



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2021 100 190.0**  
 (22) Anmeldetag: **08.01.2021**  
 (43) Offenlegungstag: **15.07.2021**

(51) Int Cl.: **B22F 12/44 (2021.01)**  
**B22F 12/45 (2021.01)**  
**B22F 12/90 (2021.01)**  
**B33Y 30/00 (2015.01)**

(30) Unionspriorität:  
**2020-002751**      **10.01.2020**    **JP**

(71) Anmelder:  
**JTEKT CORPORATION, Osaka, JP**

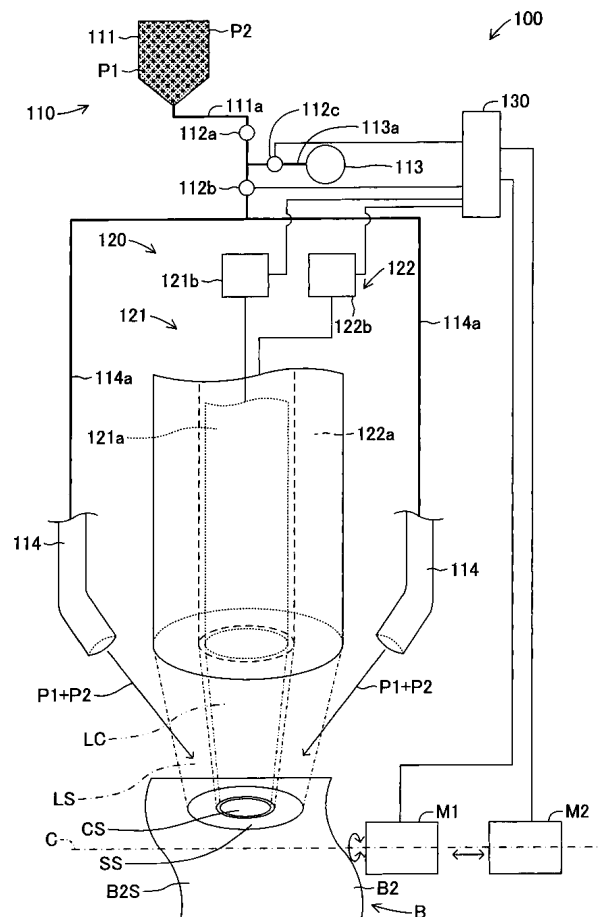
(74) Vertreter:  
**TBK, 80336 München, DE**

(72) Erfinder:  
**Tano, Makoto, Osaka, JP; Nagahama, Takaya, Osaka, JP; Shiiba, Koichi, Osaka, JP; Mizoguchi, Takashi, Osaka, JP; Kato, Kohei, Osaka, JP; Hasegawa, Sho, Osaka, JP**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **Additive Fertigungsverfahren**

(57) Zusammenfassung: Eine additive Fertigungsverfahren (100) umfasst Folgendes: eine Innenlichtstrahl-Abstrahleinrichtung (121), die einen Innenlichtstrahl (LC) abstrahlt; eine Außenlichtstrahl-Abstrahleinrichtung (122), die einen Außenlichtstrahl (LS) abstrahlt; und eine Steuereinrichtung (130). Wenn ein Schmelzbad mit dem Außenlichtstrahl (LS) bestrahlt wird, steuert die Steuereinrichtung (130) eine Leistungsdichte des Außenlichtstrahls (LS), der eine Leistung pro Flächeneinheit darstellt, derart, dass eine Abkühlgeschwindigkeit des Schmelzbaus, die einen Temperaturabfall pro Zeiteinheit darstellt, an einem Gefrierpunkt eines Carbids, der in dem Schmelzbad enthalten ist, 540°C/s oder weniger beträgt, wobei das Schmelzbad durch Bestrahlen eines Materials, das einen Hartstoff und den Carbidschmelzmittel enthält, mit dem Innenlichtstrahl ausgebildet wird, um das Material zu schmelzen. Dieses additive Fertigungsverfahren kann Risse verhindern und mit einer einfachen Konfiguration additiv ein geformtes Objekt hoher Qualität anfertigen.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine additive Fertigungsvorrichtung.

**[0002]** Bekanntlich umfasst die additive Fertigung zum Beispiel ein DED-Verfahren (DED: Directed Energy Deposition), ein Pulverbettsschmelzverfahren und dergleichen. Beim DED-Verfahren erfolgt die additive Fertigung, indem die Position eines Bearbeitungskopfes gesteuert wird, der einen Lichtstrahl (einen Laserstrahl, einen Elektronenstrahl, etc.) abstrahlt und ein Material zuführt. Das DED-Verfahren umfasst Laserauftragsschweißen (LMD: Laser Metal Deposition), Direktmetalldruck (DMP: Direct Metal Printing) und dergleichen. Beim Pulverbettsschmelzverfahren erfolgt die additive Fertigung, indem ein Pulvermaterial, das flach ausgebreitet wird, mit einem Lichtstrahl bestrahlt wird. Das Pulverbettsschmelzverfahren umfasst selektives Laserschmelzen (SLM: Selective Laser Melting), Elektronenstrahlschmelzen (EBM: Electron Beam Melting) und dergleichen.

**[0003]** Beim Laserauftragsschweißen des DED-Verfahrens wird zum Beispiel ein Pulvermaterial, das einen Hartstoff enthält, mit einem Lichtstrahl bestrahlt, während es ausgestoßen wird, und dadurch kann das Pulvermaterial, nachdem es geschmolzen wurde, erstarren. Dementsprechend wird das Laserauftragsschweißen zum Beispiel als eine Overlay-Technologie verwendet, bei der ein geformtes Objekt, das aus einem Hartstoff ausgebildet ist, partiell zu einem Träger hinzugefügt wird.

**[0004]** Die WO 2019 / 069 701 A1 offenbart zum Beispiel ein Hartmetall-Verbundmaterial. Ein Hartmetall-Verbundmaterial gemäß dem Stand der Technik umfasst einen Hartmetallteil, der Wolframcarbid (WC) und Cobalt (Co) enthält, und einen Trägermaterialteil, der Nickel (Ni) oder Cobalt (Co) enthält, und es weist zwischen dem Hartmetallteil und dem Trägermaterialteil eine Zwischenschicht auf, die einen Bestandteil des Hartmetallteils und einen Bestandteil des Trägermaterialteils enthält.

**[0005]** Bei der additiven Fertigung wird ein Pulvermaterial, nachdem es geschmolzen ist, erstarren gelassen, wodurch ein geformtes Objekt angefertigt wird. In einer Situation, in der ein Pulvermaterial, das einen Hartstoff enthält, aus einem geschmolzenen Zustand durch rasches Abkühlen erstarren gelassen wird, können aufgrund der Zähigkeit des Hartstoffs im geformten Objekt Risse auftreten und wird die Qualität eines harten, geformten Objekts reduziert. Das rasche Abkühlen kann in diesem Fall verhindert werden, indem das Pulvermaterial vorgewärmt wird.

**[0006]** Allerdings wird zum Beispiel beim Laserauftragsschweißen ein Materialpulver ausgestoßen, um zu Trägern, die verschiedene Formen haben können,

partiell ein geformtes Objekt hinzuzufügen, weswegen ein Verfahren wie das selektive Laserschmelzen, bei dem mittels eines Teils einer additiven Fertigungsvorrichtung wie einer Trägerplatte ein Pulvermaterial vorgewärmt wird, nicht praktikabel ist. Obwohl es auch beim Laserauftragsschweißen denkbar ist, das Pulvermaterial mittels einer Heizung oder dergleichen vorzuwärmen, kann dies den Bearbeitungskopf stören oder kann ein Steuerungssystem kompliziert sein.

**[0007]** Die Erfindung stellt eine additive Fertigungsvorrichtung zur Verfügung, die Risse verhindern kann und mit einer einfachen Konfiguration additiv ein geformtes Objekt hoher Qualität anfertigen kann.

**[0008]** Gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung umfasst eine additive Fertigungsvorrichtung Folgendes: eine Innenlichtstrahl-Abstrahleinrichtung, die so konfiguriert ist, dass sie einen Innenlichtstrahl abstrahlt, der ein Material bei einer Temperatur erhitzt, die größer oder gleich einem Schmelzpunkt des Materials ist, wobei das Material einen Hartstoff und einen Carbidbinder umfasst; eine Außenlichtstrahl-Abstrahleinrichtung, die so konfiguriert ist, dass sie einen Außenlichtstrahl abstrahlt, der das Material auf einer Außenseite des Innenlichtstrahls bei einer Temperatur erhitzt, die niedriger als der Schmelzpunkt ist; und eine Steuereinrichtung, die so konfiguriert ist, dass sie für jede von der Innenlichtstrahl-Abstrahleinrichtung und der Außenlichtstrahl-Abstrahleinrichtung das Abstrahlen des Innenlichtstrahls und des Außenlichtstrahls und jede Bewegung des Innenlichtstrahls und des Außenlichtstrahls bezüglich eines Trägers steuert. Wenn mit dem Außenlichtstrahl ein Schmelzbad bestrahlt wird, steuert die Steuervorrichtung eine Leistungsdichte des Außenlichtstrahls, die eine Leistung pro Flächeneinheit darstellt, derart, dass eine Abkühlgeschwindigkeit des Schmelzbads, die einen Temperaturabfall pro Zeiteinheit darstellt, an einem Gefrierpunkt des Carbidbinders, der in dem Schmelzbad enthalten ist,  $540^{\circ}\text{C/s}$  oder weniger beträgt, wobei das Schmelzbad durch Bestrahlen des Materials mit dem Innenlichtstrahl ausgebildet wird, um das Material zu schmelzen.

**[0009]** Wenn das Schmelzbad, das ausgebildet wird, indem ein Material, das einen Hartstoff enthält, mittels Abstrahlen des Innenlichtstrahls geschmolzen wird, mit dem Außenlichtstrahl bestrahlt wird, kann die Steuereinrichtung dementsprechend die Leistungsdichte des Außenlichtstrahls so steuern, dass die Abkühlgeschwindigkeit beim Abkühlen des Schmelzbads am Gefrierpunkt des im Schmelzbad enthaltenen Carbidbinders  $540^{\circ}\text{C/s}$  oder weniger beträgt.

**[0010]** Auf diese Weise wird die Leistungsdichte des Außenlichtstrahls so gesteuert, dass eine Wärmerückhaltebehandlung erfolgt, sodass die Abkühlgeschwindigkeit des Schmelzbads (eines geformten

Objekts) 540°C/s oder weniger beträgt. Somit können die rasche Abkühlung und Erstarrung des geformten Objekts verhindert werden. Daher kann mit einer einfachen Konfiguration das Auftreten von Rissen im geformten Objekt verhindert werden und es kann additiv ein geformtes Objekt hoher Qualität angefertigt werden.

**[0011]** Die Zeichnungen zeigen Folgendes:

**Fig. 1** ein Schaubild, das eine additive Fertigungsvorrichtung zeigt;

**Fig. 2** eine Perspektivansicht, die einen Träger zur additiven Fertigung eines geformten Objekts durch die additive Fertigungsvorrichtung von **Fig. 1** darstellt;

**Fig. 3** eine Ansicht des Trägers in **Fig. 2**, zu dem ein geformtes Objekt hinzugefügt worden, ist von einer Mittelachsenrichtung aus gesehen;

**Fig. 4** eine Schnittansicht, die einen Ausgangszustand eines zu einem Träger hinzugefügten geformten Objekts darstellt, wenn das durch die additive Fertigungsvorrichtung von **Fig. 1** angefertigte geformte Objekt additiv gefertigt wird;

**Fig. 5** eine Schnittansicht, die einen Zwischenzustand und einen zusätzlichen Zustand des additiv zum Träger hinzugefügten geformten Objekts darstellt, wenn eine Bewegung von dem Zustand von **Fig. 4** um ein gewisses Maß vorangeschritten ist;

**Fig. 6** ein Strahlprofil, das eine Beziehung zwischen einer Leistungsdichte und einem Lichtabstrahlbereich im Fall der additiven Fertigung eines geformten Objekts auf einem Träger in der additiven Fertigungsvorrichtung von **Fig. 1** zeigt;

**Fig. 7** ein Diagramm, das eine Beziehung zwischen der Vorwärmtemperatur und der Anzahl an Rissen in einem geformten Objekt zeigt;

**Fig. 8** ein Diagramm, um eine Abkühlgeschwindigkeit an einem Gefrierpunkt von Cobalt (Co), das ein Carbiddbinder ist, zu zeigen;

**Fig. 9** ein Schaubild, um eine Größe eines Durchmessers eines Innenlichtstrahls und eine Größe eines Durchmessers eines Außenlichtstrahls zu zeigen;

**Fig. 10** ein Diagramm, um eine Änderung der Abkühlgeschwindigkeit in einem Fall zu zeigen, in dem ein Verhältnis des Durchmessers des Außenlichtstrahls zum Durchmesser des Innenlichtstrahls geändert wird;

**Fig. 11** ein Strahlprofil, das eine Beziehung zwischen einer Leistungsdichte und einem Lichtabstrahlbereich gemäß einem ersten alternativen Ausführungsbeispiel zeigt;

**Fig. 12** ein Diagramm, das eine Beziehung zwischen einer Lichtabstrahlform eines Außenlichtstrahls und einem Strahlprofil gemäß einem zweiten alternativen Ausführungsbeispiel zeigt;

**Fig. 13** ein Diagramm, um einen Fall zu zeigen, in dem ein Strahlprofil in Übereinstimmung mit einer Lichtabstrahlform eines Außenlichtstrahls gemäß einem dritten alternativen Ausführungsbeispiel geändert wird;

**Fig. 14** ein Diagramm, um einen Fall zu zeigen, in dem ein Strahlprofil in Übereinstimmung mit einer Lichtabstrahlform eines Außenlichtstrahls gemäß einem dritten alternativen Ausführungsbeispiel geändert wird;

**Fig. 15** ein Schaubild, das eine andere Konfiguration einer Lichtabstrahleinrichtung zeigt, die in einer additiven Fertigungsvorrichtung eingesetzt wird;

**Fig. 16** ein Schaubild, das eine andere Konfiguration einer Lichtabstrahleinrichtung zeigt, die in einer additiven Fertigungsvorrichtung eingesetzt wird.

#### Überblick über die additive Fertigungsvorrichtung

**[0012]** Eine additive Fertigungsvorrichtung dieses Ausführungsbeispiels setzt zum Beispiel ein Laser-auftragsschweißverfahren ein, das ein DED-Verfahren ist. In diesem Ausführungsbeispiel fertigt die additive Fertigungsvorrichtung an einem Träger additiv ein hartes, geformtes Objekt, indem sie einen Lichtstrahl abstrahlt, während sie zum Träger ein Pulvermaterial ausstößt, das erzielt wird, indem ein bindendes Pulvermaterial mit einem harten Pulvermaterial gemischt wird, das ein Hartstoff ist. Das Pulvermaterial, insbesondere das harte Pulvermaterial, und der Träger können aus verschiedenen Materialien oder aus dem gleichen Material ausgebildet sein.

**[0013]** In diesem Ausführungsbeispiel wird ein Fall beschrieben, in dem ein hartes, geformtes Objekt, das geformt werden soll, unter Verwendung eines harten Pulvermaterials aus Wolframcarbid (WC), das ein Hartstoff ist, additiv an einem Träger gefertigt wird, der unter Verwendung von Kohlenstoffstahl (S45C) ausgebildet ist. Dabei wird als das bindende Pulvermaterial Cobalt (Co) verwendet, das als ein Carbiddbinder agiert, um Wolframcarbid (WC) miteinander zu verbinden. Dabei beträgt ein Schmelzpunkt (Gefrierpunkt) von Wolframcarbid (WC) 2870°C, was höher als ein Schmelzpunkt (Gefrierpunkt) von Cobalt (Co) als Carbiddbinder ist, der 1495°C beträgt. In diesem Ausführungsbeispiel wird als der Carbiddbinder Cobalt (Co) verwendet. Allerdings ist der Carbiddbinder nicht auf Cobalt (Co) beschränkt und es kann zum Beispiel auch Nickel (Ni) als Carbiddbinder verwendet werden.

Konfiguration der additiven  
Fertigungsvorrichtung 100

**[0014]** Wie in **Fig. 1** gezeigt ist, umfasst die additive Fertigungsvorrichtung **100** hauptsächlich eine Additivmaterial-Zufuhreinrichtung **110**, eine Lichtstrahl-Abstrahleinrichtung **120** und eine Steuereinrichtung **130**. Wie in den **Fig. 2** und **Fig. 3** gezeigt ist, stellt dieses Ausführungsbeispiel dabei einen Fall dar, in dem die additive Fertigungsvorrichtung **100** additiv ein geformtes Objekt **FF** an einem Träger **B** fertigt, der eine Form hat, bei der auf beiden Seitenflächen eines Scheibenelements großen Durchmessers **B1** koaxial zylinderförmige Elemente kleinen Durchmessers **B2**, **B2** integriert sind. Im Einzelnen fertigt die additive Fertigungsvorrichtung **100** das geformte Objekt **FF** additiv an Umfangsflächen (einem Stützabschnitt eines nicht gezeigten Wälzlagers) **B2S**, **B2S**, die auf offenen Endseiten der zylinderförmigen Elemente **B2**, **B2** des Trägers **B** durch eine Rasterung angegeben sind.

**[0015]** Wenn das geformte Objekt **FF** additiv am Träger **B** gefertigt wird, dreht die additive Fertigungsvorrichtung **100**, wie in **Fig. 1** gezeigt ist, einen Motor **M1**, um den Träger **B** um eine Mittelachse **C** zu drehen. Des Weiteren dreht die additive Fertigungsvorrichtung **100** einen Motor **M2**, um den Träger **B** in Richtung der Mittelachse **C** zu bewegen. Dementsprechend kann das geformte Objekt **FF** additiv in Schichten über den gesamten Umfangsflächen **B2S**, **B2S** der zylinderförmigen Elemente **B2**, **B2** angefertigt werden.

**[0016]** Die Additivmaterial-Zufuhreinrichtung **110** umfasst einen Trichter **111**, ein Ventil **112**, eine Gasflasche **113** und Ausstoßdüsen **114**. Der Trichter **111** speichert ein hartes Pulvermaterial **P1**, das mit einem bindenden Pulvermaterial **P2** gemischt ist. Da das geformte Objekt **FF** in diesem Ausführungsbeispiel aus viel hartem Pulvermaterial **P1** und wenig bindendem Pulvermaterial **P2** ausgebildet wird, ist die Menge des mit dem harten Pulvermaterial **P1** gemischten bindenden Pulvermaterials **P2** die Menge, die dem bindenden Pulvermaterial **P2** in dem geformten Objekt **FF** entspricht.

**[0017]** Das Ventil **112** umfasst ein Pulvereinführventil **112a**, ein Pulverzuführventil **112b** und ein Gaseinführventil **112c**. Das Pulvereinführventil **112a** ist über ein Rohr **114a** mit dem Trichter **111** verbunden. Das Pulverzuführventil **112b** ist über ein Rohr **114a** mit jeder der Ausstoßdüsen **114** verbunden. Das Gaseinführventil **112c** ist über ein Rohr **113a** mit der Gasflasche **113** verbunden.

**[0018]** Die Ausstoßdüse **114** stößt das harte Pulvermaterial **P1** und das bindende Pulvermaterial **P2** aus und führt es durch zum Beispiel ein Hochdruck-Stickstoffgas, das von der Gasflasche **113** zugeführt wird,

den Umfangsflächen **B2S** der zylinderförmigen Elemente **B2** des Trägers **B** zu. Dieses Ausführungsbeispiel zeigt einen Fall, in dem zwei Ausstoßdüsen **114** im Abstand von 180 Grad angeordnet sind. Alternativ kann eine Konfiguration verwendet werden, bei der die Additivmaterial-Zufuhreinrichtung eine Ausstoßdüse **114** oder drei oder mehr Ausstoßdüsen **114** umfasst, die in gleichen Intervallen angeordnet sind. Alternativ kann eine Konfiguration verwendet werden, bei der die Ausstoßdüse **114** ein ringförmiges Ausstoßloch umfasst, das um ein Abstrahlloch herum angeordnet ist, das durch die Lichtstrahl-Abstrahleinrichtung **120** mit einem Lichtstrahl bestrahlt wird. Das Gas zum Ausstoßen des harten Pulvermaterials **P1** und des bindenden Pulvermaterials **P2** ist nicht auf das Stickstoffgas beschränkt und kann ein Inertgas sein, etwa ein Argongas.

**[0019]** Die Lichtstrahl-Abstrahleinrichtung **120** umfasst hauptsächlich eine Innenlichtstrahl-Abstrahleinrichtung **121** und eine Außenlichtstrahl-Abstrahleinrichtung **122**. Die Innenlichtstrahl-Abstrahleinrichtung **121** umfasst hauptsächlich eine Innenlichtstrahl-Abstrahleinheit **121a** und eine Innenlichtstrahl-Lichtquelle **121b**. Die Außenlichtstrahl-Abstrahleinrichtung **122** umfasst hauptsächlich eine Außenlichtstrahl-Abstrahleinheit **122a** und eine Außenlichtstrahl-Lichtquelle **122b**.

**[0020]** Die Innenlichtstrahl-Abstrahleinrichtung **121** strahlt von der Innenlichtstrahl-Lichtquelle **121b** durch eine (nicht gezeigte) Kollimatorlinse oder Kondensorlinse, die in der Innenlichtstrahl-Abstrahleinheit **121a** angeordnet ist, auf die Umfangsflächen **B2S** des Trägers **B** einen Innenlichtstrahl **LC** ab. Die Außenlichtstrahl-Abstrahleinrichtung **122** strahlt von der Außenlichtstrahl-Lichtquelle **122b** durch eine (nicht gezeigte) Kollimatorlinse oder Kondensorlinse, die in der Außenlichtstrahl-Abstrahleinheit **122a** angeordnet ist, auf die Umfangsflächen **B2S** des Trägers **B** einen Außenlichtstrahl **LS** ab.

**[0021]** Dabei strahlt die Innenlichtstrahl-Abstrahleinrichtung **121** den Innenlichtstrahl **LC** ab, der in diesem Ausführungsbeispiel in einer kreisförmigen Abstrahlform (einem Innenlichtabstrahlbereich **CS**) ausgebildet ist. Die Außenlichtstrahl-Abstrahleinrichtung **122** strahlt den Außenlichtstrahl **LS** ab, der in einer ringförmigen Abstrahlform (einem Außenlichtabstrahlbereich **SS**) ausgebildet ist, der mit dem Innenlichtstrahl **LC** koaxial ist und einen Außenumfang von ihm umgibt. Der Innenlichtstrahl **LC** schmilzt in erster Linie das harte Pulvermaterial **P1** und das bindende Pulvermaterial **P2** auf den Umfangsflächen **B2S** des Trägers **B**, um additiv das geformte Objekt **FF** anzufertigen. Der Außenlichtstrahl **LS** verhindert in erster Linie einen Temperaturabfall eines additiv an den Umfangsflächen **B2S** des Trägers **B** gefertigten geformten Objekts **FF** (genauer gesagt eines später beschriebenen Schmelzbads **MP**), das heißt, er hält

die Wärme des geformten Objekts **FF** zurück. In diesem Ausführungsbeispiel wird als der Innenlichtstrahl **LC** und der Außenlichtstrahl **LS** Laserlicht verwendet. Allerdings sind der Innenlichtstrahl **LC** und der Außenlichtstrahl **LS** nicht auf das Laserlicht beschränkt und es kann zum Beispiel ein Elektronenstrahl verwendet werden, solange er eine elektromagnetische Welle ist.

**[0022]** In diesem Ausführungsbeispiel werden der kreisförmige Innenlichtstrahl **LC** und der ringförmige Außenlichtstrahl **LS** abgestrahlt, jedoch sind der Innenlichtstrahl **LC** und der Außenlichtstrahl **LS** nicht auf eine Kreisform beschränkt. Zum Beispiel können der Innenlichtstrahl **LC** und der Außenlichtstrahl **LS** jeweils eine viereckige Form haben oder es kann eine Kombination verwendet werden, bei der der Innenlichtstrahl **LC** eine kreisförmige oder viereckige Form haben kann und der Außenlichtstrahl **LS** eine viereckige oder kreisförmige Form haben kann.

**[0023]** Die Steuereinrichtung **130** steuert die Pulverzufuhr der Additivmaterial-Zufuhreinrichtung **110**. Im Einzelnen steuert die Steuereinrichtung **130** das Öffnen und Schließen des Pulverzuführventils **112b** und des Gaseinführventils **112c**, um die Ausstoßzufuhr des harten Pulvermaterials **P1** und des bindenden Pulvermaterials **P2** aus der Ausstoßdüse **114** zu steuern.

**[0024]** Die Steuereinrichtung **130** steuert die Lichtabstrahlung der Lichtstrahl-Abstrahleinrichtung **120**, das heißt der Innenlichtstrahl-Abstrahleinrichtung **121** und der Außenlichtstrahl-Abstrahleinrichtung **122**. Die Steuereinrichtung **130** steuert die Bewegung mit dem Innenlichtstrahl **LC** und dem Außenlichtstrahl **LS** bezüglich der Umfangsflächen **B2S** des Trägers **B**. Im Einzelnen steuert die Steuereinrichtung **130** die Drehung des Motors **M1**, um den Träger **B** um die Mittelachse **C** zu drehen, und die Drehung des Motors **M2**, um den Träger **B** in der Richtung der Mittelachse **C** zu bewegen. Dementsprechend wird die Bewegung mit dem Innenlichtstrahl **LC** und dem Außenlichtstrahl **LS** bezüglich der Außenumfangsflächen **B2S** des Trägers **B** gesteuert.

**[0025]** In diesem Ausführungsbeispiel dreht die Steuereinrichtung **130** den Träger **B** und bewegt ihn. Es ist jedoch überflüssig zu erwähnen, dass die Lichtstrahl-Abstrahleinrichtung **120**, das heißt die Innenlichtstrahl-Abstrahleinrichtung **121** und die Außenlichtstrahl-Abstrahleinrichtung **122**, bezüglich des Trägers **B** bewegt werden kann.

**[0026]** Die Steuereinrichtung **130** steuert jeweils den Betrieb der Innenlichtstrahl-Lichtquelle **121b** und der Außenlichtstrahl-Lichtquelle **122b**. Dementsprechend steuert die Steuereinrichtung **130** die Abgabebedingungen des Innenlichtstrahls **LC** und des Außenlichtstrahls **LS** jeweils unabhängig. Beispiele

der Abgabebedingungen schließen dabei eine Verteilungsform einer Leistungsdichte, die eine Laserleistung von jeweils dem Innenlichtstrahl **LC** und dem Außenlichtstrahl **LS** ist, oder eine Laserleistung (**W**) pro Flächeneinheit des Innenlichtabstrahlbereichs **CS** und des Außenlichtabstrahlbereichs **SS**, das heißt eines Strahlprofils, ein.

#### Additives Fertigungsverfahren für das geformte Objekt FF

**[0027]** Als Nächstes wird ein additives Fertigungsverfahren für das geformte Objekt **FF** beschrieben. In dem additiven Fertigungsverfahren für das geformte Objekt **FF** erfolgt als eine erste Phase bei einer additiven Fertigungsverfahren des geformten Objekts **FF** durch den Außenlichtstrahl **LS** als eine Vorbehandlung eine anfängliche Vorwärmbehandlung. In einem Zustand, in dem die Temperatur der Umfangsflächen **B2S** des Trägers **B** niedrig ist, entweicht die durch die Laserbestrahlung hervorgerufene Wärmeenergie leicht in den Träger **B**. In einem Fall, in dem das geformte Objekt **FF** in einer zweiten Phase additiv am Träger **B** gefertigt wird, ruft dementsprechend das Auftreten von Spritzen oder dergleichen tendenziell ein schlechtes Schmelzen hervor, weswegen die Umfangsflächen **B2S** des Trägers **B** in der ersten Phase vorgewärmt werden. Bei der anfänglichen Vorwärmbehandlung werden dabei die Laserleistungen des Innenlichtstrahls **LC** und des Außenlichtstrahls **LS** so gesteuert, dass die Umfangsflächen **B2S** des Trägers **B** eine vorbestimmte Temperatur erreichen, ohne geschmolzen zu werden. Gegebenenfalls kann bei der additiven Fertigung auch die erste Phase weggelassen werden.

**[0028]** Wie in **Fig. 4** gezeigt ist, folgt als Nächstes als die zweite Phase eine Schmelzbehandlung, bei der ein Schmelzbad **MP** ausgebildet wird, indem mittels Abstrahlen des Innenlichtstrahls **LC** im Innenlichtabstrahlbereich **CS** die Umfangsflächen **B2S** des Trägers **B** und das harte Pulvermaterial **P1** geschmolzen werden. Bei der Schmelzbehandlung erfolgt durch einen ersten Lichtstrahl **LC**, der ein Teil des Außenlichtstrahls **LS** ist, innerhalb eines in einer Bewegungsrichtung **SD** vorderen Abstrahlbereichs **SSF** des Außenlichtabstrahlbereichs **SS** des Außenlichtstrahls **LS** als eine Vorbehandlung der Ausbildungsbehandlung des Schmelzbads **MP** eine Vorwärmbehandlung.

**[0029]** Wie in **Fig. 5** gezeigt ist, wird das Schmelzbad **MP** dann vergrößert, indem in der Bewegungsrichtung **SD**, in der die Bewegung erfolgt (in diesem Ausführungsbeispiel wird der Träger **B** gedreht und abgetastet, doch der Einfachheit halber wird dies als eine Bewegung beschrieben, die mit dem Innenlichtstrahl **LC** in **Fig. 5** erfolgt), eine Bewegung mit dem Innenlichtstrahl **LC** erfolgt, sodass das geformte Objekt **FF** additiv gefertigt wird. Dabei wird Wolframcarbid (WC)

als das harte Pulvermaterial **P1** mit Cobalt (Co) als dem bindenden Pulvermaterial **P2**, das als ein Binder agiert, gebunden, sodass das geformte Objekt **FF** partiell zum Träger **B** hinzugefügt wird.

**[0030]** Der Innenlichtstrahl **LC** wird fortlaufend in der Bewegungsrichtung **SD** bewegt, nachdem er das harte Pulvermaterial **P1** und das bindende Pulvermaterial **P2** geschmolzen hat, um so das Schmelzbad **MP** zu vergrößern. Daher wird das Schmelzbad **MP** innerhalb eines in der Bewegungsrichtung **SD** hinteren Abstrahlbereichs **SSB** des Außenlichtabstrahlbereichs **SS** des Außenlichtstrahls **LS** mit einem zweiten Lichtstrahl **Be2** bestrahlt, der ein Teil des Außenlichtstrahls **LS** ist. Dementsprechend führt der zweite Lichtstrahl **Be2** als eine Nachbehandlung der additiven Fertigung des geformten Objekts **FF** eine Wärmerückhaltebehandlung durch.

**[0031]** Wie in **Fig. 6** gezeigt ist, führt die Steuereinstellung **130** dabei eine Steuerung durch, die einen Peak **LCP1** eines Strahlprofils einer Leistungsdichte des Innenlichtstrahls **LC** gegenüber einem Peak **LSP1** eines Strahlprofils einer Leistungsdichte des Außenlichtstrahls **LS** erhöht. Die Laserleistung des Innenlichtstrahls **LC** wird so gesteuert, dass die Temperatur erreicht wird, bei der das harte Pulvermaterial **P1** und das bindende Pulvermaterial **P2** geschmolzen werden und das Schmelzbad **MP** ausgebildet werden kann. Die Laserleistung des Außenlichtstrahls **LS**, das heißt des ersten Lichtstrahls **Be1** und des zweiten Lichtstrahls **Be2**, wird so gesteuert, dass eine vorbestimmte Temperatur erreicht wird, bei der das harte Pulvermaterial **P1** und das bindende Pulvermaterial **P2** nicht geschmolzen werden.

Wärmerückhaltebehandlung durch den Außenlichtstrahl **LS** (zweiten Lichtstrahl **Be2**)

**[0032]** Es wird nun ausführlicher die Wärmerückhaltebehandlung des geformten Objekts **FF** beschrieben, die durch den zweiten Lichtstrahl **Be2** erfolgt. Cobalt (Co), das das bindende Pulvermaterial **P2** ist, agiert als ein Binder zum Binden des Wolframcarbids (WC), das das harte Pulvermaterial **P1** ist. Das heißt, dass Cobalt (Co) die Partikel aus Wolframcarbid (WC) als Binder bindet, wenn sich das Schmelzbad **MP** bei der additiven Fertigung vom geschmolzenen Zustand zu einem festen Zustand umwandelt. Um in dem geformten Objekt **FF** Risse zu verhindern, wenn das Cobalt (Co) dazu gebracht wird, als Binder zu agieren, ist es notwendig, den Temperaturabfall pro Zeiteinheit, das heißt eine Abkühlgeschwindigkeit, wenn das Cobalt (Co) von einem Gefrierpunkt aus (mit anderen Worten von etwa 1500°C aus, was der Schmelzpunkt ist) abkühlt, entsprechend zu steuern und die Wärmerückhaltebehandlung durchzuführen.

Abkühlgeschwindigkeit

**[0033]** Die Erfinder haben wiederholt verschiedene Vorversuche durchgeführt und sie haben infolgedessen eine Abkühlgeschwindigkeit (°C/s) ermittelt, bei der nach der Wärmerückhaltebehandlung die Risse in dem geformten Objekt **FF** verhindert werden, wenn das Cobalt (Co) des bindenden Pulvermaterials (**P2**) entsprechend dazu gebracht wird, als Binder zu agieren. Dies wird genauer unten beschrieben.

**[0034]** Wenn das geformte Objekt **FF**, das einen Hartstoff wie Wolframcarbid (WC) enthält, nach der additiven Fertigung rasch abgekühlt wird, ist, wie oben beschrieben wurde, die Zähigkeit gering. Deswegen treten wahrscheinlich Risse auf. Wenn das geformte Objekt **FF** durch das Laserauftragsschweißen additiv am Träger **B** gefertigt wird, ist es daher effektiv, die Wärmerückhaltebehandlung durchzuführen, um eine rasche Abkühlung des geformten Objekts **FF** zu verhindern. Die Erfinder haben dabei Vorversuche durchgeführt, um die Wirkung des raschen Abkühlens auf das Auftreten von Rissen in dem geformten Objekt **FF** zu verifizieren. Im Einzelnen haben die Erfinder das harte Pulvermaterial **P1** und das bindende Pulvermaterial **P2**, das Cobalt (Co) umfasst, auf verschiedene Temperaturen vorgewärmt (erhitzt), um so verschiedene Grade an rascher Abkühlung von einer Temperatur von 1500°C oder höher, bei der Cobalt (Co) schmilzt, zu bewirken, und sie haben das Vorhandensein oder die Abwesenheit von Rissen in dem geformten Objekt **FF** festgestellt. Wie in **Fig. 7** gezeigt ist, ist infolgedessen festgestellt worden, dass in dem geformten Objekt **FF** Risse auftreten, wenn der Grad der raschen Abkühlung vom Gefrierpunkt aus hoch ist. Als eine Vorwärmtemperatur (Heiztemperatur) größer oder gleich 600°C war, das heißt in einem Fall, in dem der Grad der raschen Abkühlung vom Gefrierpunkt aus gering war, ist festgestellt worden, dass am geformten Objekt **FF** keine Risse auftraten.

**[0035]** Wie in **Fig. 8** gezeigt ist, die ein Schaubild zeitlicher Änderungen der Temperatur des geformten Objekts **FF** ist, nimmt die Temperatur des geformten Objekts **FF** in einem Fall, in dem kein Vorwärmen eines Cobalt (Co) enthaltenden Materials erfolgt (durch die Strichlinie in **Fig. 8** angegeben), rasch ab, nachdem es über einen Gefrierpunkt, das heißt einen Schmelzpunkt des Cobalts (Co), hinaus erhitzt wurde. In einem Fall, in dem kein Vorwärmen erfolgt, ist nämlich nach der Erstarrung die im Voraus aufgebrachte Wärmeenergie verhältnismäßig gering. Wie durch die dicke Zweipunkt-Strichlinien in **Fig. 8** angegeben ist, nimmt daher die Abkühlgeschwindigkeit (°C/s) am Gefrierpunkt des Cobalts (Co), das heißt die Steigung einer Tangente am Gefrierpunkt des Cobalts (Co), zu.

**[0036]** In einem Fall, in dem das Cobalt (Co) enthaltende Material vorgewärmt wird und die Vor-

wärmtemperatur (Heiztemperatur) größer oder gleich 600°C ist (durch die durchgezogene Linie in **Fig. 8** angegeben), nimmt andererseits die Temperatur des geformten Objekts **FF** allmählich ab, nachdem es über den Gefrierpunkt, das heißt den Schmelzpunkt des Cobalts (Co), hinaus erhitzt wurde. In einem Fall, in dem das Vorwärmen erfolgt, ist nämlich nach der Erstarrung die im Voraus aufgebrachte Wärmeenergie verhältnismäßig groß. Wie durch die dicke Zweipunkt-Strichlinie in **Fig. 8** angegeben ist, ist daher die Abkühlgeschwindigkeit (°C/s) am Gefrierpunkt des Cobalts (Co) kleiner als die Abkühlgeschwindigkeit in dem Fall, in dem kein Vorwärmen erfolgt.

**[0037]** Anhand dessen haben die Erfinder festgestellt, dass die Risse in dem geformten Objekt **FF** verhindert werden können, wenn die Abkühlgeschwindigkeit (°C/s) am Gefrierpunkt des Cobalts (Co) des bindenden Pulvermaterials **P2** entsprechend eingestellt wird. Die Erfinder haben dann verschiedene Versuche durchgeführt, um die optimale Abkühlgeschwindigkeit (°C/s) am Gefrierpunkt (etwa 1500°C, genauer gesagt 1495°C) des Cobalts (Co) zu bestimmen. Infolgedessen ist festgestellt worden, dass in einem Fall, in dem das Wärmerückhalten so erfolgt, dass die Abkühlgeschwindigkeit (°C/s) am Gefrierpunkt des Cobalts (Co) 540°C/s oder weniger beträgt, die rasche Abkühlung des geformten Objekts **FF** verhindert werden kann und im geformten Objekt **FF** keine Risse auftreten.

**[0038]** Auf der Grundlage dessen stellt die Steuereinrichtung **130** das Strahlprofil der Leistungsdichte des Außenlichtstrahls **LS** so ein, dass die Abkühlgeschwindigkeit 540°C/s oder weniger beträgt, und sie steuert den Betrieb des Außenlichtstrahl-Abstrahlrichtung **122**. Dementsprechend wird in dem Außenlichtabstrahlbereich **SS**, in dem der Außenlichtstrahl **LS** abgestrahlt wird, eine Abkühlgeschwindigkeit von 540°C/s erreicht, was in anderen Worten bedeutet, dass die Wärmerückhaltung in einem Zustand erfolgt, der bei oder höher als 600°C liegt, und dass die rasche Abkühlung verhindert wird. Dadurch können in dem geformten Objekt **FF** Risse verhindert werden.

Größe des Außenlichtabstrahlbereichs SS

**[0039]** Wie oben beschrieben wurde, stellt die Steuereinrichtung **130** das Strahlprofil der Leistungsdichte des Außenlichtstrahls **LS** ein, was mit anderen Worten bedeutet, dass sie die Abkühlgeschwindigkeit am Gefrierpunkt des Cobalts (Co) innerhalb des Außenlichtabstrahlbereichs **SS** auf 540°C/s oder weniger einstellt. Wenn die Zeit, während der das Schmelzbad **MP**, das durch das Abkühlen erstarrt ist, in dem Außenlichtabstrahlbereich **SS** enthalten ist, verringert wird, kann infolgedessen das Schmelzbad **MP** (das heißt das geformte Objekt **FF**) auch in dem Fall, in dem die Abkühlgeschwindigkeit auf die obige Weise eingestellt wird, rasch abgekühlt werden.

**[0040]** Die Erfinder haben daher die Abkühlgeschwindigkeit auf 540°C/s oder weniger eingestellt und angenommen, dass eine Bewegungsgeschwindigkeit eines Lichtstrahls in der Bewegungsrichtung **SD** angemessen ist. Für diesen Fall ist die Größe eines optimalen Außenlichtabstrahlbereichs **SS** bestimmt worden. Wie in **Fig. 9** gezeigt ist, ist in diesem Ausführungsbeispiel der Außenlichtabstrahlbereich **SS**, in dem der Außenlichtstrahl **LS** abgestrahlt wird, bezüglich des kreisförmigen Innenlichtabstrahlbereichs **CS**, in dem der kreisförmige Innenlichtstrahl **LC** abgestrahlt wird, konzentrisch angeordnet. Wie in **Fig. 9** gezeigt ist, ist dabei ein Durchmesser, der der Länge des Innenlichtstrahls **LC** in der Bewegungsrichtung **SD** innerhalb des Innenlichtabstrahlbereichs **CS** entspricht, der durch den Innenlichtstrahl **LC** ausgebildet wird, als ein Durchmesser  $\phi 1$  definiert, während ein Durchmesser, der der Länge des Außenlichtstrahls **LS** in der Bewegungsrichtung **SD** in dem Außenlichtabstrahlbereich **SS**, der durch den Außenlichtstrahl **LS** ausgebildet wird, als ein Durchmesser  $\phi 2$  definiert ist. Der Durchmesser des Innenlichtabstrahlbereichs **CS** und des Außenlichtabstrahlbereichs **SS** wird jeweils auch als „Strahlpunktdurchmesser“ bezeichnet.

**[0041]** In einem Fall, in dem die Bewegung mit dem Innenlichtstrahl **LC** und dem Außenlichtstrahl **LS** in der Bewegungsrichtung **SD** einheitlich erfolgt und die Bewegungsgeschwindigkeit hoch ist, bewegt sich das Schmelzbad, das dem Innenlichtabstrahlbereich **CS** entspricht, bezüglich einer Außenseite des Außenlichtabstrahlbereichs **SS** rasch in Richtung der Seite entgegengesetzt zur Bewegungsrichtung **SD** in **Fig. 9**. Die Zeit, während der das Schmelzbad **MP** innerhalb des Außenlichtabstrahlbereichs **SS** vorkommt, wird daher in diesem Fall verringert, sodass die Wärmerückhaltezeit verringert wird. In einem Fall, in dem die Bewegungsgeschwindigkeit gering ist, bewegt sich das Schmelzbad **MP** andererseits relativ in Richtung der Seite entgegengesetzt zur Bewegungsrichtung **SD**, doch erhöht sich die Wärmerückhaltezeit, da die Zeit innerhalb des Außenlichtabstrahlbereichs **SS** zunimmt.

**[0042]** Die Erfinder haben dabei zum Beispiel einen Fall angenommen, bei dem die Bewegungsgeschwindigkeit auf eine Geschwindigkeit eingestellt ist, die bei normaler additiver Fertigung eingestellt wird, und sie haben ein Verhältnis  $\alpha$  des Durchmessers  $\phi 2$  des Außenlichtabstrahlbereichs **SS** zum Durchmesser  $\phi 1$  des Innenlichtabstrahlbereichs **CS** verschieden eingestellt. Die Erfinder haben dann für den Fall, dass das Verhältnis  $\alpha$  verschieden eingestellt wird, experimentell das Verhältnis  $\alpha$  bestimmt, das die Abkühlgeschwindigkeit von 540°C/s oder weniger in dem Schmelzbad **MP** erfüllt. Wie durch die dicke Strichlinie in **Fig. 10** angegeben ist, ergab sich, dass in dem Fall „W“, in dem der Grad des Verhältnisses  $\alpha$  1,2 beträgt (der Durchmesser  $\phi 2$  das 1,2-

fache des Durchmessers  $\varphi_1$  beträgt), die Abkühlgeschwindigkeit von 540°C/s oder weniger auch dann nicht erfüllt werden kann, wenn die Leistungsdichte des Außenlichtstrahls **LS** geändert wird.

**[0043]** Die Leistungsdichte „A“ in **Fig. 10** ist eine Leistungsdichte, bei der das harte Pulvermaterial **P1** und das bindende Pulvermaterial **P2** geschmolzen werden können, wenn sie auf eine Temperatur erhitzt werden, die größer oder gleich dem Schmelzpunkt ist. Das heißt, dass eine Leistungsdichte von weniger als „A“ eine Leistungsdichte ist, bei der das harte Pulvermaterial **P1** und das bindende Pulvermaterial **P2**, indem sie nur auf eine Temperatur erhitzt werden, die niedriger als der Schmelzpunkt ist, nicht geschmolzen werden.

**[0044]** Wie andererseits durch die durchgezogene Linie in **Fig. 10** angegeben ist, wird der Durchmesser  $\varphi_2$  des Außenlichtabstrahlbereichs **SS** zum Beispiel in einem Fall „X“, in dem der Wert des Verhältnisses  $\alpha$  1,5 beträgt (der Durchmesser  $\varphi_2$  das 1,5-fache des Durchmessers  $\varphi_1$  beträgt), verglichen mit dem Fall „W“ vergrößert. Dementsprechend ist in dem Fall „X“ eine Abkühlgeschwindigkeit von 540°C/s oder weniger erfüllt. Allerdings ist es in dem Fall „X“ notwendig, die Leistungsdichte des Außenlichtstrahls **LS** zu erhöhen, damit er sich „A“ nähert. Dementsprechend kann in einem Zustand, in dem am Gefrierpunkt des Cobalts (Co) die Abkühlgeschwindigkeit von 540°C/s oder weniger erfüllt ist, das Schmelzbad **MP**, das heißt das geformte Objekt **FF**, der Wärmerückhaltebehandlung unterzogen werden. Daher können in dem geformten Objekt **FF** Risse verhindert werden.

**[0045]** Wie durch die Einpunkt-Strichlinie in **Fig. 10** angegeben ist, wird der Durchmesser  $\varphi_2$  des Außenlichtabstrahlbereichs **SS** in einem Fall „Y“, in dem der Wert des Verhältnisses  $\alpha$  2,0 beträgt (der Durchmesser  $\varphi_2$  das 2-fache des Durchmessers  $\varphi_1$  beträgt), verglichen mit dem Fall „X“ weiter vergrößert. Daher wird in dem Fall „Y“ die Zeit, während der das Schmelzbad **MP** (das geformte Objekt **FF**) in dem Außenlichtabstrahlbereich **SS** vorkommt, relativ erhöht. Daher kann das Schmelzbad **MP** (das geformte Objekt **FF**) in dem Fall „Y“ auch dann, wenn die Leistungsdichte des Außenlichtstrahls **LS** verhältnismäßig gering ist, in einem Zustand, in dem die Abkühlgeschwindigkeit von 540°C/s oder weniger erfüllt ist, der Wärmerückhaltebehandlung unterzogen werden. Das heißt, es können in dem geformten Objekt **FF** Risse verhindert werden.

**[0046]** Wie außerdem durch die Zweipunkt-Strichlinie in **Fig. 10** angegeben ist, wird der Durchmesser  $\varphi_2$  des Außenlichtabstrahlbereichs **SS** zum Beispiel in einem Fall „Z“, in dem der Wert des Verhältnisses  $\alpha$  3,0 beträgt (der Durchmesser  $\varphi_2$  das 3-fache des Durchmessers  $\varphi_1$  beträgt), verglichen mit dem Fall „Y“ noch weiter vergrößert. Daher wird in dem Fall „Z“

die Zeit, während der das Schmelzbad **MP** (das geformte Objekt **FF**) in dem Außenlichtabstrahlbereich **SS** vorkommt, noch weiter erhöht. Daher kann das Schmelzbad **MP** (das geformte Objekt **FF**) in dem Fall „Z“ auch dann, wenn die Leistungsdichte des Außenlichtstrahls **LS** verhältnismäßig gering ist, in einem Zustand, in dem die Abkühlgeschwindigkeit von 540°C/s oder weniger erfüllt ist, der Wärmerückhaltebehandlung unterzogen werden. Das heißt, dass in dem geformten Objekt **FF** Risse verhindert werden können.

**[0047]** Basierend auf diesen Erkenntnissen beträgt die Abkühlgeschwindigkeit am Gefrierpunkt des im Schmelzbad **MP** enthaltenen Cobalts (Co) in diesem Ausführungsbeispiel bei der Wärmerückhaltebehandlung des Schmelzbads **MP** (des geformten Objekts **FF**) 540°C/s oder weniger. Die Größe des Außenlichtabstrahlbereichs **SS** wird in diesem Ausführungsbeispiel derart eingestellt, dass der Durchmesser  $\varphi_2$  des Außenlichtabstrahlbereichs **SS** bei der Wärmerückhaltebehandlung des Schmelzbads **MP** (des geformten Objekts **FF**) mindestens das 1,5-fache des Durchmessers  $\varphi_1$  des Innenlichtabstrahlbereichs **CS** beträgt. Die Steuereinrichtung **130** stellt das Strahlprofil der Leistungsdichte des Außenlichtstrahls **LS** ein und führt die Wärmerückhaltebehandlung des Schmelzbads **MP** (des geformten Objekts **FF**) so durch, dass diese Bedingungen erfüllt sind.

#### Wirkungen dieses Ausführungsbeispiels

**[0048]** Gemäß dem oben beschriebenen Ausführungsbeispiel kann die Steuereinrichtung **130** das Strahlprofil der Leistungsdichte des Außenlichtstrahls **LS** so steuern, dass die Abkühlgeschwindigkeit (°C/s) des Schmelzbads **MP** am Gefrierpunkt des im Schmelzbad **MP** enthaltenen Cobalts (Co) 540°C/s oder weniger beträgt, wenn das Schmelzbad **MP**, das ausgebildet wird, indem durch das Abstrahlen des Innenlichtstrahls **LC** das harte Pulvermaterial **P1** und das bindende Pulvermaterial **P2** geschmolzen werden, mit dem Außenlichtstrahl **LS** bestrahlt wird.

**[0049]** Auf diese Weise wird das Strahlprofil des Außenlichtstrahls **LS** eingestellt und die Außenlichtstrahl-Abstrahleinrichtung **122** wird so gesteuert, dass sie die Wärmerückhaltebehandlung so durchführt, dass die Abkühlgeschwindigkeit des Schmelzbads **MP** (des geformten Objekts **FF**) 540°C/s oder weniger beträgt. Somit können eine rasche Abkühlung und Erstarrung des geformten Objekts **FF** verhindert werden. Daher kann mit einer einfachen Konfiguration das Auftreten von Rissen in dem geformten Objekt **FF** verhindert werden und es kann additiv ein geformtes Objekt **FF** hoher Qualität angefertigt werden.



## Erstes alternatives Ausführungsbeispiel

[0050] In einem Fall, in dem das geformte Objekt **FF** additiv wiederholt in Schichten angefertigt wird, kann zum Beispiel aufgrund des wiederholten Abstrahlens des Innenlichtstrahls **LC** und des Außenlichtstrahls **LS** die Temperatur des Trägers **B** oder des geformten Objekts **FF** steigen. Da die Wärme des Schmelzbads **MP** (des geformten Objekts **FF**), wie oben beschrieben wurde, entsprechend rückgehalten wird, können in dem geformten Objekt **FF** Risse verhindert werden. In dem ersten alternativen Ausführungsbeispiel wird daher zum Beispiel zumindest der Peak **LSP1** des Strahlprofils der Leistungsdichte des Außenlichtstrahls **LS** in Übereinstimmung mit einer durch die Steuereinrichtung **130** erfassten Temperatur beruhend auf der Temperatur des Trägers **B** oder des geformten Objekts **FF**, die von einem Strahlungsthermometer oder dergleichen erfasst wird, gesenkt.

[0051] Und zwar wird der Peak **LSP1** der Leistungsdichte des Außenlichtstrahls **LS** im ersten alternativen Ausführungsbeispiel in einem Fall, in dem der Träger **B** oder das geformte Objekt **FF** infolge der Wiederholung der additiven Fertigung vorgewärmt (erhitzt) wird, wie in **Fig. 11** gezeigt gesenkt. Auch in diesem Fall ist in dem Schmelzbad **MP** ähnlich wie in dem oben beschriebenen Ausführungsbeispiel am Gefrierpunkt des Cobalts (Co) die Abkühlgeschwindigkeit von 540°C/s oder weniger erfüllt und es können in dem geformten Objekt **FF** Risse verhindert werden. In diesem Fall kann die für die additive Fertigung benötigte Energie reduziert werden und es können somit die für die additive Fertigung erforderlichen Fertigungskosten reduziert werden.

## Zweites alternatives Ausführungsbeispiel

[0052] In dem oben beschriebenen Ausführungsbeispiel hat der Außenlichtabstrahlbereich **SS** eine Kreisform und der Außenlichtabstrahlbereich **SS** ist mit dem Innenlichtabstrahlbereich **CS** konzentrisch. Wie in **Fig. 12** gezeigt ist, ist die Form des Außenlichtabstrahlbereichs **SS** in dem zweiten alternativen Ausführungsbeispiel zum Beispiel alternativ eine elliptische Form mit der Hauptachse in einer Richtung entlang der Bewegungsrichtung **SD**, wenn ein (nicht gezeigtes) optisches System, das die Außenlichtstrahl-Abstrahleinrichtung **122** bildet, entsprechend eingestellt ist. Des Weiteren ist der Außenlichtabstrahlbereich **SS** im zweiten alternativen Ausführungsbeispiel bezüglich des Innenlichtabstrahlbereichs **CS** derart angeordnet, dass der Innenlichtabstrahlbereich **CS** im Außenlichtabstrahlbereich **SS** enthalten ist und eine Rückseite in der Bewegungsrichtung **SD** bezüglich des Innenlichtabstrahlbereich **CS**, das heißt die Seite zum Rückhalten von Wärme des Schmelzbads **MP** (des geformten Objekts **FF**), größer als die Seite zum Vorwärmen des Trägers **B** ist.

[0053] Dementsprechend kann sichergestellt werden, dass die Zeit zum Rückhalten der Wärme des Schmelzbads **MP** (des geformten Objekts **FF**) länger als im oben beschriebenen Ausführungsbeispiel ist. Daher kann der Peak **LSP1** der Leistungsdichte des für die Wärmerückhaltebehandlung benötigten Außenlichtstrahls **LS** reduziert werden und bei der additiven Fertigung können zum Beispiel eine Energieeinsparung und eine Fertigungskostenreduzierung erreicht werden und es kann die Wärme des Schmelzbads **MP** (des geformten Objekts **FF**) zuverlässig rückgehalten werden. In dem zweiten alternativen Ausführungsbeispiel ist die Form des Außenlichtabstrahlbereichs **SS** eine elliptische Form mit der Hauptachse in der Richtung entlang der Bewegungsrichtung **SD**. Wie durch die lange Strichlinie in **Fig. 12** angegeben ist, kann die Form des Außenlichtabstrahlbereichs **SS** alternativ auch eine rechteckige Form mit der langen Seite in der Richtung entlang der Bewegungsrichtung **SD** sein. Auch in diesem Fall kann die gleiche Wirkung wie im oben beschriebenen zweiten alternativen Ausführungsbeispiel erzielt werden.

## Drittes alternatives Ausführungsbeispiel

[0054] In dem oben beschriebenen Ausführungsbeispiel sind die Peaks **LSP1** für die Strahlprofile der Leistungsdichten des ersten Lichtstrahls **Bei** und des zweiten Lichtstrahls **Be2** die gleichen. Im Fall einer präzisen additiven Fertigung des geformten Objekts **FF** ist es zum Beispiel sehr wahrscheinlich, dass das oben beschriebene Verhältnis  $\alpha$  auf „1,5“ eingestellt wird. Wie in **Fig. 10** gezeigt ist, nimmt im oben beschriebenen Ausführungsbeispiel in diesem Fall auch die Leistungsdichte des ersten Lichtstrahls **Bei** zu. Die Wärmerückhaltezeit wird zum Beispiel wie im oben beschriebenen zweiten alternativen Ausführungsbeispiel in einem Fall länger, wenn der Außenlichtabstrahlbereich **SS**, der eine Rückseite in der Bewegungsrichtung **SD** bezüglich des Innenlichtabstrahlbereichs **CS** ist, erhöht wird. Es ist daher vorzuziehen, dass die Leistungsdichte des zweiten Lichtstrahls **Be2** weiter reduziert wird. In diesem Fall ist es noch mehr vorzuziehen, dass die optischen Systeme der Lichtstrahl-Abstrahleinrichtung **120** oder die Strahlprofile der Leistungsdichte des ersten Lichtstrahls **Bei** und des zweiten Lichtstrahls **Be2** unabhängig geändert werden können.

[0055] Wie in den **Fig. 13** und **Fig. 14** gezeigt ist, können daher der Peak **LSP1** des Strahlprofils der Leistungsdichte des ersten Lichtstrahls **Bei** und der Peak **LSP2** des Strahlprofils der Leistungsdichte des zweiten Lichtstrahls **Be2** entsprechend einem Status der additiven Fertigung verschieden eingestellt werden. Dementsprechend kann die für die additive Fertigung benötigte Energie effizient genutzt werden und infolgedessen können Verbesserungen bei der Pro-

duktivität der additiven Fertigung, der Energieeinsparung und der Kostenreduktion erreicht werden.

#### Sonstiges

**[0056]** In dem oben beschriebenen Ausführungsbeispiel ist die Lichtstrahl-Abstrahleinrichtung **120** koaxial mit der Innenlichtstrahl-Abstrahleinrichtung **121** und der Außenlichtstrahl-Abstrahleinrichtung **122** eingerichtet. In dem oben beschriebenen Ausführungsbeispiel strahlt die Außenlichtstrahl-Abstrahleinrichtung **122** als den Außenlichtstrahl **LS** einen ringförmigen Lichtstrahl ab, um auf einem Außenumfang des durch den Innenlichtstrahl **LC** ausgebildeten Innenlichtabstrahlbereichs **CS** den Außenlichtabstrahlbereich **SS** auszubilden.

**[0057]** Anstatt dass die Lichtstrahl-Abstrahleinrichtung **120** die Außenlichtstrahl-Abstrahleinrichtung **122** koaxial zur Innenlichtstrahl-Abstrahleinrichtung **121** enthält und der Außenlichtstrahl in einer Ringform abgestrahlt wird, kann die Lichtstrahl-Abstrahleinrichtung **120** so konfiguriert werden, wie in **Fig. 15** gezeigt ist. Und zwar kann die Lichtstrahl-Abstrahleinrichtung **120** als Außenlichtstrahl-Abstrahleinrichtung eine Rücklichtstrahl-Abstrahleinrichtung **123** und eine Vorderlichtstrahl-Abstrahleinrichtung **124** umfassen. Die Vorderlichtstrahl-Abstrahleinrichtung **124** kann gegebenenfalls weggelassen werden.

**[0058]** Die Rücklichtstrahl-Abstrahleinrichtung **123** umfasst hauptsächlich eine Rücklichtstrahl-Abstrahleinheit **123a** und eine Rücklichtstrahl-Lichtquelle **123b** und sie strahlt einen Rücklichtstrahl **BLS** ab, der auf einer Rückseite des Innenlichtstrahls **LC** in der Bewegungsrichtung **SD** einen Rücklichtabstrahlbereich mit einer kreisförmigen Abstrahlform ausbildet. Die Vorderlichtstrahl-Abstrahleinrichtung **124** umfasst hauptsächlich eine Vorderlichtstrahl-Abstrahleinheit **124a** und eine Vorderlichtstrahl-Lichtquelle **124b** und strahlt auf einer Vorderseite des Innenlichtstrahls **LC** in der Bewegungsrichtung **SD** einen Vorderlichtstrahl **FLS** ab, der einen Vorderlichtabstrahlbereich **FSS** mit einer kreisförmigen Abstrahlform ausbildet. Dementsprechend erfolgt in dem Vorderlichtabstrahlbereich **FSS** des Vorderlichtstrahls **FLS** als eine Vorbehandlung einer Ausbildungsbehandlung des Schmelzbads **MP** eine Vorwärmbehandlung und in dem Rücklichtabstrahlbereich **BSS** des Rücklichtstrahls **BLS** als eine Nachbehandlung einer Additivbehandlung des Schmelzbads **MP** (des geformten Objekts **FF**) eine Wärmerückhaltebehandlung.

**[0059]** In dem Fall, dass die Lichtstrahl-Abstrahleinrichtung **120** so konfiguriert ist, wie in **Fig. 15** gezeigt ist, steuert die Steuereinrichtung **130** dabei zumindest die Bewegung der Rücklichtstrahl-Abstrahleinrichtung **123** so, dass der durch die Rücklichtstrahl-Abstrahleinrichtung **123** ausgebildete Rück-

lichtabstrahlbereich **BSS** einem Bewegungsweg des Innenlichtabstrahlbereichs **CS** folgt, der durch die Innenlichtstrahl-Abstrahleinrichtung **121** ausgebildet wird. Dementsprechend kommt das durch die Innenlichtstrahl-Abstrahleinrichtung **121** ausgebildete Schmelzbad **MP** (das geformte Objekt **FF**) in dem von der Rücklichtstrahl-Abstrahleinrichtung **123** ausgebildeten Rücklichtabstrahlbereich **BSS** vor. Daher kann die Rücklichtstrahl-Abstrahleinrichtung **123** auf die gleiche Weise wie in dem oben beschriebenen Ausführungsbeispiel die Wärmerückhaltebehandlung des Schmelzbads **MP** (des geformten Objekts **FF**) durchführen.

**[0060]** Die Lichtstrahl-Abstrahleinrichtung **120** kann mindestens eine der Rücklichtstrahl-Abstrahleinrichtung **123** und der Vorderlichtstrahl-Abstrahleinrichtung **124** umfassen. In einem Fall, in dem die Lichtstrahl-Abstrahleinrichtung **120** die Vorderlichtstrahl-Abstrahleinrichtung **124** umfasst, kann daher zum Beispiel der Vorderlichtabstrahlbereich **FSS**, wie in **Fig. 16** gezeigt ist, mit dem Innenlichtabstrahlbereich **CS** überlappen gelassen werden. Das heißt, dass mindestens einer von dem Rücklichtabstrahlbereich **BSS** und dem Vorderlichtabstrahlbereich **FSS** mit dem Innenlichtabstrahlbereich **CS** überlappen gelassen werden kann. Auf diese Weise werden zwei Lichtstrahlen miteinander überlappen gelassen, sodass die Wärmerückhaltebehandlung des Schmelzbads **MP** (des geformten Objekts **FF**) auf die gleiche Weise wie in dem oben beschriebenen Ausführungsbeispiel durchgeführt werden kann.

**[0061]** In dem Ausführungsbeispiel wird durch die Additivmaterial-Zufuhreinrichtung **110** in der additiven Fertigungsvorrichtung **100** das aus dem harten Pulvermaterial **P1** und dem bindenden Pulvermaterial **P2** ausgebildete Pulvermaterial ausgestoßen und dem Träger **B** zugeführt. Was die Materialzufuhr zum Träger **B** betrifft, ist das Material jedoch nicht auf das Pulvermaterial beschränkt und es kann zum Beispiel auch durch eine Additivmaterial-Zufuhreinrichtung ein Draht, der aus linearen Materialien besteht, die aus Metall bestehen, oder dergleichen zugeführt werden. In diesem Fall wird das zugeführte lineare Material durch den Innenlichtstrahl **LC** geschmolzen, der von der Lichtabstrahleinrichtung **120** abgestrahlt wird, und die Wärme des linearen Materials wird durch den Außenlichtstrahl **LS** rückgehalten, sodass das geformte Objekt **FF** additiv am Träger **B** gefertigt werden kann. Daher ist die gleiche Wirkung wie im Ausführungsbeispiel zu erwarten.

**[0062]** Im oben beschriebenen Ausführungsbeispiel und dergleichen ist ein Fall beschrieben worden, in dem die additive Fertigungsvorrichtung **100** ein Laserauftragsschweißverfahren einsetzt. Alternativ kann auch in einem Fall, in dem die additive Fertigungseinrichtung **100** ein selektives Laserschmelzverfahren einsetzt, eine Außenlichtstrahl-Abstrahl-

einrichtung eine Wärmerückhaltung durchführen, indem während des Abkühlens eines Schmelzbads (eines geformten Objekts) eine Abkühlgeschwindigkeit am Gefrierpunkt von Cobalt (Co) auf 540°C/s oder weniger eingestellt wird. Allerdings ist in dem Fall, dass das selektive Laserschweißen eingesetzt wird, die Bewegungsgeschwindigkeit des Lichtstrahls im Allgemeinen höher als die Bewegungsgeschwindigkeit des Lichtstrahls beim Laserauftragsschweißen. In dem Fall, dass die additive Fertigungsvorrichtung **100** selektives Laserschmelzen einsetzt, sind daher die Bewegungsgeschwindigkeit des Innenlichtstrahls **LC** und die Bewegungsgeschwindigkeit des Außenlichtstrahls **LS** vorzugsweise geringer als zum Beispiel die während der allgemeinen additiven Fertigung. Wenn die Bewegungsgeschwindigkeit abnimmt, zeigen sich die durch den Außenlichtstrahl **LS** erzeugten Wärmerückhaltewirkungen deutlicher.

### Patentansprüche

1. Additive Fertigungsvorrichtung mit:
  - einer Innenlichtstrahl-Abstrahleinrichtung, die so konfiguriert ist, dass sie einen Innenlichtstrahl abstrahlt, der ein Material bei einer Temperatur erhitzt, die größer oder gleich einem Schmelzpunkt des Materials ist, wobei das Material einen Hartstoff und einen Carbidbinder umfasst;
  - einer Außenlichtstrahl-Abstrahleinrichtung, die so konfiguriert ist, dass sie einen Außenlichtstrahl abstrahlt, der das Material auf einer Außenseite des Innenlichtstrahls bei einer Temperatur erhitzt, die niedriger als der Schmelzpunkt ist; und
  - einer Steuereinrichtung, die so konfiguriert ist, dass sie für jede von der Innenlichtstrahl-Abstrahleinrichtung und der Außenlichtstrahl-Abstrahleinrichtung das Abstrahlen des Innenlichtstrahls und des Außenlichtstrahls und jede Bewegung des Innenlichtstrahls und des Außenlichtstrahls bezüglich eines Trägers steuert, wobei die Steuereinrichtung, wenn mit dem Außenlichtstrahl ein Schmelzbad bestrahlt wird, eine Leistungsdichte des Außenlichtstrahls, die eine Leistung pro Flächeneinheit darstellt, derart steuert, dass eine Abkühlgeschwindigkeit des Schmelzbads, die einen Temperaturabfall pro Zeiteinheit darstellt, an einem Gefrierpunkt des Carbidbinders, der in dem Schmelzbad enthalten ist, 540°C/s oder weniger beträgt, wobei das Schmelzbad durch Bestrahlen des Materials mit dem Innenlichtstrahl ausgebildet wird, um das Material zu schmelzen.
2. Additive Fertigungsvorrichtung nach Anspruch 1, wobei eine Länge eines Außenlichtabstrahlbereichs des Außenlichtstrahls in einer Richtung, in der der Außenlichtstrahl bewegt wird, mindestens das 1, 5-fache einer Länge eines Innenlichtabstrahlbereichs des Innenlichtstrahls in einer Richtung, in der der Innenlichtstrahl bewegt wird, beträgt.
3. Additive Fertigungsvorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, wobei der Außenlichtstrahl in einer Ringform abgestrahlt wird, die mit dem Innenlichtstrahl, der eine Kreisform hat, koaxial ist.
4. Additive Fertigungsvorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, wobei der Außenlichtstrahl in einer viereckigen Form abgestrahlt wird.
5. Additive Fertigungsvorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, wobei der Außenlichtstrahl in einer elliptischen Form mit der Hauptachse entlang der Richtung, in der der Außenlichtstrahl bewegt wird, abgestrahlt wird.
6. Additive Fertigungsvorrichtung nach Anspruch 5, wobei der Außenlichtstrahl, wenn der Innenlichtabstrahlbereich des Innenlichtstrahls in dem Außenlichtabstrahlbereich des Außenlichtstrahls enthalten ist, derart in der elliptischen Form abgestrahlt wird, dass eine Rückseite des Außenlichtabstrahlbereichs in der Richtung, in der der Innenlichtstrahl bewegt wird, länger als eine Vorderseite des Außenlichtabstrahlbereichs ist.
7. Additive Fertigungsvorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, wobei der Außenlichtstrahl in einer rechteckigen Form mit der langen Seite entlang der Richtung, in der der Außenlichtstrahl bewegt wird, abgestrahlt wird.
8. Additive Fertigungsvorrichtung nach Anspruch 7, wobei der Außenlichtstrahl, wenn der Innenlichtabstrahlbereich des Innenlichtstrahls in dem Außenlichtabstrahlbereich des Außenlichtstrahls enthalten ist, derart in der rechteckigen Form abgestrahlt wird, dass eine Rückseite des Außenlichtabstrahlbereichs in der Richtung, in der der Innenlichtstrahl bewegt wird, länger als eine Vorderseite des Außenlichtabstrahlbereichs ist.
9. Additive Fertigungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei die Steuereinrichtung beruhend auf der Temperatur des Materials auf dem Träger zumindest die Leistungsdichte des Außenlichtstrahls ändert.
10. Additive Fertigungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei der Außenlichtstrahl das Material bei einer Temperatur erhitzt, die niedriger als der Schmelzpunkt des Materials und größer oder gleich 600°C ist.
11. Additive Fertigungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, mit außerdem:
  - einer Additivmaterial-Zufuhreinrichtung, die ein Pulvermaterial des Materials ausstößt, um dieses dem Träger zuzuführen, wobei die Additivmaterial-Zufuhreinrichtung mit der Steuereinrichtung gesteuert wird,

wobei die Innenlichtstrahl-Abstrahleinrichtung den Innenlichtstrahl auf das Pulvermaterial abstrahlt, das die Additivmaterial-Zufuhreinrichtung dem Träger zuführt, um das Pulvermaterial zu schmelzen, und wobei die Außenlichtstrahl-Abstrahleinrichtung den Außenlichtstrahl auf das Schmelzbad abstrahlt, das durch Bestrahlen des Pulvermaterials mit dem Innenlichtstrahl ausgebildet wird, um das Pulvermaterial zu schmelzen.

12. Additive Fertigungsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei die Steuereinrichtung die Bewegung des von der Außenlichtstrahl-Abstrahleinrichtung abgestrahlten Außenlichtstrahls so steuert, dass er einem Bewegungsweg des von der Innenlichtstrahl-Abstrahleinrichtung abgestrahlten Innenlichtstrahls folgt.

13. Additive Fertigungsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, wobei die Steuereinrichtung zumindest die Leistungsdichte des Außenlichtstrahls innerhalb einer Rückseite des Außenlichtabstrahlbereichs in der Richtung, in der der Innenlichtstrahl bewegt wird, steuert.

14. Additive Fertigungsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, wobei ein Schmelzpunkt des Hartstoffs höher als ein Schmelzpunkt des Carbidbinders ist.

15. Additive Fertigungsverfahren nach Anspruch 14, wobei der Hartstoff Wolframcarbid ist.

16. Additive Fertigungsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15, wobei der Carbidbinder Cobalt ist.

Es folgen 10 Seiten Zeichnungen



FIG. 2

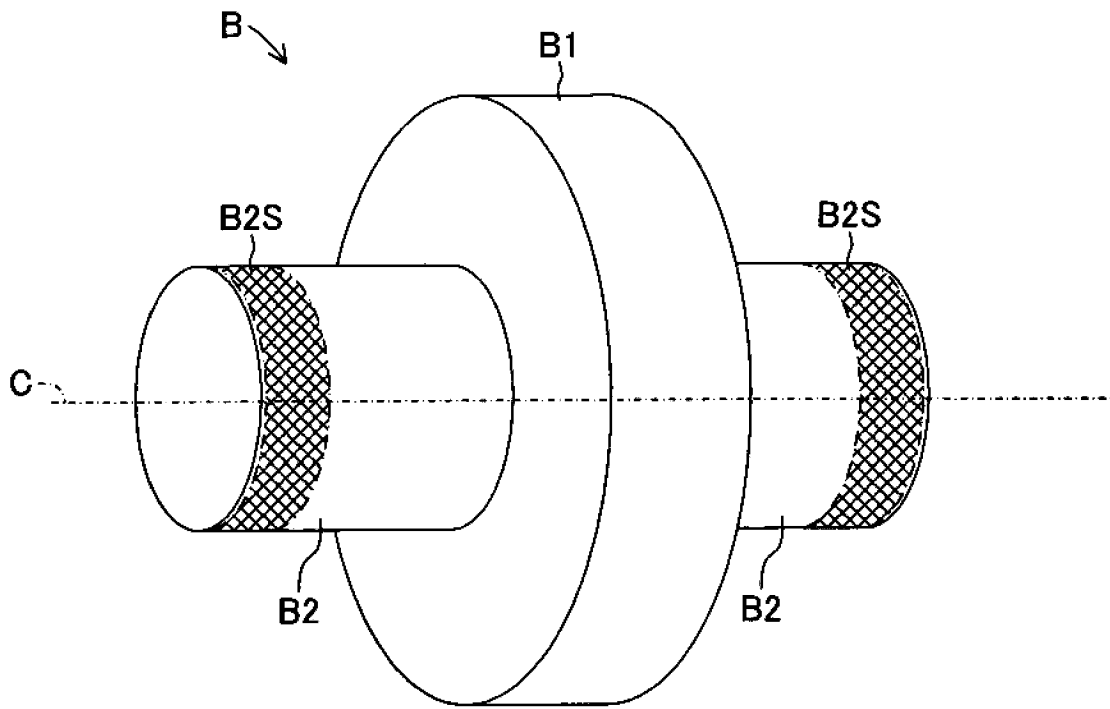


FIG. 3

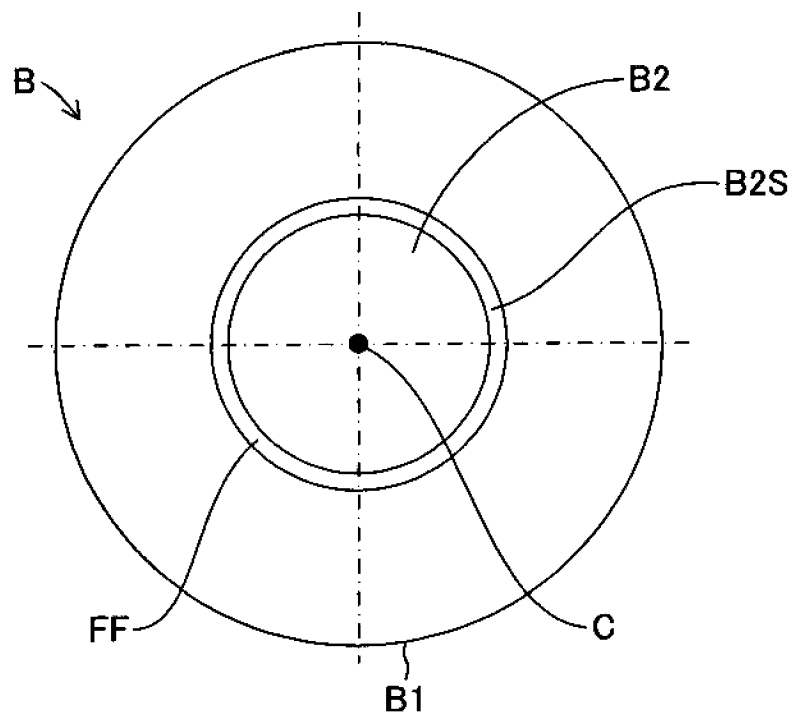


FIG. 4

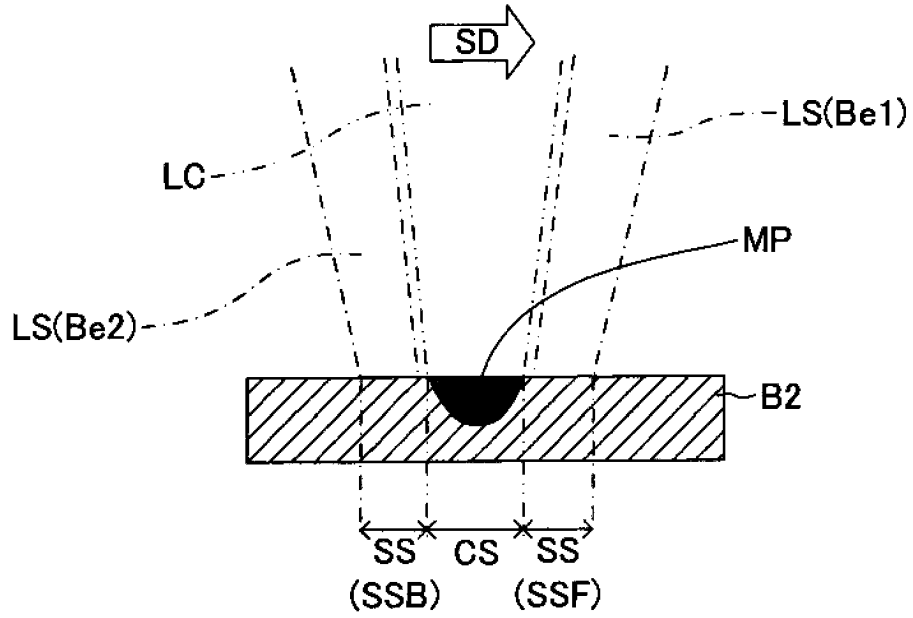
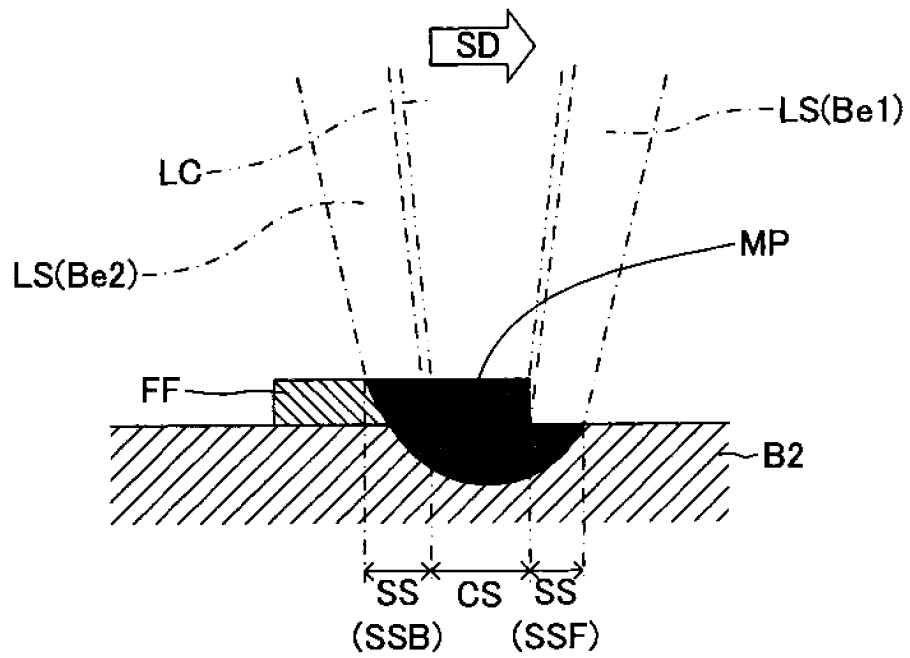
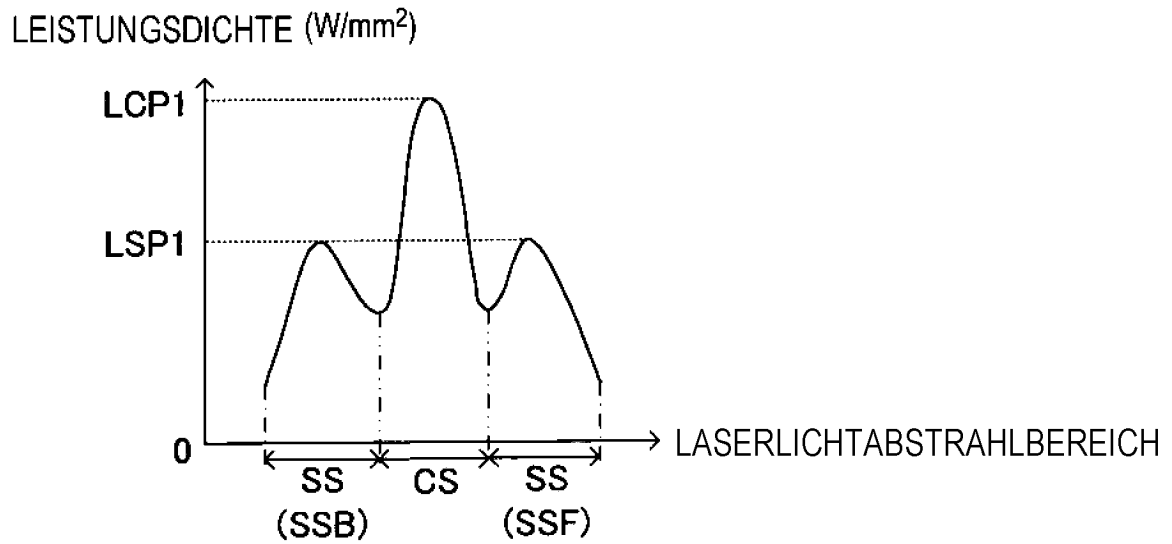


FIG. 5



**FIG. 6**



**FIG. 7**

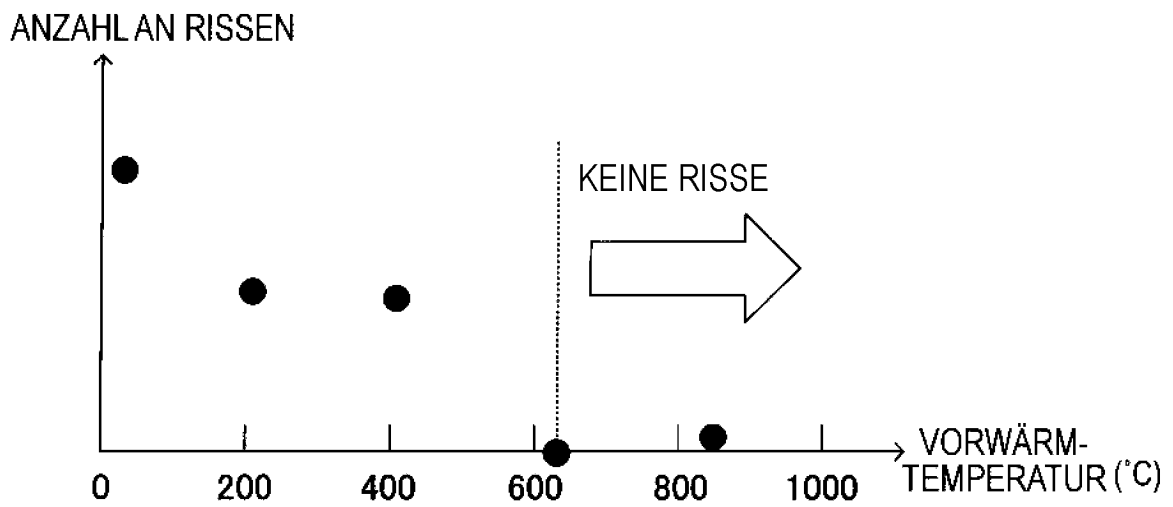




FIG. 8

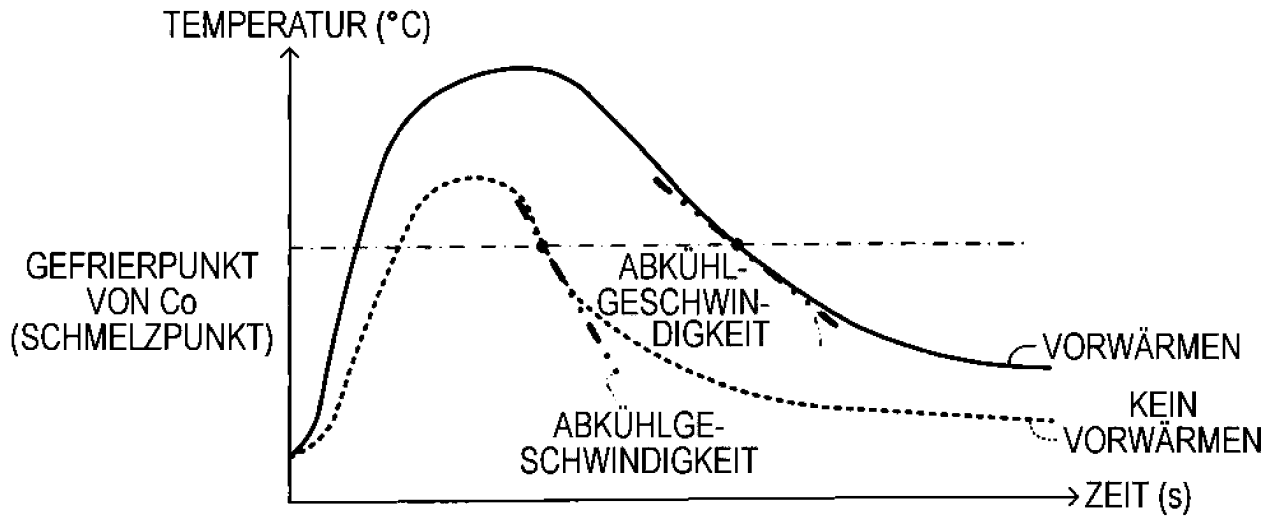


FIG. 9

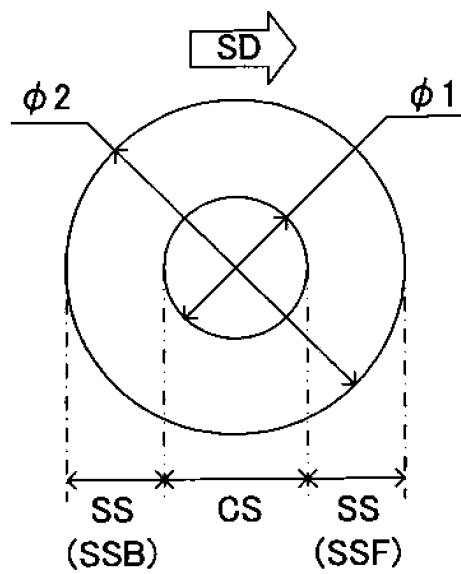


FIG. 10

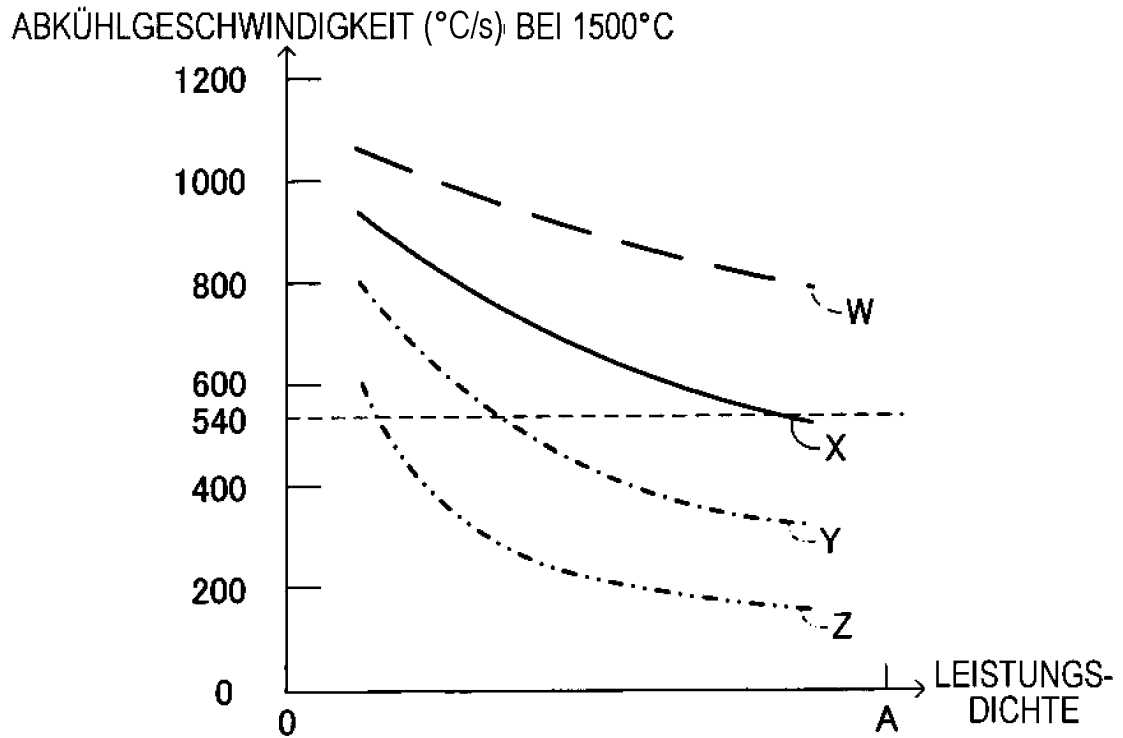


FIG. 11

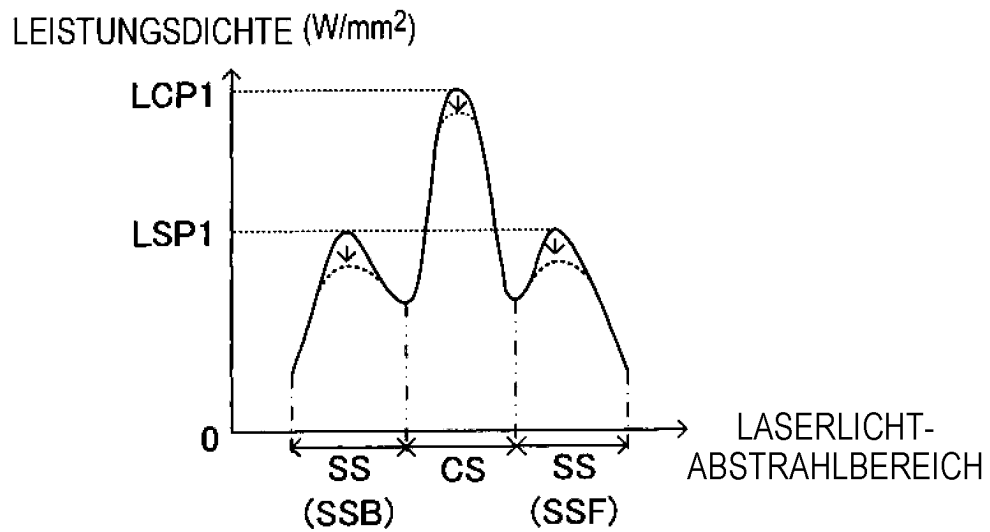


FIG. 12

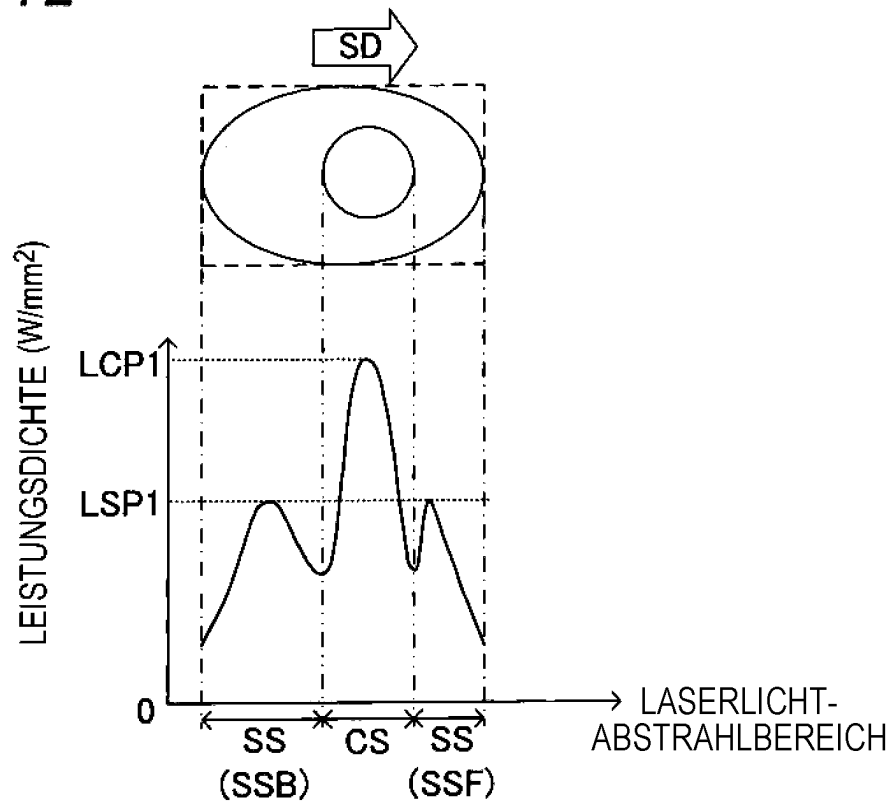


FIG. 13

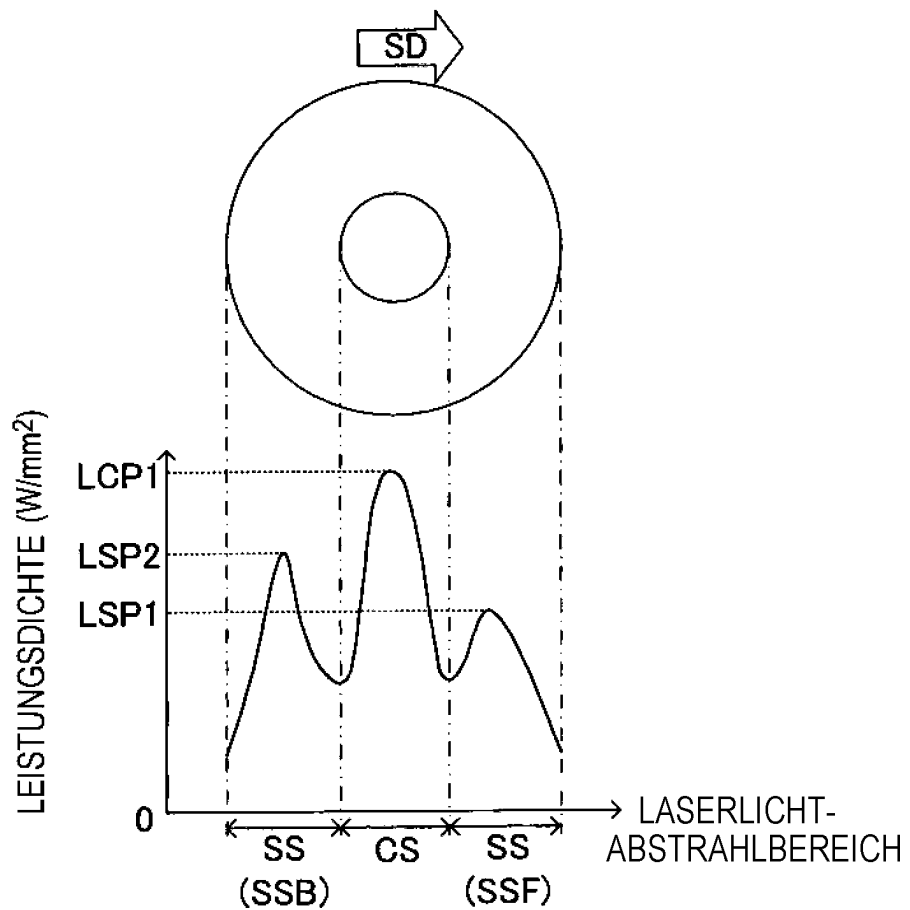


FIG. 14

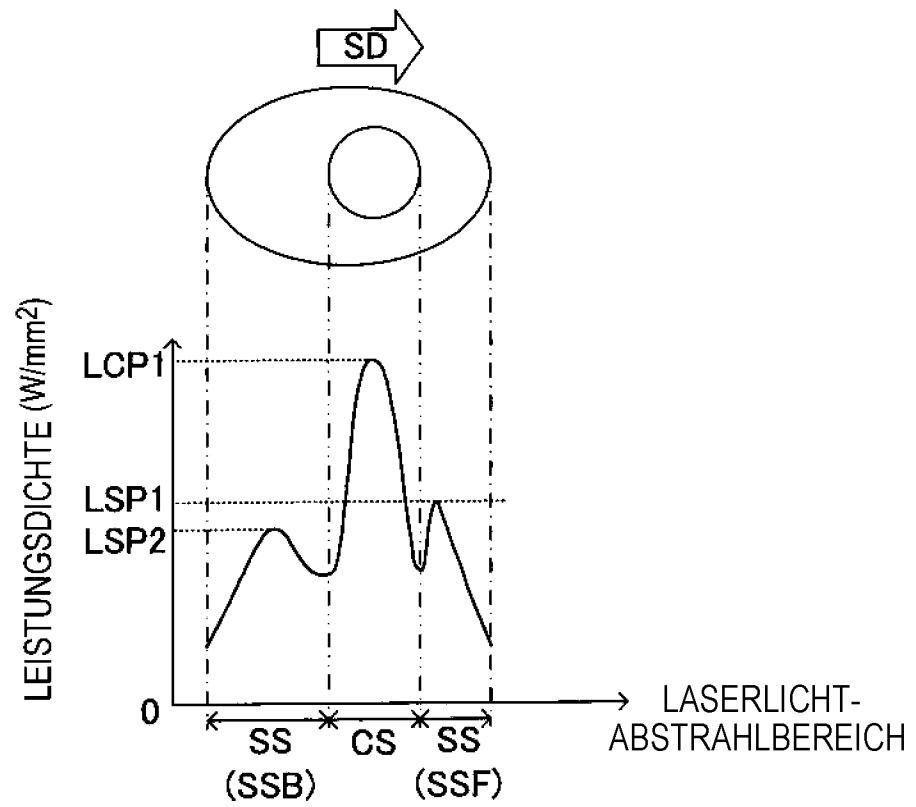


FIG. 15

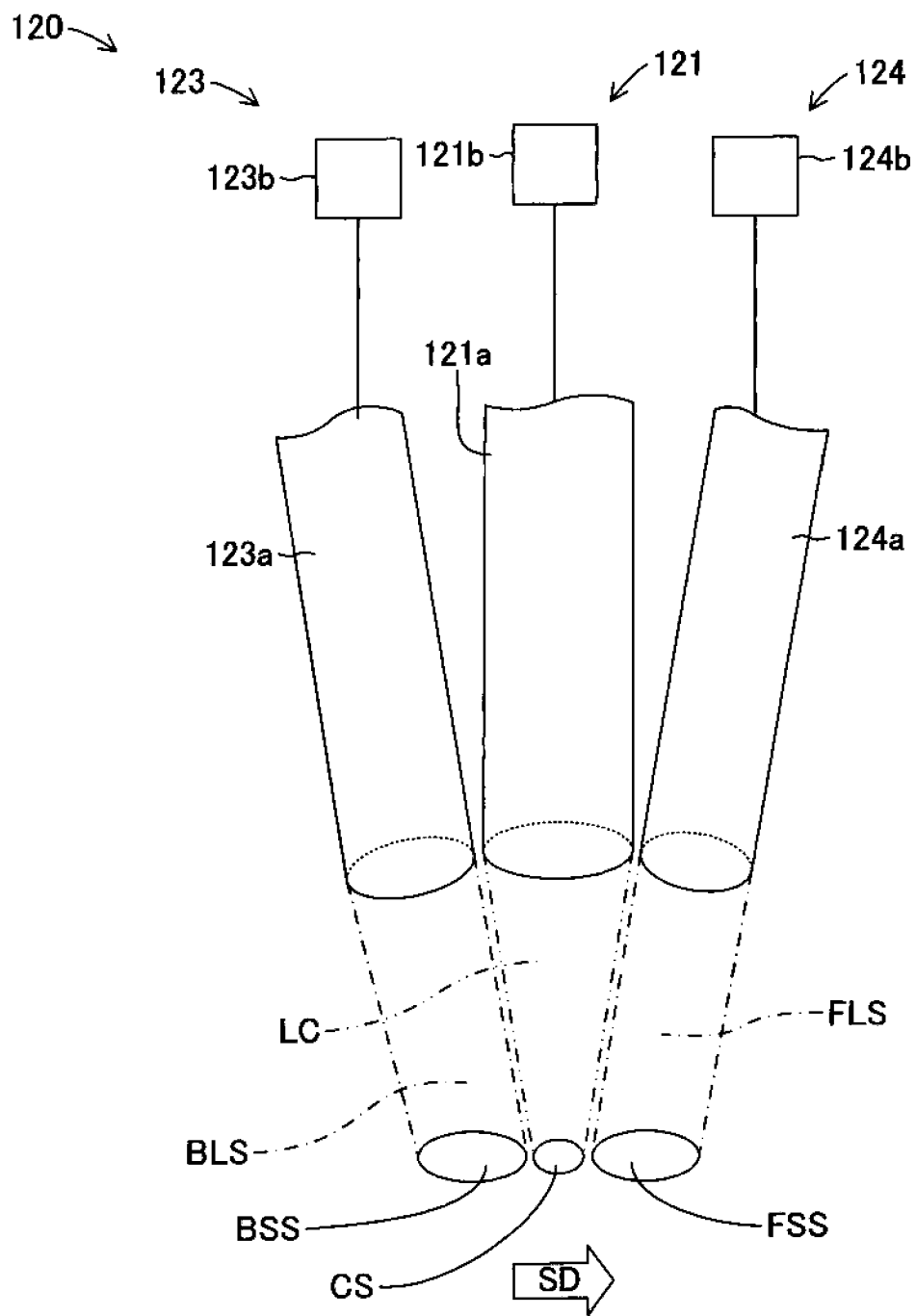


FIG. 16

