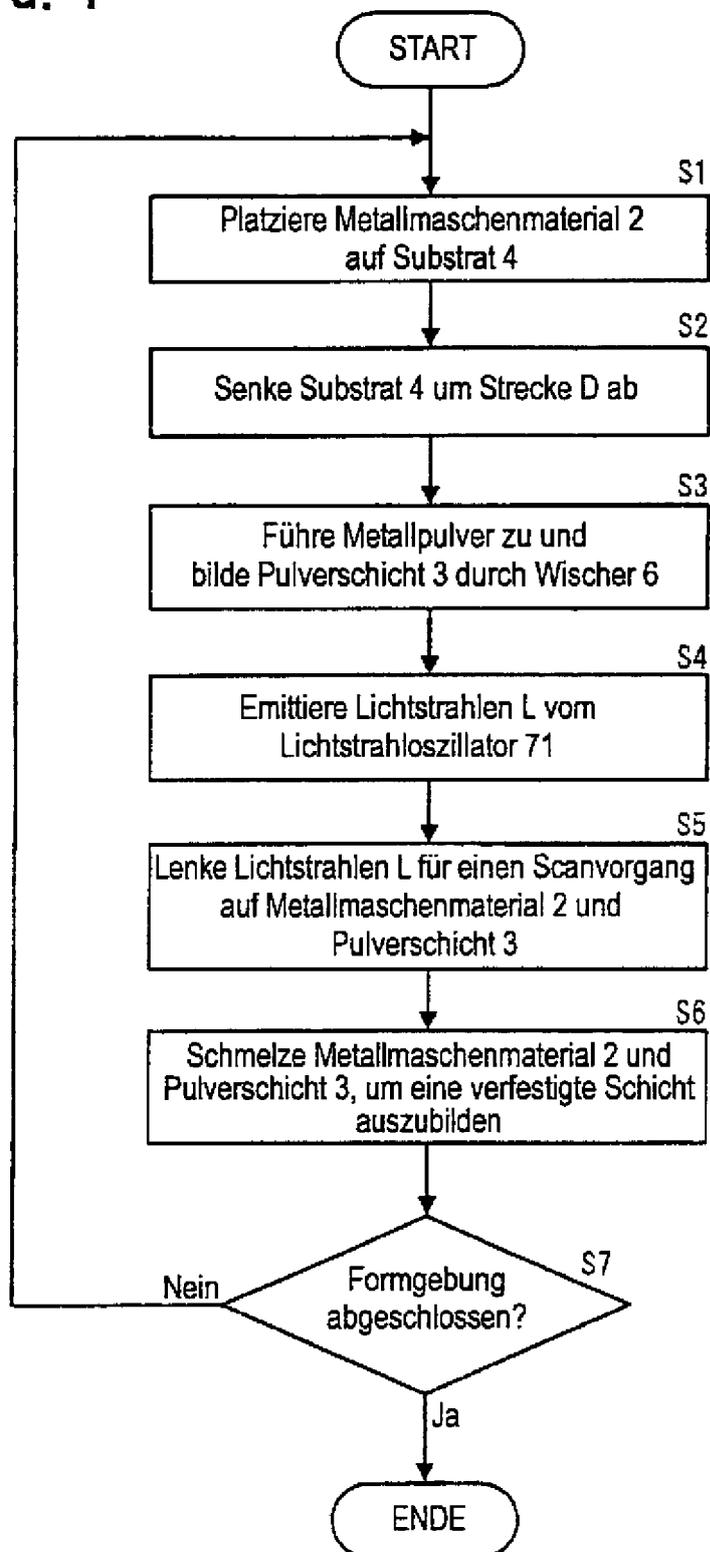


FIG. 5

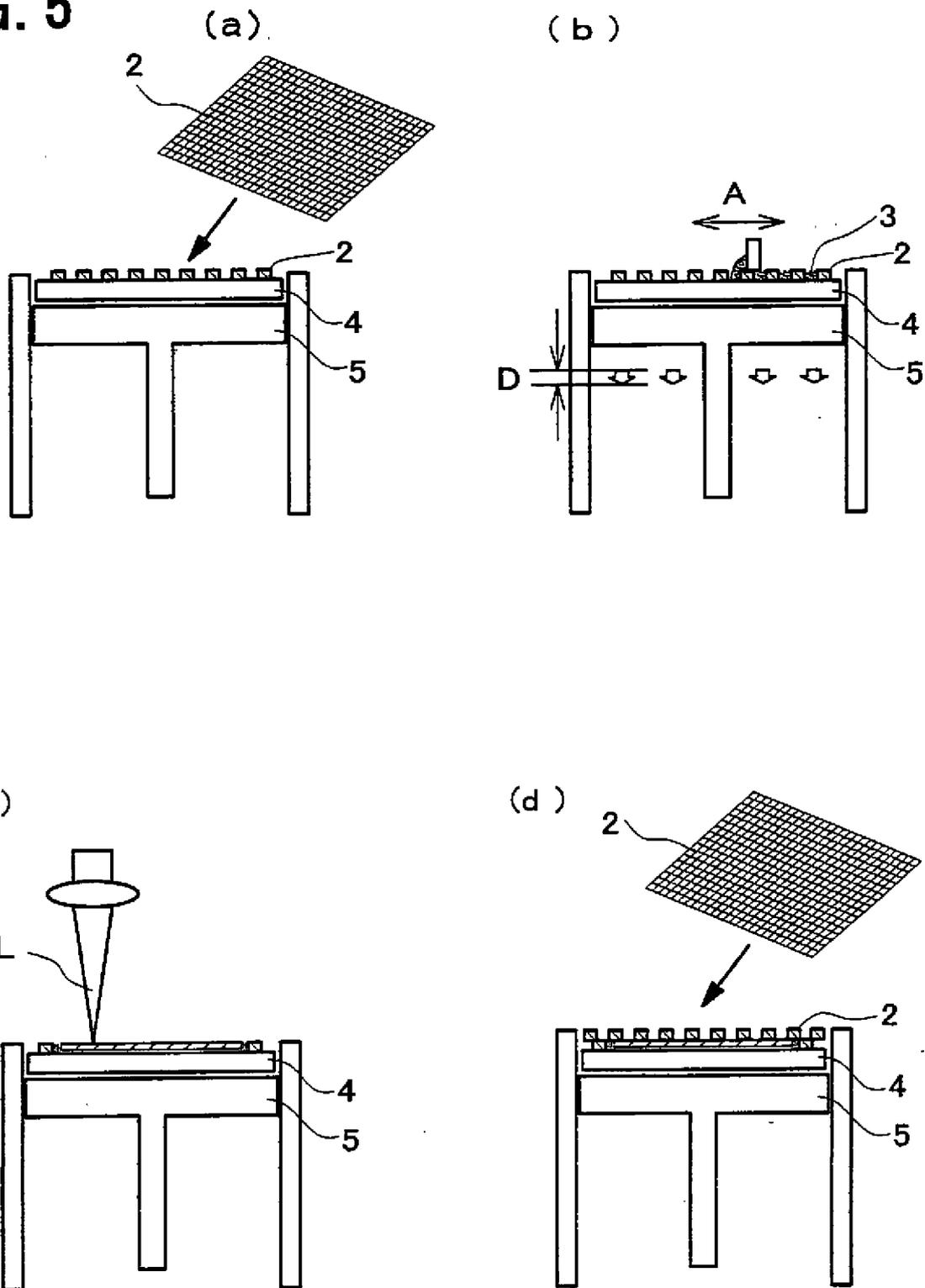


FIG. 6

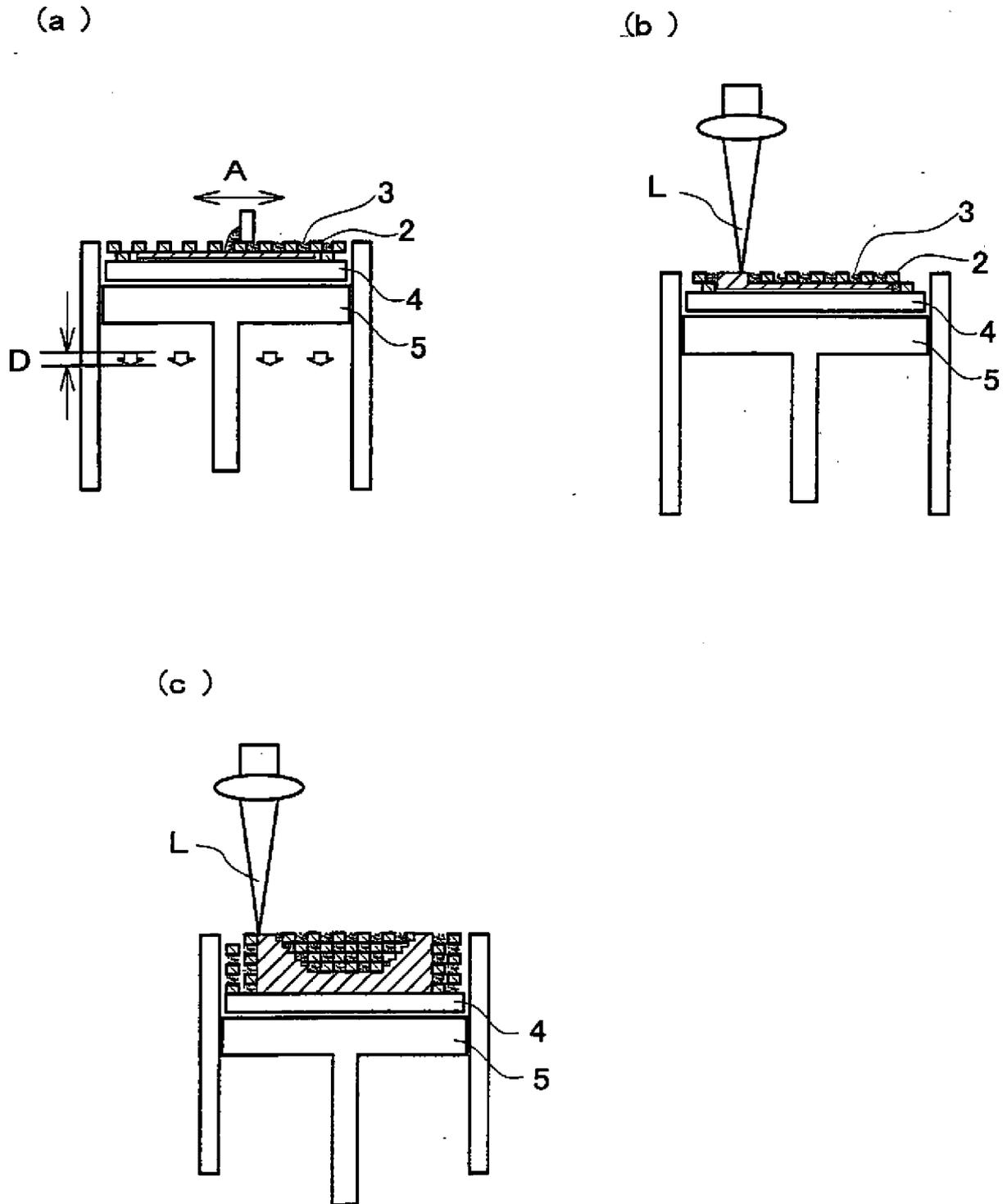


FIG. 7

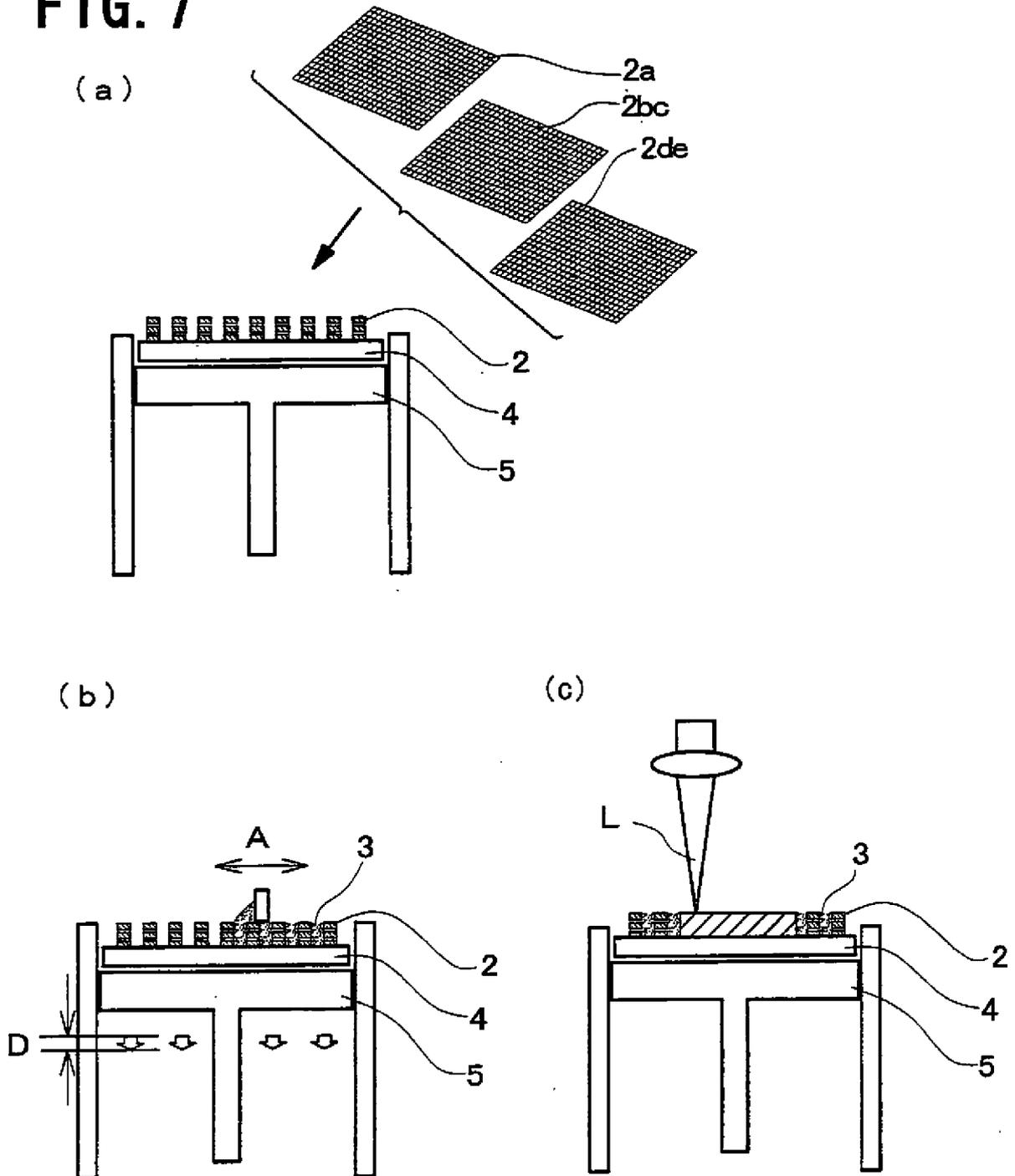


FIG. 8

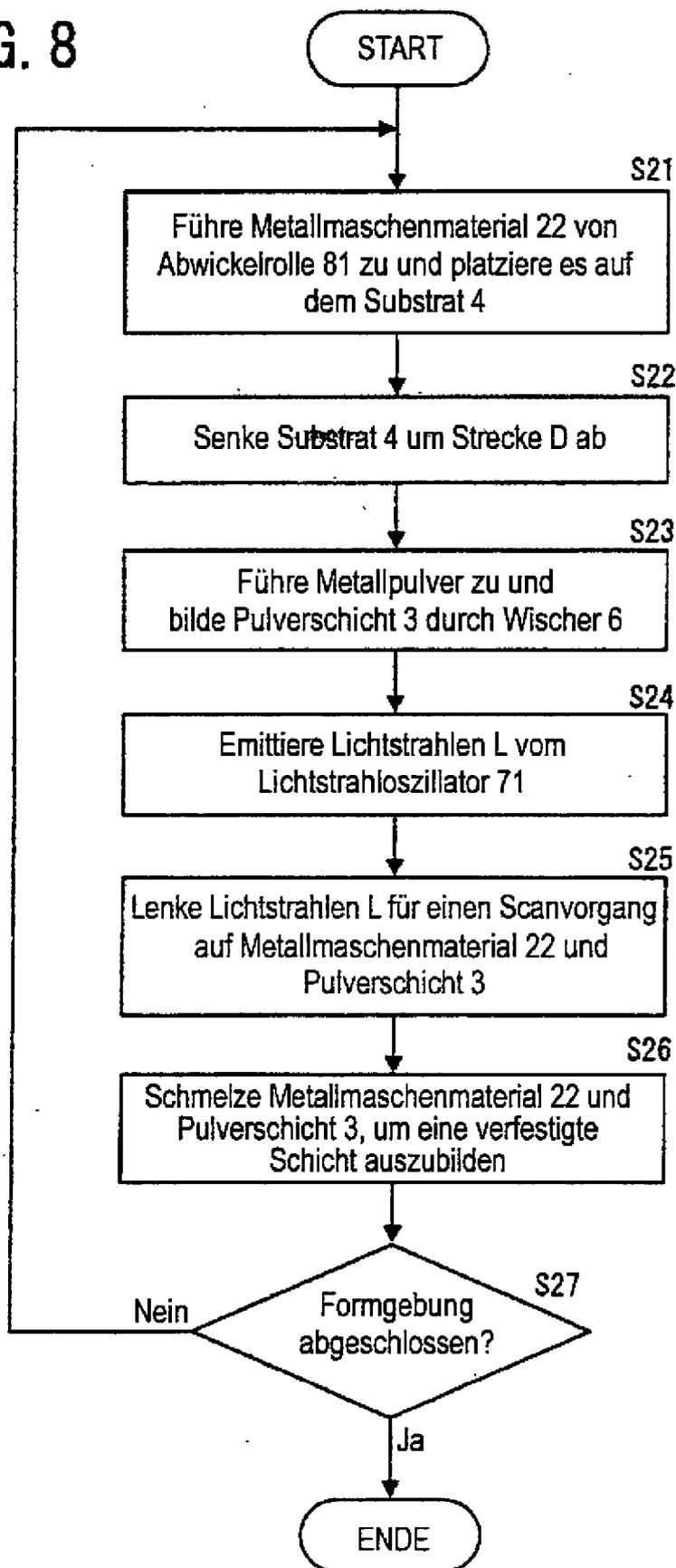


FIG. 9

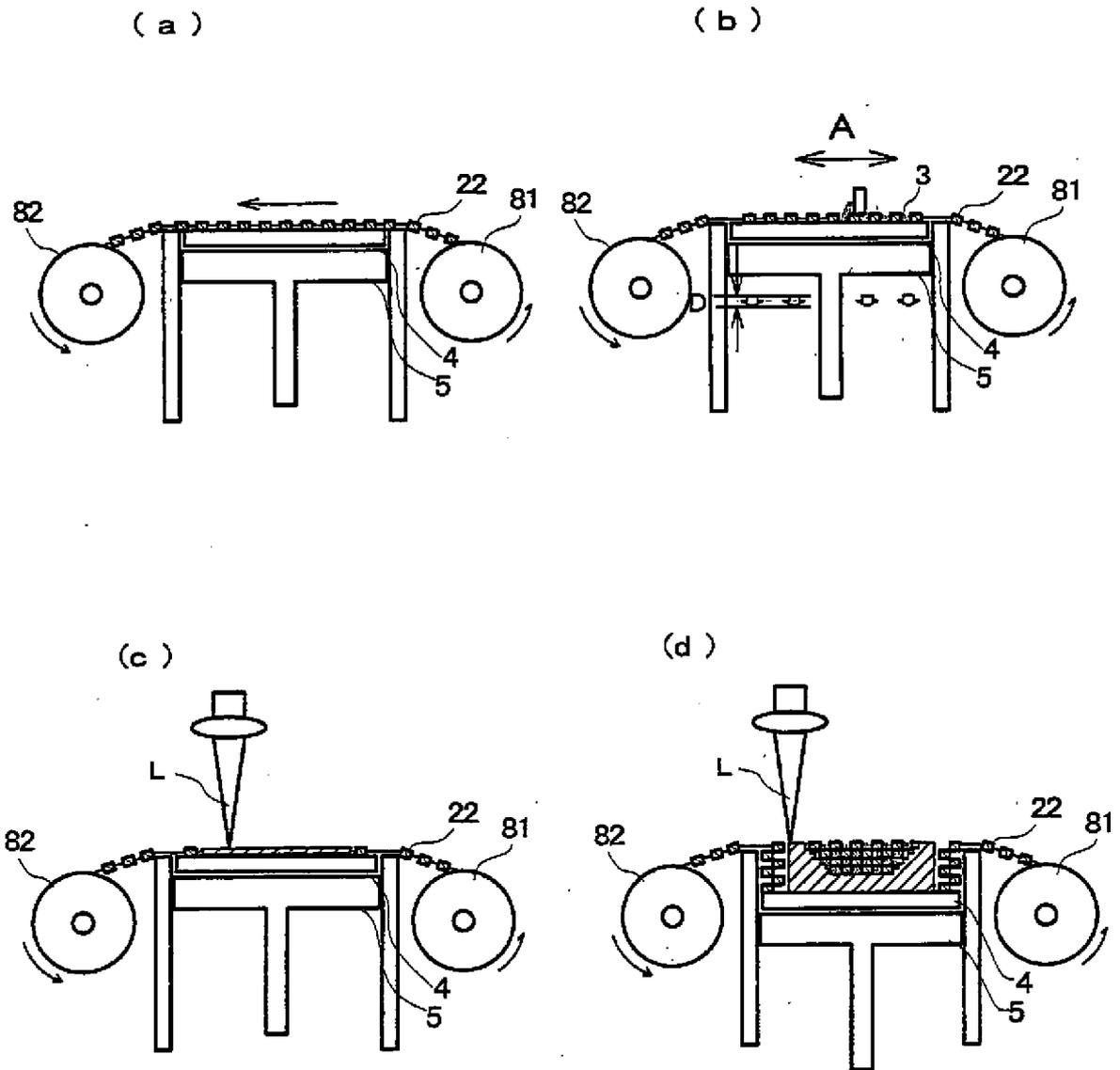


FIG. 10

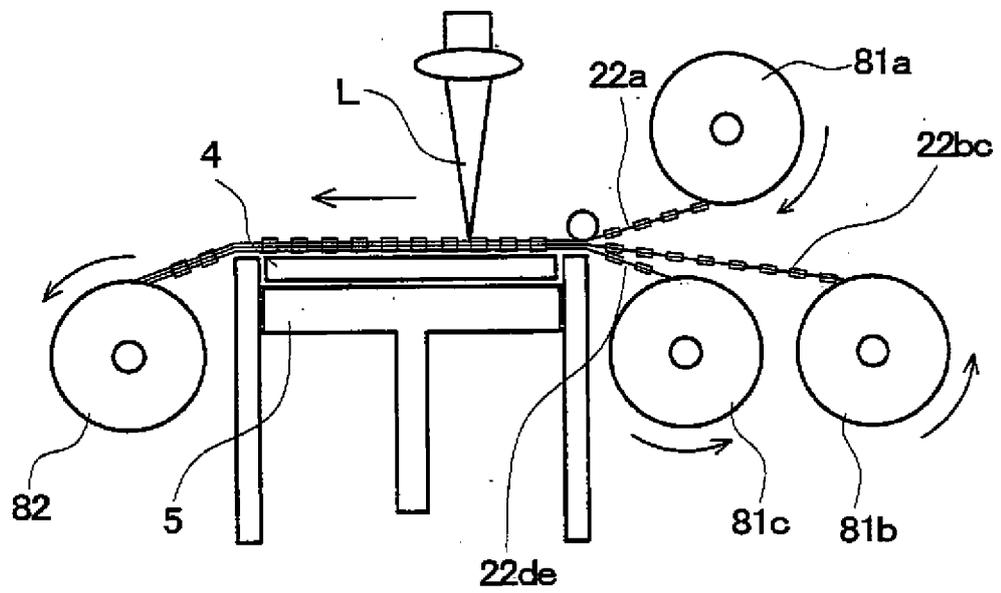


FIG. 12

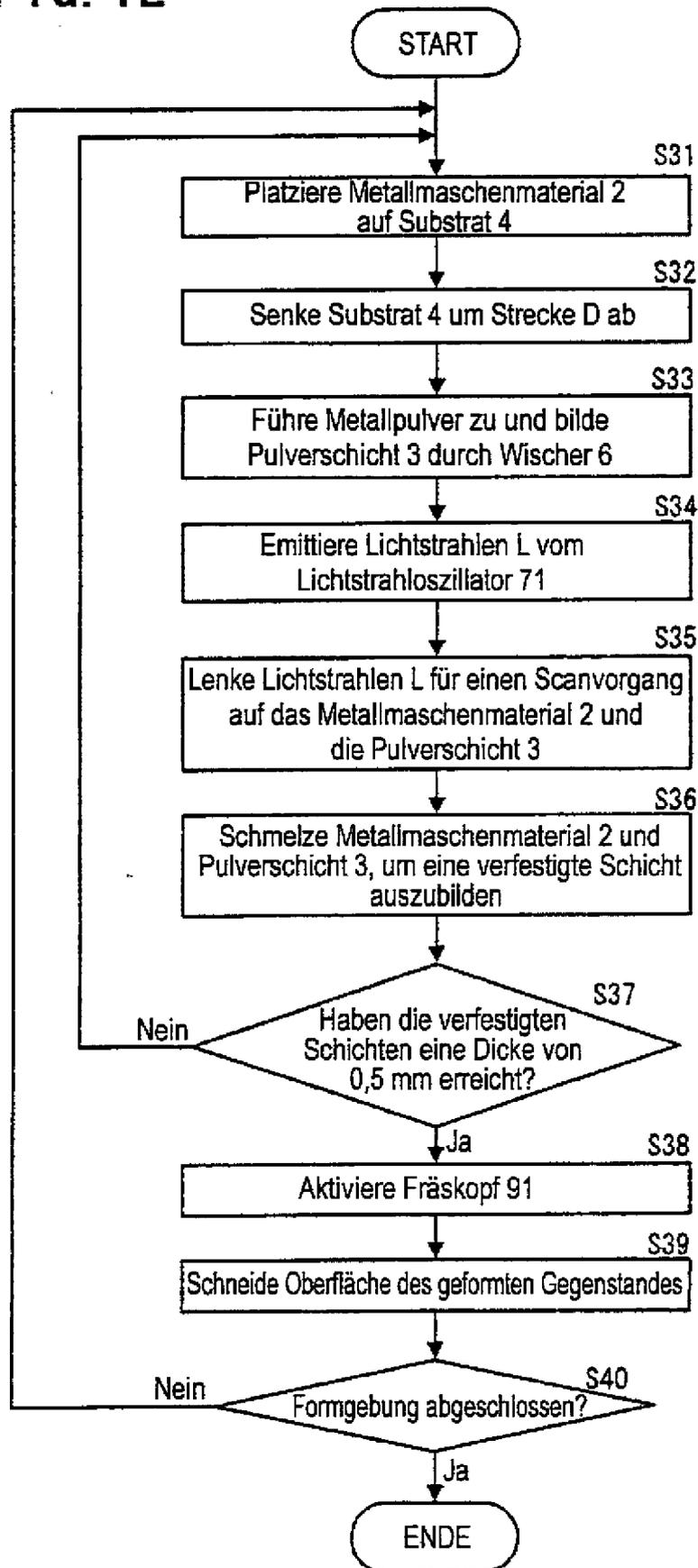


FIG. 13

