

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2021/089090 A1

NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

means of the projection device (7) so as to cover only the second partial layer volume entirely or in part; and repeating the preceding steps in order to optically process the starting material (3) in layers in the working volume (2) until a volume of the starting material (3) to be processed, which covers the working volume (2) entirely or in part, is optically processed. The invention further relates to an apparatus for processing an optically reactive material.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bearbeiten eines optisch reaktiven Materials, mit: Bereitstellen eines Ausgangsmaterial (3), welches optisch reaktiv ist und ein Arbeitsvolumen (2) ausfüllt; und optischem Bearbeiten des Ausgangsmaterials (3) in dem Arbeitsvolumen (2) mittels Einstrahlen von Licht einer ersten Wellenlänge und einer zweiten Wellenlänge, wobei das Licht erster Wellenlänge und zweiter Wellenlänge von einer Beleuchtungseinrichtung bereitgestellt werden und mittels des optischen Bearbeitens wenigstens eine Materialeigenschaft des Ausgangsmaterials verändert wird und das optische Bearbeiten Folgendes umfasst: Bestrahlen eines ersten Schichtteilvolumens des mit dem Ausgangsmaterial (3) ausgefüllten Arbeitsvolumens (2) mit dem Licht erster Wellenlänge; Bestrahlen des ersten Schichtteilvolumens des Arbeitsvolumens (2) mit dem Licht zweiter Wellenlänge, wobei das Licht zweiter Wellenlänge hierbei mittels einer Projektionseinrichtung (7) nur das erste Schichtteilvolumen ganz oder teilweise erfassend in das Arbeitsvolumen (2) projiziert wird; Bestrahlen eines zweiten Schichtteilvolumens des mit dem Ausgangsmaterial (3) ausgefüllten Arbeitsvolumens (2), welches von dem ersten Schichtteilvolumen verschieden ist, mit dem Licht erster Wellenlänge; Bestrahlen des zweiten Schichtteilvolumens des Arbeitsvolumens (2) mit dem Licht zweiter Wellenlänge, wobei das Licht zweiter Wellenlänge hierbei mittels der Projektionseinrichtung (7) nur das zweite Schichtteilvolumen ganz oder teilweise erfassend in das Arbeitsvolumen (2) projiziert wird; und Wiederholen der vorangehenden Schritte zur schichtweisen optischen Bearbeitung des Ausgangsmaterials (3) in dem Arbeitsvolumen (2) bis ein zu bearbeitendes Volumen des Ausgangsmaterials (3), welches das Arbeitsvolumen (2) ganz oder teilweise erfasst, optisch bearbeitet ist. Weiterhin ist eine Vorrichtung zum Bearbeiten eines optisch reaktiven Materials vorgesehen.

Verfahren und Vorrichtung zum Bearbeiten eines optisch reaktiven Materials

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Bearbeiten eines optisch reaktiven Materials.

5

Hintergrund

Ausgangsmaterialien können optisch bearbeitet werden, also mittels Einstrahlen von Licht einer oder mehrerer Wellenlängen auf das Ausgangsmaterial, um wenigstens eine Materialeigenschaft des Ausgangsmaterials hierdurch zu verändern. So ist es beispielsweise als solches bekannt, mit Hilfe einer solchen optischen Bearbeitung ein Ausgangsmaterial auszu-

10

zuhärten.

In dem Dokument US 4,041,476 sind ein Verfahren und eine Vorrichtung beschrieben, mit denen ein dreidimensionaler Körper aus einem Ausgangsmaterial hergestellt werden kann, indem Lichtstrahlen unterschiedlicher Wellenlänge auf das Ausgangsmaterial eingestrahlt werden und sich hierbei punktförmig überlappen.

15

Im Dokument US 2019 / 001 605 2 A1 sind ein Verfahren an einer Vorrichtung für ein additives Verfahren zum Herstellen dreidimensionaler Körper beschrieben. Hierbei ist vorgesehen, mehrere LCD-Display übereinander anzuordnen, um mit Hilfe der LCD-Displays ein dreidimensionales Bild auf ein auszuhärtendes Material abzubilden. Die LCD-Displays sind hierbei als Schichten ortsfest in einer gestapelten Anordnung positioniert. Auf diese Weise soll ein UV-härtbares Polymer bearbeitet werden.

20

25

Aus dem Dokument US 2019 / 0160539 A1 ist ein Verfahren zum Herstellen einer druckbaren 3D-Nanostruktur bekannt, umfassend: eine erste Lichtquelle, die eingerichtet ist, ein Polymermedium über ein dynamisches Licht-Raummodulationselement in einen angeregten Zustand zu bringen, um die Polymerisation zu initiieren; eine zweite Lichtquelle, die eingerichtet ist, das polymerisierte Medium selektiv mit Hemmungsenergie zu beaufschlagen, um die Polymerisation zu hemmen, wodurch unterhalb einer Wachstumszone eine Totzone erzeugt wird, die eine kontinuierliche 3D-Polymerisation ermöglicht.

30

Im Dokument US 2019 / 160539 A1 ist eine additive Fertigungsverfahren offenbart, die Folgendes aufweist: eine Plattform, einen Spender, der konfiguriert ist, mehrere aufeinanderfolgende Schichten eines Beschickungsmaterials auf die Plattform zu liefern, eine Lichtquel-

35

lenanordnung zum Erzeugen eines ersten Lichtstrahls und einen zweiten Lichtstrahl, einen Strahlkombinierer, der konfiguriert ist, das erste Licht und das zweite Lichts in einem gemeinsamen Lichtstrahl zu kombinieren, und einen Spiegelscanner, der konfiguriert ist, den gemeinsamen Lichtstrahl auf die Plattform zu richten, um Energie entlang eines Abtastpfades auf einer äußersten Schicht des Beschickungsmaterials zu liefern.

Die Polymerisation ist eine Reaktion, die zum Herstellen von Kunststoffen genutzt wird. Bei der Fotopolymerisation, die eine Form der optischen Bearbeitung eines Ausgangsmaterials ist, wird die Reaktion mittels Einstrahlen von Licht auf das polymerisierbare Ausgangsmaterial ausgelöst. Solche polymerisierbaren Ausgangsstoffe oder -materialien werden auch als Fotopolymer bezeichnet. Hierbei handelt es sich um ein Polymer, das seine Materialeigenschaften ändert, wenn es mit Licht bestrahlt wird. Die Lichteinstrahlung bewirkt strukturelle Änderungen, beispielsweise die fotochemische Härtung des Materials durch Vernetzung. Die Fotopolymerisation wird beispielsweise beim 3D-Drucken genutzt, um mittels Lichteinstrahlung in dem polymerisierbaren Ausgangsmaterial dreidimensionale Formkörper aus dem ausgehärteten Material herzustellen.

Das Ausgangsmaterial selbst kann für das eingestrahlte Licht transparent und somit unempfindlich sein. Es werden Fotoinitiator-Moleküle beigemischt, welche das Licht absorbieren und die Aushärtung des Ausgangsmaterials initiieren. Für die Prozessierung des Ausgangsmaterials im unveränderten (freien) Volumen ist die Adressierung eines freigewählten Punktes im 3-dimensionalen Raum notwendig. Eine Möglichkeit ist die Verwendung von speziellen Fotoinitiatoren, die auch als Dual-Color-Fotoinitiatoren bezeichnet werden. Diese werden bevorzugt oder ausschließlich durch Absorption von Photonen zweier unterschiedlicher Wellenlängen angeregt. Dual-Color-Fotoinitiatoren können auf unterschiedlichen Wegen erzeugt werden, in einer Variante weisen Moleküle ohne Lichteinstrahlung einen Grund- / Normalzustand (A) auf. In diesem Zustand besitzt das Molekül eine Absorptionsbande für eine Wellenlänge λ_1 und eine möglichst geringe Absorption bei einer anderen Wellenlänge λ_2 .

Die Moleküle können sodann einen voraktivierten oder angeregten Zwischenzustand (B) einnehmen. Der angeregte Zwischenzustand wird erzeugt durch Absorption von Licht der Wellenlänge λ_1 aus dem Grundzustand A. Die Fotoinitiator-Moleküle weisen eine Absorptionsbande für die Wellenlänge λ_2 auf. Die Absorptionsbande für die Wellenlänge λ_1 verschwindet. Alternativ bleibt die Absorptionsbande für die Wellenlänge λ_1 erhalten. Hierdurch entsteht ein unerwünschter, konkurrierender Übergangskanal zum Zustand C. Das Fotoinitia-

tor-Molekül kehrt in Abwesenheit von Licht in den Zustand A zurück. Alternativ kehrt das Fotoinitiator-Molekül nach Anregung mit Licht einer dritten Wellenlänge λ_3 in den Zustand A zurück. Dies erlaubt eine gezielte Inhibition des Initiators im Zustand B.

- 5 Der aktive Zustand C der Moleküle wird durch Absorption der Wellenlänge λ_2 aus B erzeugt. Der Zustand C setzt eine chemische und / oder eine physikalische Modifikation der unmittelbaren Umgebung des Moleküls in Gang. Eine Rückreaktion zu B ist nicht vorgesehen aber möglich.

10 Zusammenfassung

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Bearbeiten eines optisch reaktiven Materials anzugeben, mit denen auf effiziente Art und Weise ein Ausgangsmaterial mehrdimensional optisch bearbeitet werden kann.

15

Zur Lösung sind ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zum Bearbeiten eines optisch reaktiven Materials nach den unabhängigen Ansprüchen 1 und 15 geschaffen. Ausgestaltungen sind Gegenstand von abhängigen Unteransprüchen.

- 20 Nach einem Aspekt ist ein Verfahren zum Bearbeiten eines optisch reaktiven Materials geschaffen, welches Folgendes aufweist: Bereitstellen eines Ausgangsmaterials, welches optisch reaktiv ist und ein Arbeitsvolumen ausfüllt; und optisches Bearbeiten des Ausgangsmaterials in dem Arbeitsvolumen mittels Einstrahlen von Licht einer ersten Wellenlänge und Licht einer zweiten Wellenlänge, die von der ersten Wellenlänge verschieden ist, wobei das

- 25 Licht erster Wellenlänge und das Licht zweiter Wellenlänge von einer Beleuchtungseinrichtung bereitgestellt wird und mittels des optischen Bearbeitens wenigstens eine Materialeigenschaft des Ausgangsmaterials verändert wird. Das optische Bearbeiten umfasst Folgendes: Bestrahlen eines ersten Schichtteilvolumens des mit dem Ausgangsmaterial ausgefüllten Arbeitsvolumens mit dem Licht erster Wellenlänge; Bestrahlen des ersten Schichtteilvolumens des Arbeitsvolumens mit dem Licht zweiter Wellenlänge, wobei das Licht zweiter

- 30 Wellenlänge hierbei mittels einer Projektionseinrichtung nur das erste Schichtteilvolumen ganz oder teilweise erfassend in das Arbeitsvolumen projiziert wird; Bestrahlen eines zweiten Schichtteilvolumens des mit dem Ausgangsmaterial ausgefüllten Arbeitsvolumens mit dem Ausgangsmaterial, welches von dem ersten Schichtteilvolumen verschieden ist, mit dem

- 35 Licht erster Wellenlänge; Bestrahlen des zweiten Schichtteilvolumens des Arbeitsvolumens

mit dem Licht zweiter Wellenlänge, wobei das Licht zweiter Wellenlänge hierbei mittels der Projektionseinrichtung nur das zweite Schichtteilvolumen ganz oder teilweise erfassend in das Arbeitsvolumen projiziert wird; und Wiederholen der vorangehenden Schritte zur schichtweisen optischen Bearbeitung des Ausgangsmaterials in dem Arbeitsvolumen bis ein
5 zu bearbeitendes Volumen des Ausgangsmaterials, welches das Arbeitsvolumen ganz oder teilweise erfasst, optisch bearbeitet ist.

Nach einem weiteren Aspekt ist eine Vorrichtung zum Bearbeiten eines optisch reaktiven Materials geschaffen, mit: einem Arbeitsvolumen, welches eingerichtet ist, ein Ausgangsmaterial aufzunehmen, welches optisch reaktiv ist und das Arbeitsvolumen ausfüllt; einer Beleuchtungseinrichtung, die eingerichtet ist, Licht einer ersten Wellenlänge und Licht einer zweiten Wellenlänge zum Einstrahlen auf das Arbeitsvolumen mit dem Ausgangsmaterial bereitzustellen; und einer Projektionseinrichtung, die eingerichtet ist, das Licht zweiter Wellenlänge beim Einstrahlen auf das mit dem Ausgangsmaterial befüllten Arbeitsvolumen in ein
15 Schichtteilvolumen des Arbeitsvolumens und nur das Schichtteilvolumen ganz oder teilweise erfassend zu projizieren. Die Beleuchtungseinrichtung und die Projektionseinrichtung sind weiterhin eingerichtet, das Ausgangsmaterial in dem Arbeitsvolumen wie folgt optisch zu bearbeiten: Bestrahlen eines ersten Schichtteilvolumens des mit dem Ausgangsmaterial ausgefüllten Arbeitsvolumens mit dem Licht erster Wellenlänge; Bestrahlen des ersten
20 Schichtteilvolumens des Arbeitsvolumens mit dem Licht zweiter Wellenlänge, wobei das Licht zweiter Wellenlänge hierbei mittels einer Projektionseinrichtung nur das erste Schichtteilvolumen ganz oder teilweise erfassend in das Arbeitsvolumen projiziert wird; Bestrahlen eines zweiten Schichtteilvolumens des mit dem Ausgangsmaterial ausgefüllten Arbeitsvolumens mit dem Ausgangsmaterial, welches von dem ersten Schichtteilvolumen verschieden
25 ist, mit dem Licht erster Wellenlänge; Bestrahlen des zweiten Schichtteilvolumens des Arbeitsvolumens mit dem Licht zweiter Wellenlänge, wobei das Licht zweiter Wellenlänge hierbei mittels der Projektionseinrichtung nur das zweite Schichtteilvolumen ganz oder teilweise erfassend in das Arbeitsvolumen projiziert wird; und Wiederholen der vorangehenden Schritte zur schichtweisen optischen Bearbeitung des Ausgangsmaterials in dem Arbeitsvolumen
30 bis ein zu bearbeitendes Volumen des Ausgangsmaterials, welches das Arbeitsvolumen ganz oder teilweise erfasst, optisch bearbeitet ist.

Mit Hilfe des Verfahrens und der Vorrichtung ist es ermöglicht, das Ausgangsmaterial, welches bereits vor dem Einstrahlen des Lichts erster und zweiter Wellenlänge in dem Arbeitsvolumen und dieses ausfüllend eingebracht wird, im Arbeitsvolumen mehrdimensional oder
35

räumlich optisch zu bearbeiten, derart, dass mittels des Einstrahlens des Lichts erster und zweiter Wellenlänge, wahlweise von Licht einer oder mehrerer weiterer Wellenlängen, wenigstens eine Materialeigenschaft des Ausgangsmaterials verändert wird.

- 5 Nacheinander werden die Schichtteilmengen des Arbeitsvolumens mit der ersten und der zweiten Wellenlänge bestrahlt, um so eine optisch initiierte Reaktion in dem Ausgangsmaterial auszulösen. Die Schichtteilmengen, welche nacheinander optisch bearbeitet werden, enthalten Teilvolumen des Ausgangsmaterials, dass vor dem Beginn des Fertigungsprozesses (optisches Bearbeiten) in dem Arbeitsvolumen eingebracht wird, und sind von diesen
10 ausgefüllt. Im Unterschied zu bekannten Verfahren erfolgt beim optischen Bearbeiten kein schichtweiser Auftrag des Ausgangsmaterials und sich jeweils anschließendes schichtweises optisches Bearbeiten (der gerade aufgetragenen Schicht) nach dem Schichtauftrag.

In Abhängigkeit davon, welches Schichtteilmengen innerhalb des vorher mit dem Ausgangsmaterial befüllten Arbeitsvolumens mit der ersten Wellenlänge bestrahlt wird, erfolgt
15 die Projektion des Lichts der zweiten Wellenlänge mit Hilfe der Projektionseinrichtung in genau dieses momentan und aktuell mit der ersten Wellenlänge bestrahlte Schichtteilmengen. Die Projektionseinrichtung bewirkt eine Abbildung des Lichts zweiter Wellenlänge in das aktuell gewünschte Schichtteilmengen. Hierbei kann die Projektionseinrichtung das Licht zweiter
20 Wellenlänge einer wenigstens zweidimensional geformten Abbildung entsprechend in die Projektionsebene oder das Projektionsvolumen abbilden, welche(s) sich in dem mit dem Licht erster Wellenlänge bestrahlten Schichtteilmengen befindet. Auf diese Weise kann zum Beispiel in dem Ausgangsmaterial Schicht für Schicht ein dreidimensionaler Körper hergestellt werden.

25

Mit Hilfe einer Steuereinrichtung, die mit einer oder mehreren Lichtquellen zum Bereitstellen des Lichts erster und des Lichts zweiter Wellenlänge sowie der Projektionseinrichtung verbunden ist, kann bestimmt werden, ob das erste oder das zweite Schichtteilmengen (des Ausgangsmaterials im Arbeitsvolumens) bestrahlt wird, und die Projektionseinrichtung kann
30 in Abhängigkeit hiervon angesteuert werden, das Licht zweiter Wellenlänge in das erste oder das zweite Schichtteilmengen zu projizieren. In der Steuereinrichtung werden hierbei Daten bereitgestellt, welche die aktuelle oder momentane Position des Schichtteilmengen definieren, welcher mit Licht der ersten Wellenlänge bestrahlt wird. Hiervon ausgehend wird die Projektionseinrichtung gesteuert, derart, dass die mit Hilfe der Projektionseinrichtung erzeugte
35 Projektion in einer Projektionsebene oder in einem Projektionsvolumen in dieses aktuell

bestrahlte Schichtteilvolumen erfolgt. Auf diese Weise werden die Schichtteilvolumen des Ausgangsmaterials Schicht für Schicht nacheinander bearbeitet. Die äußere Form der Projektion der Projektionseinrichtung kann hierbei für unterschiedliche Schichtteilvolumen verschieden sein, insbesondere abhängig von einem dreidimensionalen Körper, der mit Hilfe
5 der optischen Bearbeitung in dem Ausgangsmaterial hergestellt werden soll.

Es kann in einer Ausführungsform vorgesehen sein, eine aktuelle oder momentane Position des Schichtteilvolumens, das mit dem Licht erster Wellenlänge bestrahlt wird, in dem Arbeitsvolumen mit Hilfe einer Messeinrichtung zu detektieren, die dann die Position anzeigende Messsignale an die Steuereinrichtung gibt.
10

Das Licht erster Wellenlänge und das Licht zweiter Wellenlänge können zumindest für einen zeitlichen Überlappungszeitraum gleichzeitig gemeinsam in das erste oder das zweite Schichtteilvolumen eingestrahlt werden. Bei dieser Ausführungsform wird der von dem
15 Schichtteilvolumen sowie der Projektion der Projektionseinrichtung erfasste Bereich zumindest für den zeitlichen Überlappungsbereich sowohl mit Licht der ersten Wellenlänge als auch mit Licht der zweiten Wellenlänge bestrahlt.

Das erste und das zweite Schichtteilvolumen können in dem Arbeitsvolumen benachbarte
20 Schichtteilvolumen des Ausgangsmaterials bilden.

Es kann vorgesehen sein, dass das erste und das zweite Schichtteilvolumen einer der folgenden Konfigurationen von Teilvolumen entsprechend gebildet werden: randseitig überlappend, randseitig aneinanderstoßend und randseitig beabstandet zueinander.
25

Auf das Ausgangsmaterial im Arbeitsvolumen können das Licht erster Wellenlänge entlang einer ersten Einstrahlrichtung und das Licht zweiter Wellenlänge entlang einer zweiten Einstrahlrichtung eingestrahlt werden, die quer zur ersten Einstrahlrichtung verläuft. In einer Ausführungsform können die erste und die zweite Einstrahlrichtung zum Beispiel einen Winkel von etwa 90° einnehmen. Andere Winkel können im Bereich von etwa 30° bis 90° Grad zwischen den optischen Achsen der Einstrahlrichtungen vorgesehen sein.
30

Das Licht erster Wellenlänge und / oder das Licht zweiter Wellenlänge können als gepulstes Licht eingestrahlt werden. Die Lichtimpulse des Lichts erster und zweiter Wellenlänge können zeitgleich oder im vorbestimmten zeitlichen Abstand nacheinander in das momentan
35

bearbeitete Schichtteilmengen eingestrahlt werden. Die Lichtimpulse für das Licht der beiden Wellenlängen können mit gleichen oder unterschiedlichen zeitlichen Impulsbreiten bereitgestellt werden. Alternativ kann das Licht erster Wellenlänge oder das Licht zweiter Wellenlänge als Dauerlicht eingestrahlt werden.

5

Das Ausgangsmaterial kann mittels des optischen Bearbeitens entsprechend wenigstens eines Bearbeitungsverfahrens aus der folgenden Gruppe bearbeitet werden: Aushärten, Härten, Gelieren und Verflüssigen. Bei dieser oder anderen Ausführungsformen kann das Ausgangsmaterial fest, flüssig oder pastös sein.

10

Es kann in einer Ausgestaltung vorgesehen sein, dass das Ausgangsmaterial aufgrund der optischen Bearbeitung mit dem Licht erster und zweiter Wellenlänge zum Leuchten gebracht wird, insbesondere aufgrund von Fluoreszenz oder Phosphoreszenz.

15

Zum Bestrahlen des ersten Schichtteilmengens und zum Bestrahlen des zweiten Schichtvolumens mit dem Licht erster Wellenlänge kann ein schichtförmiger Einstrahlbereich einer ersten Lichtquelle, mit dem das Licht erster Wellenlänge bereitgestellt wird, relativ zum Arbeitsvolumen verlagert werden. Bei dieser Ausführungsform wird der schichtförmige Einstrahlbereich für das Licht erster Wellenlänge während der optischen Bearbeitung des Ausgangsmaterials relativ hierzu verschoben, so dass der Einstrahlbereich quasi über das Arbeitsvolumen läuft oder streicht. Die Relativbewegung zwischen Arbeitsvolumen und dem Einstrahlbereich kann auf verschiedene Art und Weise realisiert werden. Eine Verlagerung des Arbeitsvolumens und / oder der ersten Lichtquelle kann vorgesehen sein. Alternativ oder ergänzend können Arbeitsvolumen und erste Lichtquelle während der vollständigen Bearbeitung des Ausgangsmaterials relativ zueinander fixiert sein. Mit Hilfe einer Lichtumlenkeinrichtung wird dann der Einstrahlbereich für das Licht erster Wellenlänge von der ersten Lichtquelle über das Arbeitsvolumen mit dem Ausgangsmaterial bewegt.

20

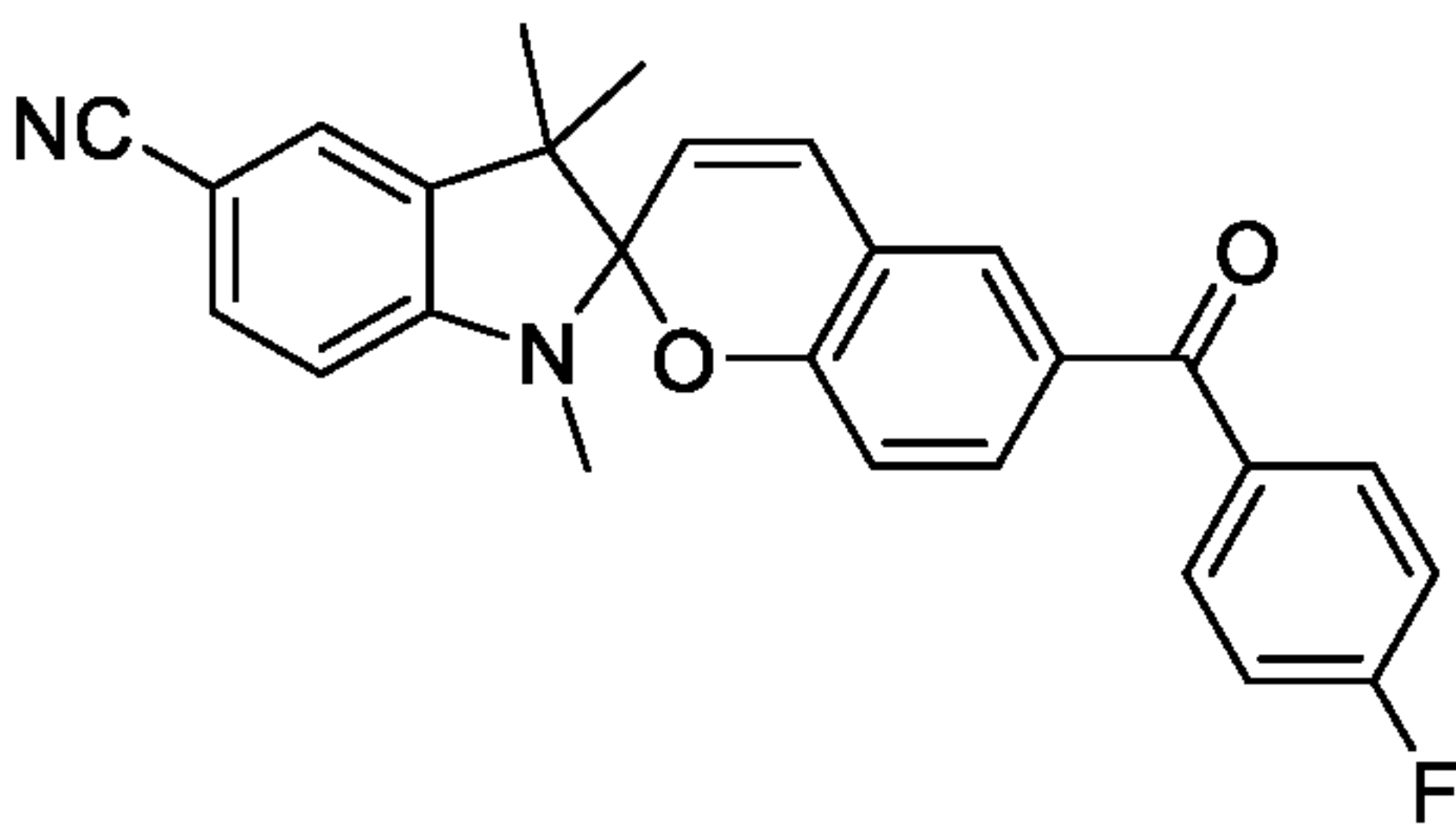
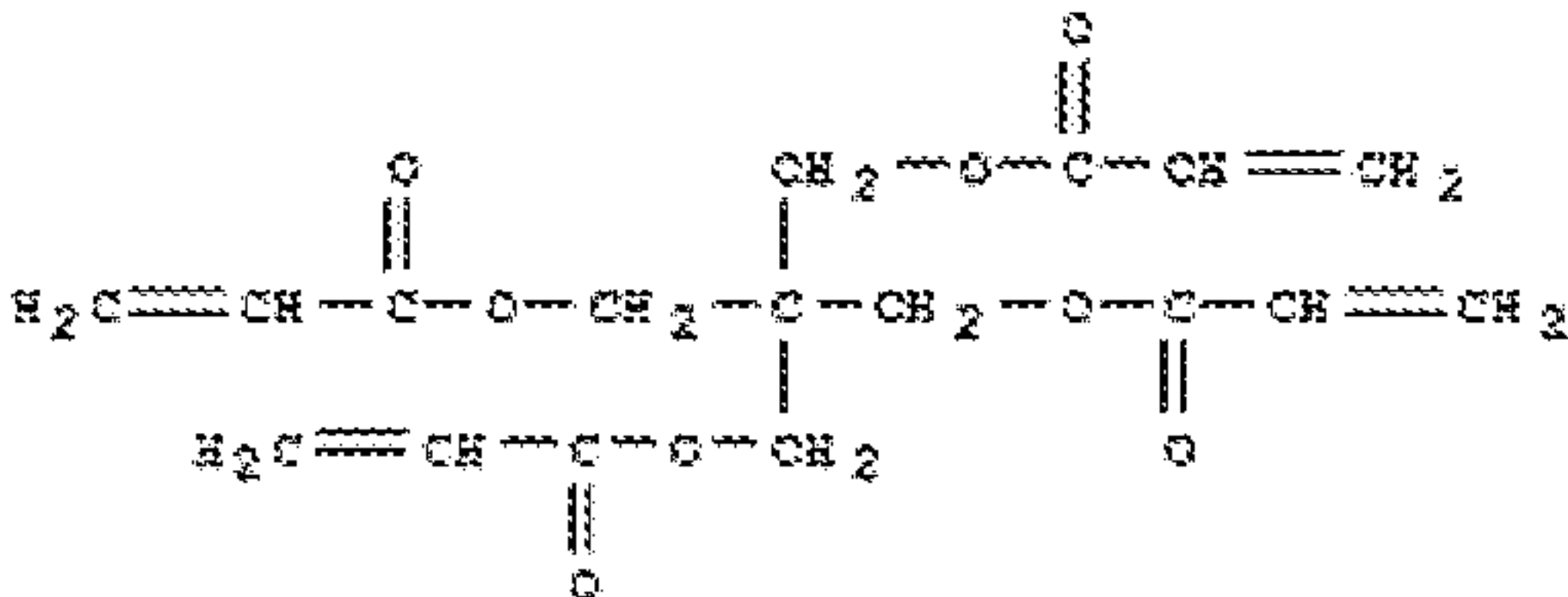
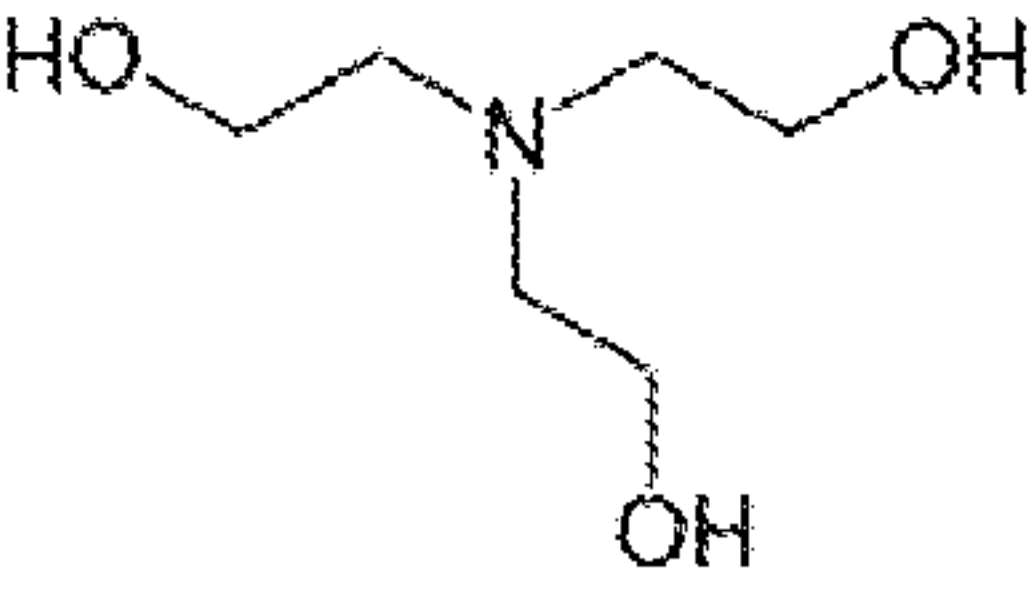
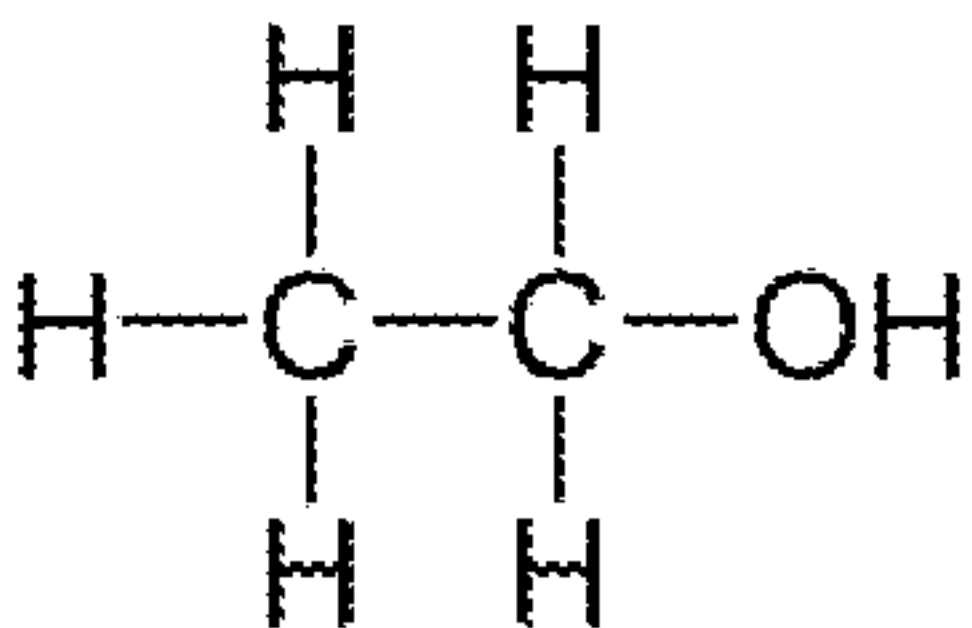
25

30

Es kann vorgesehen sein, dass das optische Bearbeiten des Ausgangsmaterials mit Hilfe eines oder mehrerer Lichtdetektoren beobachtet wird, zum Beispiel mittels einer Kamera und / oder eines Fotodetektor. Hierbei können die Vorgänge bei der Prozessierung (optische Bearbeitung) untersucht werden, indem zum Beispiel transmittiertes Licht gemessen wird, sei es Licht der Anregung des Lichtschnitts und / oder Licht vom Projektor. Der Lichtschnittsgenerator und / oder der Projektor können weitere Lichtwellenlängen emittieren, die von den An-

regungswellenlängen verschieden sind und nur der Beobachtung der Änderung der Materialeigenschaft des Ausgangsmaterials dienen, zum Beispiel der ablaufenden Polymerisation.

5 Mittels des optischen Bearbeitens kann in dem Ausgangsmaterial eine polychrome Mehrphotonen-Polymerisation („xolography“) ausgelöst wird, welche die Veränderung der wenigstens einen Materialeigenschaft des Ausgangsmaterials bewirkt. Bei dieser beispielhaften Ausgestaltung kann das Ausgangsmaterial einen oder mehrere der folgenden Stoffe umfassen.

Stoff	Strukturformel	Anteil von 27,1g Ausgangsmaterial insgesamt (Beispiel)
Dual-Color-Fotoinitiator		2 mg
Pentaerythritol-tetraacrylate (Monomer)		25,6g (21,5 ml)
Triethanolamin		(0,73g (1 ml)
Ethanol		(0,79g (1 ml)

10 In einem Ausführungsbeispiel kann das Licht erster Wellenlänge zunächst in dem ersten Schichtteilvolumen und dann in dem zweiten Schichtteilvolumen mit einer in Bezug auf mindestens einen der folgenden Lichtparameter im Wesentlichen homogenen Verteilung eingestrahlt wird: Lichtintensität und Lichtfarbe. Auf diese Weise kann eine im Wesentlichen homogene Ausleuchtung des jeweiligen Schichtteilvolumens erreicht werden. Alternativ kann

15 vorgesehen sein, dass das Licht erster Wellenlänge zunächst in dem ersten Schichtteilvolumen und dann in dem zweiten Schichtteilvolumen mit einer in Bezug auf mindestens einen

der Lichtparameter nicht homogenen Verteilung eingestrahlt wird, wobei sich die inhomogene Verteilung im ersten Schichtteilvolumen von der inhomogenen Verteilung im zweiten Schichtteilvolumen unterscheiden kann. Zum Beispiel kann für das Licht erster Wellenlänge ein Gradient für die Lichtintensität über die Breite und / oder die Höhe des Schichtteilvolumens ausgebildet sein.

Das Licht zweiter Wellenlänge kann zunächst auf das erste Schichtteilvolumen und dann auf das zweite Schichtteilvolumen jeweils mit einer in Bezug auf mindestens einen der folgenden Lichtparameter nicht-homogenen Verteilung projiziert wird: Lichtintensität und Lichtfarbe. Während das Licht erster Wellenlänge das jeweilige Schichtteilvolumen möglichst räumlich homogen oder gleichmäßig ausleuchten kann, erfasst das Licht zweiter Wellenlänge das Ausgangsmaterial in dem Schichtteilvolumen nicht homogen, sondern entsprechend der nicht homogenen Lichtverteilung der hierauf gerichteten Lichtprojektion (des Lichts zweiter Wellenlänge), um so die optischen Bearbeitung der nicht-homogenen Lichtverteilung (Lichtparameter) entsprechend zu bewirken. Dies ermöglicht die Ausbildung oder die Herstellung einer räumlichen äußeren Kontur. Wahlweise können pro Schichtteilvolumen verschiedene nicht-homogene Lichtverteilungen (unterschiedliche Projektionen) eingestrahlt werden.

Beim Bestrahlen des ersten Schichtteilvolumens und / oder beim Bestrahlen des zweiten Schichtteilvolumens mit dem Licht erster Wellenlänge kann ein Schichtteilvolumen mit einer Schichtdicke von höchstens etwa 1 mm bestrahlt oder erfasst werden. Alternative kann ein Schichtteilvolumen mit einer Schichtdicke von höchstens etwa 500 μm bestrahlt werden. In einer weiteren alternativen Ausgestaltung kann ein Schichtteilvolumen mit einer Schichtdicke von höchstens etwa 250 μm bestrahlt werden. Eine Mindestschichtdicke für bestrahlte Schichtteilvolumen kann etwa 10 μm betragen.

Sowohl ein Lichtschnitt der ersten Wellenlänge als auch das Projektorbild der zweiten Wellenlänge können in einer Ausgestaltung mittels eines (einzigen oder integrierten) Projektionsgeräts erzeugt und dann auf / in das Aufnahmegefäß eingestrahlt werden. Eine Anordnung von Lichtreflexionselementen, insbesondere Spiegeln, kann hierbei vorgesehen sein, um eine Abspaltung des Lichtschnitts aus einer Strahlachse des Projektionsgerätes und die Einstrahlung des Lichtschnitts quer zum Projektionsbild in das Aufnahmegefäß zu bewirken.

In einer Ausführungsform kann das Aufnahmegefäß bewegt werden, um den Lichtschnitt durch das Arbeitsvolumen zu bewegen. Das Projektorbild kann mittels einer variablen Fo-

kusoptik innerhalb des Lichtschnitts scharf abgebildet werden. In einer weiteren Ausgestaltung bleibt das Aufnahmegefäß unbewegt, und der Lichtschnitt wird bewegt, zum Beispiel indem ein Displayelement des Projektionsgerätes, zum Beispiel eine LC- oder ein DM-Display, aufgeteilt wird in einen zentralen Bereich, der das Projektorbild erzeugt, und in zwei
5 seitlich davon gelagerte Bereiche, die den Lichtschnitt erzeugen. Hierzu können Pixel des Displayelements mittels Ansteuerung der optischen Transmission und / oder Reflexion des Displayelements so angesteuert werden, eine seitliche Verschiebung des Lichtschnitts zu realisieren. Hierbei können ein zentraler Bereich des Displayelements mit der ersten Wellenlänge und äußeren Bereiche des Displayelements mit der zweiten Wellenlänge bestrahlt
10 werden.

Es kann vorgesehen sein, Licht (mindestens) einer dritten Wellenlänge auf das zu bearbeitende Material einzustrahlen, wobei die dritte Wellenlänge von der ersten und der zweiten Wellenlänge verschieden ist. Hierbei kann das Licht dritter Wellenlänge zum Beispiel zeit-
15 gleich oder zeitlich versetzt zum Einstrahlen des Lichts zweiter / erster Wellenlänge auf ein aktuell bearbeitetes Schichtteilvolumen eingestrahlt werden. Hierzu kann die Projektionseinrichtung oder eine weitere Projektionseinrichtung genutzt werden, um die Lichteinstrahlung wahlweise auf das aktuelle Schichtteilvolumen zu begrenzen. Hierdurch können in dem Arbeitsvolumen des zu bearbeitenden Materials initiierte oder ablaufende chemische / physika-
20 lisch Prozesse zur Materialbehandlung (ergänzend) beeinflusst werden, zum Beispiel bei der Nutzung der polychromen Mehrphotonen-Polymerisation.

Im Zusammenhang mit der Vorrichtung zum Bearbeiten des optisch reaktiven Materials können die vorangehend im Zusammenhang mit dem Verfahren erläuterten Ausgestaltungen
25 entsprechend vorgesehen sein.

Beschreibung von Ausführungsbeispielen

Im Folgenden werden weitere Ausführungsbeispiele unter Bezugnahme auf Figuren einer
30 Zeichnung näher erläutert. Hierbei zeigen:

- Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zum Bearbeiten eines optisch reaktiven Materials von oben;
- Fig. 2 eine schematische Darstellung der Vorrichtung aus Fig. 1 von der Seite;
- Fig. 3a bis 3c eine schematische Darstellungen einer Anordnung zum optischen Bearbeiten
35 eines Ausgangsmaterials in einem Aufnahmegefäß;

- Fig. 4 eine schematische Darstellungen einer weiteren Anordnung zum optischen Bearbeiten eines Ausgangsmaterials in einem Aufnahmegefäß;
- Fig. 5 eine schematische Darstellungen einer anderen Anordnung zum optischen Bearbeiten eines Ausgangsmaterials in einem Aufnahmegefäß mittels eines Projektionsgeräts;
- Fig. 6 eine schematische Darstellung einer weiteren Anordnung zum optischen Bearbeiten eines Ausgangsmaterials in einem Aufnahmegefäß und
- Fig. 7 eine schematische Teildarstellung der Anordnung aus Fig. 6.
- 10 Fig. 1 und 2 zeigen eine schematische Darstellung einer Anordnung für eine Vorrichtung zum optischen Bearbeiten eines optisch reaktiven Materials von oben und von der Seite. In einem Aufnahmegefäß 1 ist ein Arbeitsvolumen 2 bereitgestellt, welches wenigstens teilweise von einem Ausgangsmaterial 3 ausgefüllt ist. Das Ausgangsmaterial kann ein oder mehrere Stoffe umfassen, die fest, flüssig oder pastös sein können. Zum Bearbeiten wird das
- 15 Ausgangsmaterial 3 mit Licht einer ersten Wellenlänge und Licht einer zweiten Wellenlänge bestrahlt, die in dem Arbeitsvolumen 2 zum Auslösen einer optisch aktivierten Reaktion in einem Schichtteilvervolumen 4 überlappend eingestrahlt werden.
- Das Licht erster Wellenlänge wird mit Hilfe einer ersten Lichtquelle 5 bereitgestellt, die bei
- 20 der gezeigten Ausführungsform beispielhaft als ein Lichtschnittgenerator ausgeführt ist. Beim Bearbeiten des Ausgangsmaterials 3 wird ein Einstrahlbereich 6 für das Licht erster Wellenlänge (Lichtschnitt), welcher bei der gezeigten Ausführungsform tailliert ist, Stück für Stück über das Arbeitsvolumen 2 bewegt, so dass eine schichtweise Bearbeitung des Ausgangsmaterials 3 stattfindet. Es werden also Schichtteilvervolumen des zuvor mit dem Ausgangsmaterial 3 befüllten Arbeitsvolumens 2 (schichtförmige Teilvervolumen des Arbeitsvolumens 2)
- 25 nacheinander bestrahlt, insbesondere einander nicht überlappende Schichtteilvervolumen.
- In Abhängigkeit von der aktuellen Position des Einstrahlbereichs 6 (Lichtschnitt) wird das Licht zweiter Wellenlänge mit Hilfe eines Projektors 7 in das aktuell mit dem Licht erster Wellenlänge bestrahlte Schichtteilvervolumen projiziert (Projektor- oder Projektionsbild). Dieses bedeutet, dass die Projektionsebene oder das Projektionsvolumen des Projektors 7 in dem Schichtteilvervolumen liegen, welches gerade mit dem Licht erster Wellenlänge bestrahlt wird. Das Licht erster Wellenlänge (Lichtschnitt) und das Licht zweiter Wellenlänge (Lichtprojektion) überlappen so räumlich oder in einer Projektionsebene des Projektors 7 flächig in einem
- 30

makroskopischen Schichtteilvervolumen des Ausgangsmaterials 3, welches als Teilvervolumen des Arbeitsvolumens 2 gerade mittels des Lichtschnitts bestrahlt wird.

Auf diese Weise wird in dem aktuell bestrahlten schichtförmigen Teilvervolumen wenigstens
5 eine Materialeigenschaft des Ausgangsmaterials 3 verändert, beispielsweise dahingehend, dass das ursprüngliche Ausgangsmaterial aushärtet. Hierbei kann aufgrund des Zusammen-
treffens des Lichts der beiden Wellenlängen eine Polymerisation im Ausgangsmaterial 3
ausgelöst werden. Auf diese Weise ist es beispielsweise ermöglicht, einen dreidimensional
geformten Körper Schicht für Schicht in dem Arbeitsvolumen 2 herzustellen. Die dreidimen-
10 sionale Formung des Körpers wird hierbei mit Hilfe der in das jeweilige Schichtvolumen ab-
gebildeten Projektion des Projektors 7 beeinflusst und bestimmt.

Die Vorrichtung und das Verfahren erlauben eine Anpassung an unterschiedliche Volumina
des Ausgangsmaterials 3. Ferner erlaubt es eine Optimierung zwischen Auflösung und Ge-
15 schwindigkeit der Prozessierung.

Bei der Verwendung von idealen Dual-Color-Fotoinitiatoren im Ausgangsmaterial 3 erfolgt
die Anregung des aktiven Zustandes C nur bei Absorption beider Wellenlängen λ_1 und λ_2
(erste und zweite Wellenlänge). Für nicht ideale Fotoinitiatoren kann ein Übergang vom Zwi-
20 schenzustand B in den aktiven Zustand C auch durch Absorption der Wellenlänge λ_1 erfol-
gen. In Konsequenz werden Fotoinitiatoren nicht nur am Kreuzungspunkt beider Wellenlän-
gen, sondern auch entlang des gesamten Lichtstrahls der Wellenlänge λ_1 in den Zustand C
überführt. Da es vom aktiven Zustand C des Fotoinitiators keinen Rückweg in den Grundzu-
stand A gibt, akkumuliert sich bei der Prozessierung mehrerer gewünschter Zielpunkte, eine
25 erhebliche Menge Initiatoren im aktiven Zustand C in ungewünschten Gebieten. Die Vorrich-
tung erlaubt es, im Überlappungsbereich der Lichtstrahlen eine ausreichende Initiatorkon-
zentration im aktiven Zustand C für die Polymerisation des Ausgangsmaterials zu erzeugen,
bei gleichzeitiger Minimierung der generierten Konzentration an Initiator-Molekülen im akti-
ven Zustand C entlang des Lichtstrahls erster Wellenlänge λ_1 . Ferner ermöglicht es die Vor-
30 richtung, die Akkumulierung von Fotoinitiatoren im aktiven Zustand C in ungewünschten Be-
reichen des Volumens verursacht durch die Lichtüberlagerung für viele aufeinanderfolgende
Zielpunkte zu minimieren.

Zeigt der Grundzustand A eine Absorptionsbande bei der zweiten Wellenlänge λ_2 , kann der
35 Fotoinitiator durch Licht der Wellenlänge λ_2 in den Zwischenzustand B und folgend in den

aktiven Zustand C überführt werden. In Konsequenz werden Fotoinitiatoren nicht nur am Überlappungsbereich beider Wellenlängen, sondern auch entlang des gesamten Lichtstrahls der Wellenlänge λ_2 in den Zustand C überführt. Da es vom aktiven Zustand C des Fotoinitiators keinen Rückweg in den Grundzustand A gibt, akkumuliert sich bei der Prozessierung
5 mehrerer gewünschter Zielpunkte, eine erhebliche Menge Initiatoren im aktiven Zustand C in ungewünschten Gebieten. Die Vorrichtung ermöglicht es, im Überlappungsbereich der Lichtstrahlen eine ausreichende Initiatorkonzentration im aktiven Zustand C für die gewünschte Modifikation des Ausgangsmaterials 3 zu erzeugen, bei gleichzeitiger Minimierung der generierten Konzentration von Initiator-Molekülen im aktiven Zustand C entlang des Lichtstrahls
10 der Wellenlänge λ_2 . Ferner soll die Vorrichtung ermöglichen, die Akkumulierung von Fotoinitiatoren im aktiven Zustand C in ungewünschten Bereichen des Volumens, verursacht durch die Lichtüberlagerung für viele aufeinanderfolgende Zielpunkte, zu minimieren.

Die Vorrichtung und das Verfahren können mit anderen Techniken kombiniert werden, welche die unerwünschte Aushärtung durch Akkumulation von Fotoinitiatoren im aktiven Zustand C begrenzen. In einem Beispiel kann die Sauerstoffkonzentration im Ausgangsmaterial
15 eingestellt werden, um den Schwellwert, ab welchem es zum Aushärten des Materials kommt, zu variieren.

20 Nachfolgend werden weitere Aspekte der Vorrichtung zum optischen Bearbeiten des Ausgangsmaterials 3 erläutert.

Das Ausgangsmaterial 3 kann in einem transparenten Gefäß (Aufnahmegefäß 1) mit mindestens zwei optisch planen Eintrittsfenstern aufgenommen sein, welches das Ausgangsmaterial 3 mit den zugesetzten Dual-Color-Fotoinitiator-Molekülen oder anderen optisch aktiven
25 Molekülen und gegebenenfalls weitere Additive wie Koinitiatoren aufnimmt. Die als Lichtgenerator mit Abbildungsoptik ausgeführte Lichtquelle 5 erzeugt einen Lichtschnitt der Wellenlänge λ_1 , welches durch ein Fenster des Aufnahmegefäßes 1 in das Arbeitsvolumen 2 eingestrahlt wird. Der Projektor 7 mit einer Leuchtquelle der Wellenlänge λ_2 erzeugt ein Bild, welches über ein Objektiv innerhalb des Lichtschnitts in dem Aufnahmegefäß 1 scharf abgebildet wird.
30

Durch die Brechung des eingestrahlteten Lichts zweiter Wellenlänge an den Übergängen zwischen Luft und dem Aufnahmegefäß 1 und zwischen dem Aufnahmegefäß 1 und dem Ausgangsmaterial 3 kann sich eine Verschiebung der Fokusebene des projizierten Bildes (Licht
35

zweiter Wellenlänge) im Vergleich zur optischen Abbildung ohne Aufnahmegefäß 1 ergeben. Bei großen Arbeitsvolumina des Aufnahmegefäßes 1 kann die Schärfentiefe des fokussierten Projektorbildes nicht ausreichend sein. In diesem Zusammenhang kann dann während der Bewegung des Lichtschnitts durch das Arbeitsvolumen 2 kontinuierlich eine Fokuskorrektur erfolgen.

Für Anwendungen im Bereich des 3D-Drucks kann der Brechungsindex des Ausgangsmaterials 3 ähnlich dem Material des Aufnahmegefäßes 1 sein. In diesem Fall führt nur der Übergang Luft mit Brechungsindex n_1 und Aufnahmegefäß 1 mit Brechungsindex n_2 zu einer Verschiebung der Fokusebene um den Betrag Δs gegeben durch:

$$\Delta s = d \cdot \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right)$$

Mit zunehmendem Abstand d der Position des Lichtschnitts (Licht erster Wellenlänge) von einem Eintrittsfenster des Aufnahmegefäßes 1, wo das Projektorbild eintritt, nimmt die Fokusverschiebung gemäß der obigen Gleichung zu. Die Gleichung betrifft einen paraxialen, optischen Strahlengang beziehungsweise größere Abstände zwischen Projektor 7 und Aufnahmegefäß 1. Je nach Ausgestaltung, kann eine Kompensation der Verschiebung mittels einer motorisierten Fokusverstellung des fest montierten Projektors 7 oder mittels einer motorisierten Positionierung des gesamten Projektors 7 relativ zur Lichtschnittposition erfolgen. Im letztgenannten Beispiel ergibt sich eine gleichförmige, lineare Relativbewegung des Projektors 7 zum festen Lichtschnitt während der gleichförmigen Bewegung des Aufnahmegefäßes 1 durch den Lichtschnitt (Schichtteilvervolumen) zur Prozessierung des gesamten Arbeitsvolumens 2.

Alternativ zu dem in Fig. 1 veranschaulichten Aufbau, kann das Projektorbild auch durch den Boden oder den Deckel des Aufnahmegefäßes 1 in das Arbeitsvolumen 2 eintreten, und der Lichtschnitt kann senkrecht hierzu durch eine oder mehrere der Seitenfenster eingekoppelt werden.

Alternativ kann der Lichtschnittgenerator 5 die Wellenlänge λ_2 erzeugen, und der Projektor 7 erzeugt die Wellenlänge λ_1 .

Sofern der Übergang vom Zwischenzustand B in den Ausgangszustand A mit Licht der Wellenlänge λ_3 erfolgen soll, erzeugt der Projektor 7 die Wellenlängen λ_1 und λ_3 oder die Wellenlängen λ_2 und λ_3 , jeweils komplementär zur Wellenlänge des Lichtschnittgenerators.

- 5 Das Aufnahmegefäß 1 kann auch als Durchfluss-System mit automatisierter Zu- und Abführung des Ausgangsmaterials 3 realisiert werden, um ausgedehnte Volumina zu prozessieren.

Ein oder mehrere Lichtdetektoren 8a, 8b (Kamera oder einfacher Fotodetektor; vgl. Fig. 1 und 2) können benutzt werden, um die Vorgänge bei der Prozessierung zu untersuchen, indem das transmittierte Licht der Anregung des Lichtschnitts und gegebenenfalls des Projektors 7 gemessen wird. Hierbei können der Lichtschnittgenerator 5 und gegebenenfalls auch der Projektor 7 weitere Lichtwellenlängen emittieren, die von den Anregungswellenlängen verschieden sind und nur der Beobachtung der Änderung der Materialeigenschaft des Ausgangsmaterials 3 dienen, zum Beispiel der Polymerisation.

15

Weiterhin kann eine Messung der emittierten Fluoreszenz von im Ausgangsmaterial 3 befindlichen, angeregten Fotoinitiatoren vorgesehen sein. Es können zum Beispiel die Intensität des gesamten transmittierten oder emittierten Lichts über einen Einzelphotodetektor gemessen und / oder die orts aufgelöste Intensität über eine Kamera aufgezeichnet werden. Die Detektoren können über vorgesetzte Filter oder Spektrographen selektiv nur bestimmte Lichtwellenlängen des Projektors 7, des Lichtschnittgenerators 5 oder der Licht emittierenden, angeregten Fotoinitiatoren messen.

20

Die Auswertung der gesamten oder orts aufgelösten Intensitäten kann eine Regelschleife steuern, welche die Intensität des Lichtschnittgenerators, die Intensität und Bildausgabe des Projektors, die Zeitsteuerung der Belichtungssequenz sowie die Verschiebung des Lichtschnitts innerhalb des Aufnahmegefäßes 1 beeinflusst. Hierfür ist eine Steuereinrichtung 9 vorgesehen, die gemäß Fig. 1 an die Lichtquelle 5 und den Projektor 7 koppelt.

25

Als Lichtquelle 5 kann eine Laserlichtquelle genutzt werden, zum Beispiel ein pulsbarer Single-Mode-Diodenlaser (Fabrikat: IBEAM SMART, Toptica Photonics AG, DE) mit einer Wellenlänge von 375nm und einer Ausgangsleistung im Dauerstrichbetrieb von max. 70mW, der Laserstrahldurchmesser beträgt 1.3mm (@ 1/e²). Eine asphärische POWELL Linse (Auffächerungswinkel 30°, N-BK7, Edmund Optics GmbH, DE) dient zur Umformung des Laserstrahls in eine divergierende Laserlinie. Eine direkt dahinter angeordnete plankonvexe Zylinderlinse

35

derlinse mit langer Brennweite ($f = 300.00$ mm, N-BK7, Thorlabs GmbH, DE) und senkrechter Orientierung zur Auffächerungsebene generiert in einem Ausführungsbeispiel eine Strahl-
taille mit einem Durchmesser von etwa $d=100\mu\text{m}$ an der Position des Gefäßes mit dem Aus-
gangsmaterial im Abstand von 30cm von dieser Linse. Eine plankonvexe Zylinderlinse ($f =$
5 150.00 mm, N-BK7, Thorlabs GmbH, DE) im Abstand der einfachen Brennweite zur
POWELL Linse kollimiert die divergierende Laserlinie und sorgt für einen annähernd paralle-
len Strahlenverlauf entlang der optischen Achse, die Höhe des Lichtschnitts nach der Kollimierung beträgt ca. 8.5cm. Vor dem Gefäß ist eine weitere Zylinderlinse der Brennweite ($f =$
10 100.00 mm, N-BK7) flexibel positioniert, welche den Strahlenverlauf in einen zulaufenden
Lichtschnitt überführt, welche den Intensitätsabfall durch das Lambert-Beersche Absorptionsgesetz innerhalb des Gefäßes vermindert. Die nutzbare Höhe des Lichtschnitts im Bereich des Gefäßes durch die Fokussierung liegt bei etwa 2cm.

Für eine Umformung eines Laserstrahls in eine divergierende Laserlinie kann alternativ zur
15 POWELL Linse auch ein geeignet angeordneter rotierender Polygonspiegel oder ein Galvoscan-
ner verwendet werden. Prinzipiell ist es auch möglich, anstelle des Lasers eine Licht-
quelle zu verwenden, die auf einer LED (Lichtemittierende Diode) oder einer thermischen
Lichtquelle basiert.

20 Als Bildprojektor oder Projektor 7 kann ein DMD (Digital Micromirror Device der Firma Texas
Instruments) basierender Projektor (Fabrikat: ACER X138WH, Acer Group, Taiwan) mit einer
Auflösung von 1280 x 720 Pixeln und 3300 Ansi Lumen verwendet werden. Die Projektions-
optik wurde ersetzt durch ein Projektionsobjektiv mit 90mm Brennweite (Braun Ultralit 2,4
/ 90, Braun Photo Technik GmbH, Deutschland), welches ein scharfes Abbild innerhalb des
25 Gefäßes generiert. Zur Wellenlängenselektion dient ein vorgesetztes Filterglas (GG475,
Schott AG, Deutschland). Die Ansteuerung des Projektors 7 erfolgt über ein HDMI-Interface.

Als Aufnahmegefäß 1 kann zum Beispiel eine Großküvette aus optischem Glas (Innenmaße:
30mm x 30mm x 30mm, Hellma GmbH & Co. KG, DE) mit transparenten, planen Eintritts-
30 fenstern verwendet werden.

In den Fig. 3a bis 3c zeigen schematische Darstellungen für eine Anordnung mit Aufnahme-
gefäß 1, in welchem das Arbeitsvolumen 2 mit dem hierin aufgenommenen Ausgangsmate-
rial 3 zum optischen Bearbeiten angeordnet ist. Es ist eine Anordnung von Lichtquellen 30
35 vorgesehen. Die Lichtquellen 30 (Lichtgeneratoren für Erzeugung des Lichtschnitts 31), die

dem Einstrahlen des Lichts erster Wellenlänge (Lichtschnitt) dienen, sind benachbart zum Aufnahmegefäß 1 angeordnet, insbesondere auf gegenüberliegenden Seiten. Bei der Ausgestaltung nach Fig. 3c ist die Anordnung von Lichtquellen 30 um das Aufnahmegefäß 1 mit dem Arbeitsvolumen 2 drehbar angeordnet, was mittels Pfeilen 32 schematisch gezeigt ist.

5

Zwei oder mehrere der Lichtquellen 30 können benutzt werden, die von unterschiedlichen Seiten des Aufnahmegefäßes 1 in das Arbeitsvolumen 2 einstrahlen und mittels Überlagerung von Teilstrahlen den Lichtschnitt 31 generieren, also das jeweilige Schichtteilvolumen bestrahlen, in welche dann die Projektion 33 hinein erfolgt..

10

Der Lichtschnitt 31 für das jeweils gerade bestrahlte Schichtteilvolumen ergibt sich durch die Aufsummierung der Einzeleinstrahlungen von den Lichtquellen 30 unter verschiedenen Einstrahlwinkeln. Um eine homogene Intensitätsverteilung des Lichtschnitts 31 mittels Überlagerung des Lichts von zwei oder mehrere Lichtquellen zu erzielen, können die Einzeleinstrahlungen anstelle einer homogenen Intensitätsverteilung eine gaußförmige oder eine angepasste inhomogene Intensitätsverteilung aufweisen.

15

Bei einer weiteren Ausgestaltung nach Fig. 4 werden zwei oder mehrere Lichtschnitte 40 (Schichtteilvolumen) generiert, die unter einem Winkel in das Aufnahmegefäß 1 einfallen. Ein oder mehrere Projektionen 41 von Projektoren (zur Vereinfachung nicht gezeigt in Fig. 4) erzeugen in einer schrägen Fokusebene scharfe Abbildungen innerhalb der einzelnen Lichtschnitte 40. Hierdurch kann eine Prozessierung mehrerer Schichtteilvolumen gleichzeitig erfolgen.

20

Bei den Ausgestaltungen nach den Fig. 3a bis 3c, 4 kann das Aufnahmegefäß 1 durch den Lichtschnitt 31, 40 bewegt werden, oder der Lichtschnitt 31, 40 bei fester Position des Aufnahmegefäßes 1 verschoben werden, um das Arbeitsvolumen 2 kontinuierlich und schließlich vollständig zu prozessieren, indem dessen Schichtteilvolumen nacheinander optisch bearbeitet werden.

25

30

Fig.5 zeigt schematische Darstellungen für eine weitere Anordnung mit Aufnahmegefäß 1. Sowohl ein Lichtschnitt 50 der ersten Wellenlänge als auch ein Projektorbild 51 der zweiten Wellenlänge werden mittels eines Projektionsgeräts 52 erzeugt und dann auf das Aufnahmegefäß 1 eingestrahlt. Eine Anordnung von Lichtreflexionselementen 53, insbesondere Spiegeln, sorgt für die Abspaltung des Lichtschnitts 50 aus einer Strahlachse des Projekti-

35

onsgerätes 52 und die Einstrahlung des Lichtschnitts 50 quer zum Projektionsbild 51 in das Aufnahmegefäß 1.

In einer Ausführungsform kann das Aufnahmegefäß 1 bewegt werden, um den Lichtstrahl
5 durch das Arbeitsvolumen 2 zu bewegen. Das Projektorbild 51 wird mittels einer variablen Fokuso-
ptik innerhalb des Lichtschnitts 50 scharf abgebildet. In einer weiteren Ausgestaltung
bleibt das Aufnahmegefäß 1 unbewegt, und der Lichtschnitt 50 wird bewegt, indem ein Dis-
playelement des Projektionsgerätes 52, zum Beispiel eine LCD- oder ein DMD-Display, auf-
geteilt wird in einen zentralen Bereich 54, der das Projektorbild 51 erzeugt, und in zwei seit-
10 lich davon gelagerte Bereiche 55, die den Lichtschnitt 50 erzeugen. Hierzu werden Pixel des
Displayelements mittels Steuerung der optischen Transmission oder Reflexion des Display-
elements so angesteuert, um eine seitliche Verschiebung des Lichtschnitts 50 zu realisieren.
Hierbei werden ein zentraler Bereich des Displayelements mit der ersten Wellenlänge und
äußeren Bereiche des Displayelements mit der zweiten Wellenlänge bestrahlt.

15

Fig. 6 zeigt eine schematische Darstellung einer weiteren Anordnung zum optischen Bear-
beiten des Ausgangsmaterials 3 im Aufnahmegefäß 1. Fig. 7 zeigt eine schematische Teil-
darstellung der Anordnung aus Fig. 6.

20 Ein Lichtschnitt 60 wird in einer horizontalen Ebene 61 mittels eines Laserstrahls 62 gene-
riert, der von oben in ein für den Laserstrahl 62 optisch transparentes Tauchrohr 63 eintritt
und mittels eines motorgetriebenen, rotierenden Spiegels 64 in das Aufnahmegefäß 1 mit
dem Ausgangsmaterial 3 umgelenkt wird. Mittels Rotation entsteht der Lichtschnitt 60 der
ersten Wellenlänge. Durch einen Boden 65 des Aufnahmegefäßes 1 wird Projektorlicht 66
25 zweiter Wellenlänge eingestrahlt, um ein Projektorbild 67 in die horizontale Ebene 61 des
Lichtschnitts 60 scharf abzubilden.

Das Tauchrohr 63 ist nach unten geschlossen. Der motorgetriebene, rotierende Spiegel 64
sowie der Laserstrahlweg 62 sind vom Ausgangsmaterial 3 im Aufnahmegefäß 1 getrennt.
30 Für die Prozessierung des Ausgangsmaterials 3 wird das Tauchrohr 63 hoch oder runter
bewegt, wodurch die horizontale Ebene des Lichtschnitts 60 nach oben oder nach unten
verschoben wird.

Nachfolgend werden weitere Aspekte des Verfahrens zum optischen Bearbeiten des Aus-
35 gangsmaterials 3 erläutert.

Die lokale Polymerisation des Ausgangsmaterials 3, vermittelt über die Lichtanregung der Fotoinitiatoren, erfolgt durch ein sequentielles Verfahren, bei dem eine Prozessierung Schicht für Schicht im freien Volumen innerhalb des Aufnahmegefäßes 1 erfolgt. Zunächst ist
5 hierfür eine Zerlegung des gewünschten, dreidimensionalen Objektes in einzelne Schichtbilder mit definiertem Rasterabstand vorgesehen (Slicing). Mittels Überlagerung des Lichtschnitts von der Lichtquelle 5 und des jeweiligen Schnittbildes des Projektors 7 erfolgt die Anregung der Dual-Color-Fotoinitiatoren vom Grundzustand A in die aktive Form C, welche die lokale Polymerisation des Ausgangsmaterials 3 initiiert. Nach Ablauf der Belichtungssequenz für die aktuelle Schicht (Schichtteilvervolumen) wird durch Bewegung des Aufnahmegefäßes 1 und / oder des Lichtschnitts und des Projektors 7 gemeinsam die Lichtanregung definiert verschoben und die Belichtung einer benachbarten oder beliebigen anderen Schicht (anderes Schichtteilvervolumen) vorgenommen. Die Translation der Projektionsanordnung oder des Aufnahmegefäßes 1, die zum Beispiel mittels geeigneter Schrittmotoren realisiert werden kann, kann gegebenenfalls unterhalb des Tailen-Durchmessers des Lichtschnitts liegen,
15 um eine Erhöhung der Auflösung in Bewegungsrichtung zu erzeugen.

Für den zeitlichen Ablauf einer Belichtungssequenz für jedes Schichtteilvervolumen gibt es verschiedene Optionen, die je nach Ausgangsmaterial und den Eigenschaften der verwendeten
20 Dual-Color-Fotoinitiatoren zur Anwendung kommen:

Variante (1): Gleichzeitiges Einschalten beider Lichtquellen (λ_1 , λ_2 und gegebenenfalls λ_3) mit definierten, gegebenenfalls unterschiedlichen Intensitäten für eine vorgegebene Belichtungszeitspanne. Nach dem gleichzeitigen Abschalten beginnt die Translation des Systems zur nächsten Schicht.

25 Variante (2): Die erste Lichtquelle 5 (Lichtschnittgenerator) und der Projektor 7 werden zeitlich gepulst betrieben. Die Anzahl, Dauer und Intensität der Impulse sowie der Zeitversatz zwischen den Startflanken beider Impulse können im Rahmen einer definierten Belichtungszeit pro Schichtteilvervolumen frei eingestellt werden. Bei der Verwendung mehrerer Impulse innerhalb der Prozessierung eines Schichtteilvervolumens können jedem Impuls ein unterschiedliches Bild des Projektors 7 zugeordnet werden. Nach der Belichtungszeit erfolgt die Translation zum nächsten Schichtteilvervolumen.
30

Variante (3): Die erste Lichtquelle 5 (Lichtschnittgenerator) bleibt immer eingeschaltet, während das Projektorbild nach einer definierten Belichtungszeit mit der Translation der Anordnung zur nächsten Schicht, umgeschaltet wird.

35 Variante (4): Physikalisch mögliche Kombinationen der Varianten (1), (2) und (3).

Das hier vorgestellte volumetrische Verfahren generiert das gewünschte räumliche Objekt durch Polymerisation des Ausgangsmaterials 3 innerhalb des Arbeitsvolumens 2 schichtweise, jedoch lässt es den grundlegenden Aufbau des Ausgangsmaterials 3 unverändert. Dies ist ein Vorteil gegenüber Verfahren, die das Ausgangsmaterial nur in voneinander getrennten Schichten prozessieren können. Durch die schichtweise Belichtung ist das Verfahren prinzipiell schneller als die Polymerisation des Ausgangsmaterials Punkt für Punkt.

Aufgrund der Aufweitung des Lichtschnittes lässt sich ein größerer Bereich des Arbeitsvolumens 2 gleichzeitig und damit schneller prozessieren, was jedoch einen Verlust an Auflösung bedingt.

Die Erzeugung des Lichtschnittes mittels der Lichtquelle 5 bedingt eine Kopplung zwischen dem minimalen Taillendurchmesser und der Divergenz des Strahlbündels, die zu einer Aufweitung des Lichtstrahls zum Rand des Volumens führt. Dadurch lässt sich entweder eine homogene, mittlere Auflösung entlang des Lichtschnittes erzeugen oder eine höhere Auflösung im Bereich der Taille mit stärkerem Abfall zu den Rändern generieren.

Da im zeitlichen Ablauf eine frühere Prozessierung von Schichten ermöglicht ist, die zum Projektor 7 weiter entfernt liegen, wird eine mögliche Beeinflussung der Lichtpropagation des Projektorbildes (Licht zweiter Wellenlänge) durch schon ausgehärtete Schichten vermieden.

Aufgrund der Verschiebung des Lichtschnitts wird jedes Schichtteilvervolumen nur einmal prozessiert und erhält damit eine definierte Energiedosis. Dadurch wird die Polymerisierung von ungewünschten Gebieten, bei der Verwendung von nicht-idealen Dual Color Fotoinitiatoren, effektiv vermindert.

Ist die Kinetik der durch die Lichteinstrahlung ausgelösten Reaktionen der Fotoinitiator-Moleküle und des Ausgangsmaterials 3 hinreichend bekannt, erlaubt die gezielte Zeitsteuerung der Lichtimpulse zueinander und geeignete Wahl der Intensitäten beider Wellenlängen eine höhere Diskriminierung zwischen gewünschter und ungewünschter Polymerisation im Arbeitsvolumen 2. Hierdurch lassen sich Artefakte und eine Degradation der Auflösung für nicht-ideale Dual-Color-Fotoinitiatoren vermindern.

Die in der vorstehenden Beschreibung, den Ansprüchen sowie der Zeichnung offenbarten Merkmale können sowohl einzeln als auch in beliebiger Kombination für die Verwirklichung der verschiedenen Ausführungen von Bedeutung sein.

Ansprüche

1. Verfahren zum Bearbeiten eines optisch reaktiven Materials, mit:

- Bereitstellen eines Ausgangsmaterial (3), welches optisch reaktiv ist und ein Arbeitsvolumen (2) ausfüllt; und
- optisches Bearbeiten des Ausgangsmaterials (3) in dem Arbeitsvolumen (2) mittels Einstrahlen von Licht einer ersten Wellenlänge und Licht einer zweiten Wellenlänge, die von der ersten Wellenlänge verschieden ist, wobei das Licht erster Wellenlänge und das Licht zweiter Wellenlänge von einer Beleuchtungseinrichtung bereitgestellt werden und mittels des optischen Bearbeitens wenigstens eine Materialeigenschaft des Ausgangsmaterials verändert wird und das optische Bearbeiten Folgendes umfasst:
 - Bestrahlen eines ersten Schichtteilmolumens des mit dem Ausgangsmaterial (3) ausgefüllten Arbeitsvolumens (2) mit dem Licht erster Wellenlänge;
 - Bestrahlen des ersten Schichtteilmolumens des Arbeitsvolumens (2) mit dem Licht zweiter Wellenlänge, wobei das Licht zweiter Wellenlänge hierbei mittels einer Projektionseinrichtung (7) nur das erste Schichtteilmolumen ganz oder teilweise erfassend in das Arbeitsvolumen (2) projiziert wird;
 - Bestrahlen eines zweiten Schichtteilmolumens des mit dem Ausgangsmaterial (3) ausgefüllten Arbeitsvolumens (2), welches von dem ersten Schichtteilmolumen verschieden ist, mit dem Licht erster Wellenlänge;
 - Bestrahlen des zweiten Schichtteilmolumens des Arbeitsvolumens (2) mit dem Licht zweiter Wellenlänge, wobei das Licht zweiter Wellenlänge hierbei mittels der Projektionseinrichtung (7) nur das zweite Schichtteilmolumen ganz oder teilweise erfassend in das Arbeitsvolumen (2) projiziert wird; und
 - Wiederholen der vorangehenden Schritte zur schichtweisen optischen Bearbeitung des Ausgangsmaterials (3) in dem Arbeitsvolumen (2) bis ein zu bearbeitendes Volumen des Ausgangsmaterials (3), welches das Arbeitsvolumen (2) ganz oder teilweise erfasst, optisch bearbeitet ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass mit Hilfe einer Steuereinrichtung (9), die mit einer oder mehreren Lichtquellen (5) zum Bereitstellen des Lichts erster und des Lichts zweiter Wellenlänge sowie der Projektionseinrichtung (7) verbunden ist, bestimmt wird, ob das erste oder das zweite Schichtteilmolumen bestrahlt werden, und die Projektionseinrichtung (7) in Abhängigkeit hiervon angesteuert

wird, das Licht zweiter Wellenlänge in das erste oder das zweite Schichtteilvolumen zu projizieren.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Licht
5 erster Wellenlänge und das Licht zweiter Wellenlänge zumindest für einen zeitlichen Überlappungszeitraum gleichzeitig gemeinsam in das erste oder das zweite Schichtteilvolumen eingestrahlt werden.
4. Verfahren nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das erste und das zweite Schichtteilvolumen in dem Arbeits-
10 volumen (2) benachbarte Schichtteilvolumen des Ausgangsmaterials (3) bilden.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass das erste und das zweite Schichtteilvolumen einer der folgenden Konfigurationen von Teilvolumen entsprechend gebildet werden: randseitig überlappend, randseitig aneinanderstoßend und
15 randseitig beabstandet zueinander.
6. Verfahren nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass auf das Ausgangsmaterial (3) im Arbeitsvolumen (2) das
20 Licht erster Wellenlänge entlang einer ersten Einstrahlrichtung und das Licht zweiter Wellenlänge entlang einer zweiten Einstrahlrichtung eingestrahlt werden, die quer zur ersten Einstrahlrichtung verläuft.
7. Verfahren nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Licht erster Wellenlänge und / oder das Licht zweiter
25 Wellenlänge als gepulstes Licht eingestrahlt werden.
8. Verfahren nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Ausgangsmaterial (3) mittels des optischen Bearbeitens
30 entsprechend wenigstens eines Bearbeitungsverfahrens aus der folgenden Gruppe bearbeitet wird: Aushärten, Härten, Gelieren und Verflüssigen.
9. Verfahren nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zum Bestrahlen des ersten Schichtteilvolumens und zum Be-
35 strahlen des zweiten Schichtvolumens mit dem Licht erster Wellenlänge ein schicht-

förmiger Einstrahlbereich einer ersten Lichtquelle, mit der das Licht erster Wellenlänge bereitgestellt wird, relativ zum mit dem Ausgangsmaterial (3) ausgefüllten Arbeitsvolumen (2) verlagert wird.

- 5 10. Verfahren nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das optische Bearbeiten des Ausgangsmaterials (3) mit Hilfe eines Lichtdetektors (8a; 8b) beobachtet wird.
- 10 11. Verfahren nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das mittels des optischen Bearbeitens in dem Ausgangsmaterial (3) eine polychrome Mehrphotonen-Polymerisation ausgelöst wird, welche die Veränderung der wenigstens einen Materialeigenschaft des Ausgangsmaterials (3) bewirkt.
- 15 12. Verfahren nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Licht erster Wellenlänge zunächst in dem ersten Schichtteilvolumen und dann in dem zweiten Schichtteilvolumen mit einer in Bezug auf mindestens einen der folgenden Lichtparameter im Wesentlichen homogenen Verteilung eingestrahlt wird: Lichtintensität und Lichtfarbe.
- 20 13. Verfahren nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Licht zweiter Wellenlänge zunächst auf das erste Schichtteilvolumen und dann auf das zweite Schichtteilvolumen mit einer in Bezug auf mindestens einen der folgenden Lichtparameter nicht-homogenen Verteilung projiziert wird: Lichtintensität und Lichtfarbe.
- 25 14. Verfahren nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass beim Bestrahlen des ersten Schichtteilvolumens und / oder beim Bestrahlen des zweiten Schichtteilvolumens mit dem Licht erster Wellenlänge ein Schichtteilvolumen mit einer Schichtdicke von höchstens etwa 1 mm bestrahlt wird.
- 30 15. Vorrichtung zum Bearbeiten eines optisch reaktiven Materials, mit:
- einem Arbeitsvolumen (2), welches eingerichtet ist, ein Ausgangsmaterial (3) aufzunehmen, welches optisch reaktiv ist und das Arbeitsvolumen (2) ausfüllt;

- einer Beleuchtungseinrichtung, die eingerichtet ist, Licht einer ersten Wellenlänge und Licht einer zweiten Wellenlänge zum Einstrahlen auf das Arbeitsvolumen (2) mit dem Ausgangsmaterial (3) bereitzustellen; und
- einer Projektionseinrichtung (7), die eingerichtet ist, das Licht zweiter Wellenlänge beim Einstrahlen auf das mit dem Ausgangsmaterial (3) ausgefüllten Arbeitsvolumen (2) in ein Schichtteilvervolumen des Arbeitsvolumens (2) und nur das Schichtteilvervolumen ganz oder teilweise erfassend zu projizieren;

wobei die Beleuchtungseinrichtung und die Projektionseinrichtung (7) weiterhin eingerichtet sind, das Ausgangsmaterial (3) in dem Arbeitsvolumen (2) wie folgt optisch zu bearbeiten:

- Bestrahlen eines ersten Schichtteilvervolumens des mit dem Ausgangsmaterial (3) ausgefüllten Arbeitsvolumens (2) mit dem Licht erster Wellenlänge;
- Bestrahlen des ersten Schichtteilvervolumens des Arbeitsvolumens (2) mit dem Licht zweiter Wellenlänge, wobei das Licht zweiter Wellenlänge hierbei mittels einer Projektionseinrichtung (7) nur das erste Schichtteilvervolumen ganz oder teilweise erfassend in das Arbeitsvolumen (2) projiziert wird;
- Bestrahlen eines zweiten Schichtteilvervolumens des mit dem Ausgangsmaterial (3) ausgefüllten Arbeitsvolumens (2), welches von dem ersten Schichtteilvervolumen verschieden ist, mit dem Licht erster Wellenlänge;
- Bestrahlen des zweiten Schichtteilvervolumens des Arbeitsvolumens (2) mit dem Licht zweiter Wellenlänge, wobei das Licht zweiter Wellenlänge hierbei mittels der Projektionseinrichtung (7) nur das zweite Schichtteilvervolumen ganz oder teilweise erfassend in das Arbeitsvolumen (2) projiziert wird; und
- Wiederholen der vorangehenden Schritte zur schichtweisen optischen Bearbeitung des Ausgangsmaterials (3) in dem Arbeitsvolumen (2) bis ein zu bearbeitendes Volumen des Ausgangsmaterials (3), welches das Arbeitsvolumen (2) ganz oder teilweise erfasst, optisch bearbeitet ist.

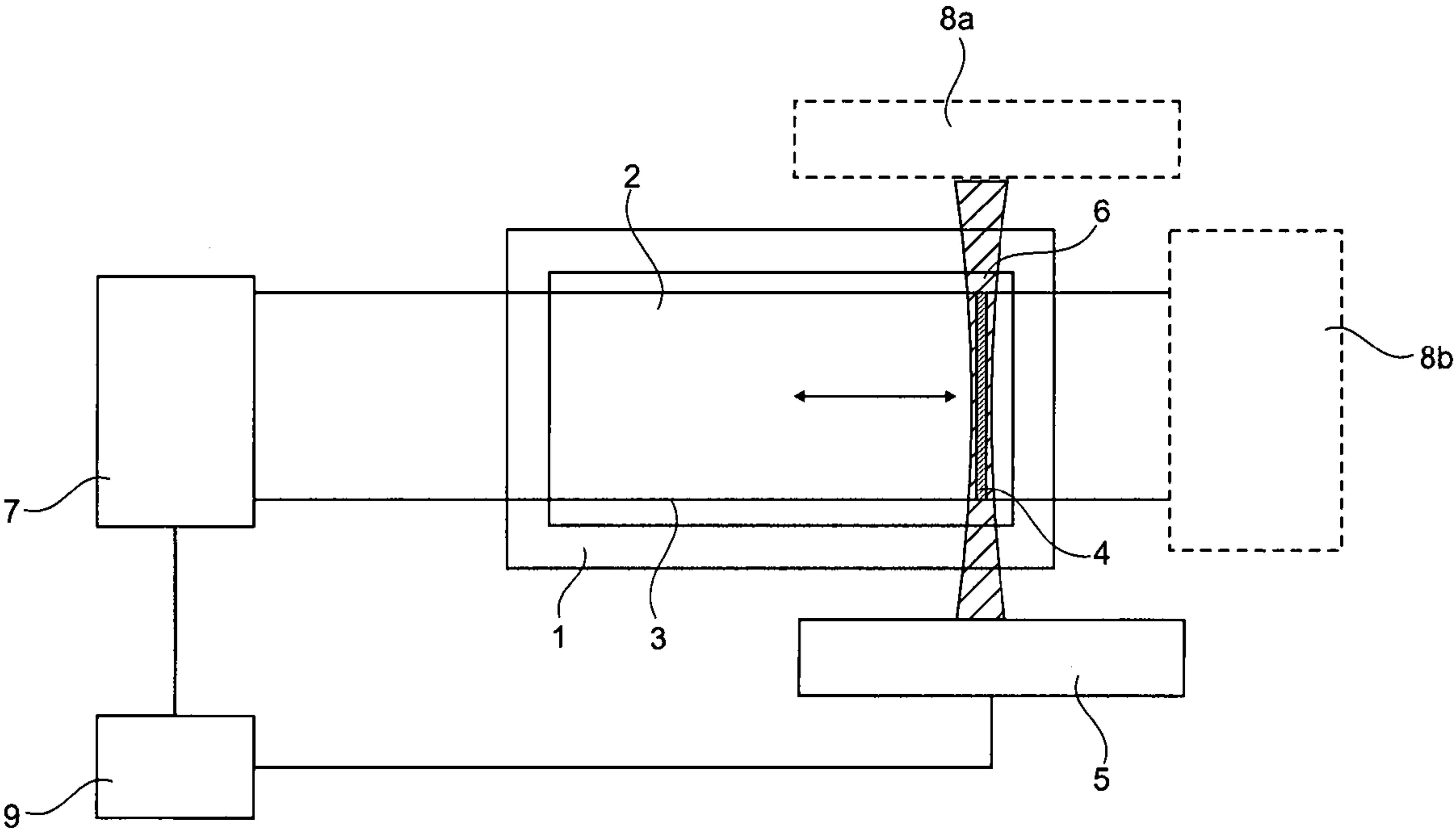


Fig. 1

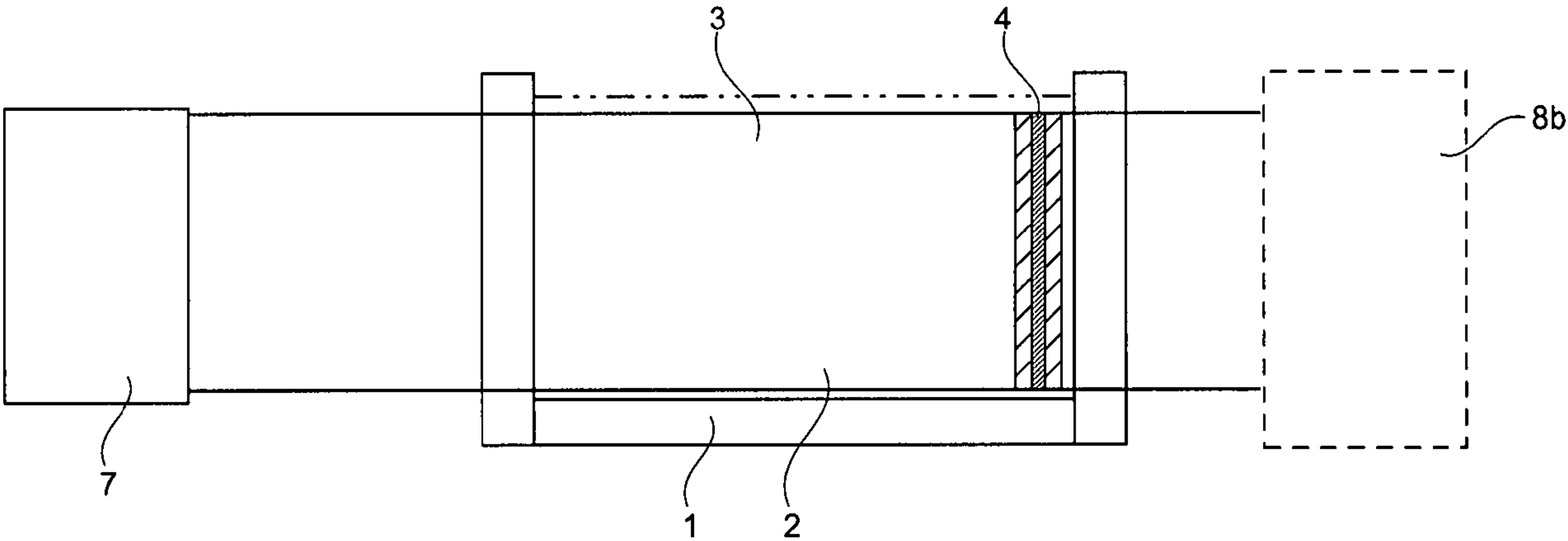


Fig. 2

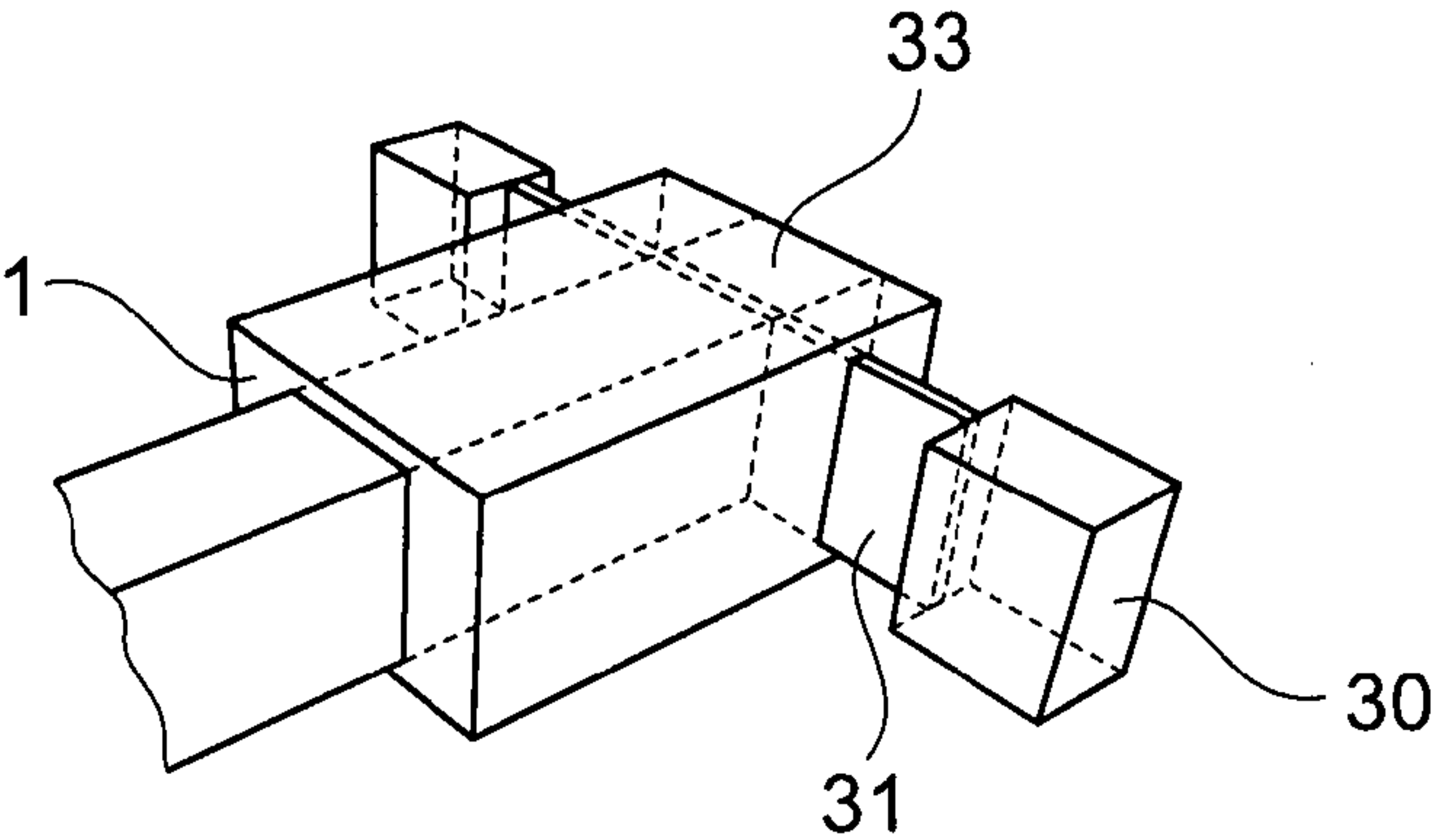


Fig. 3a

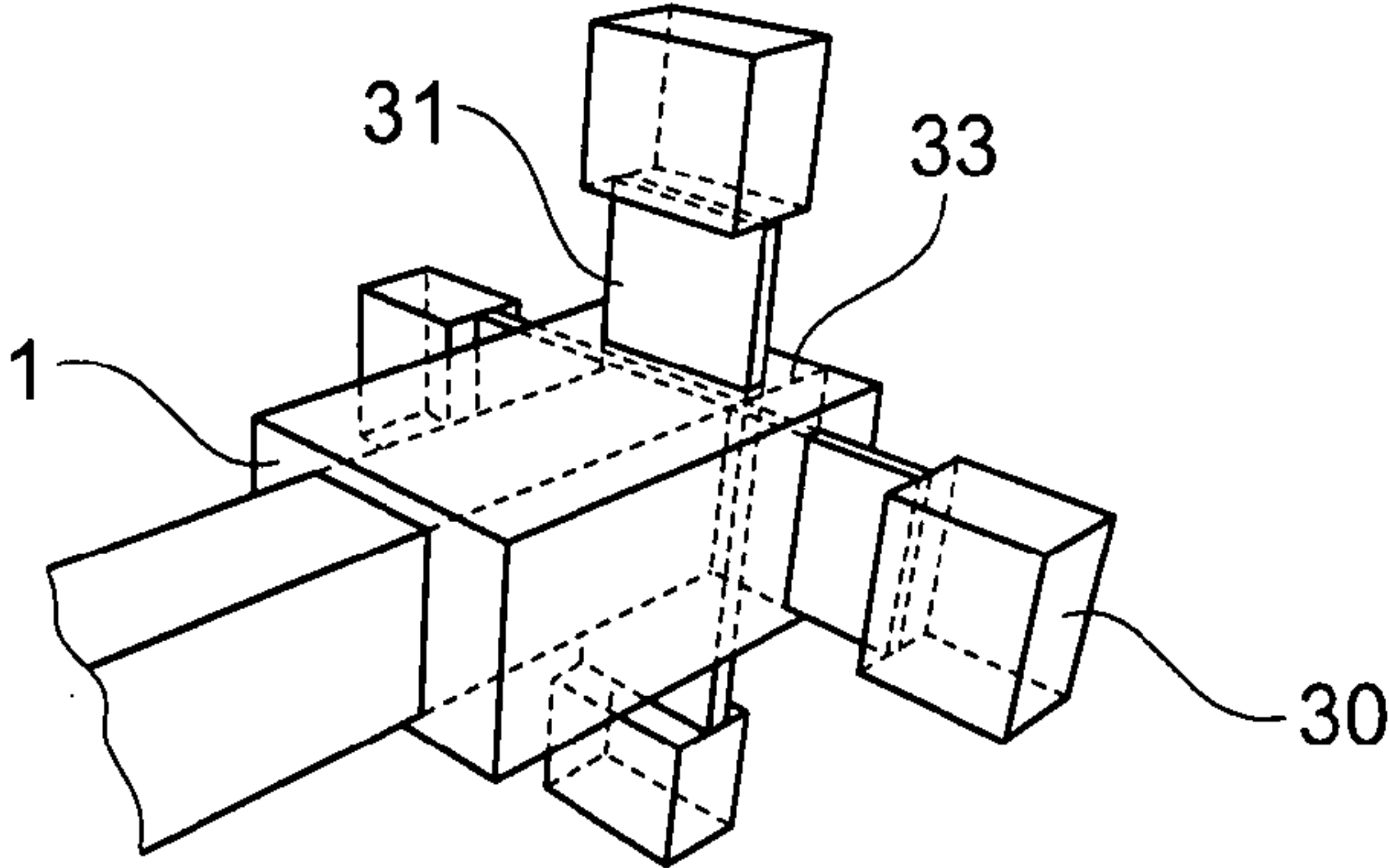


Fig. 3b

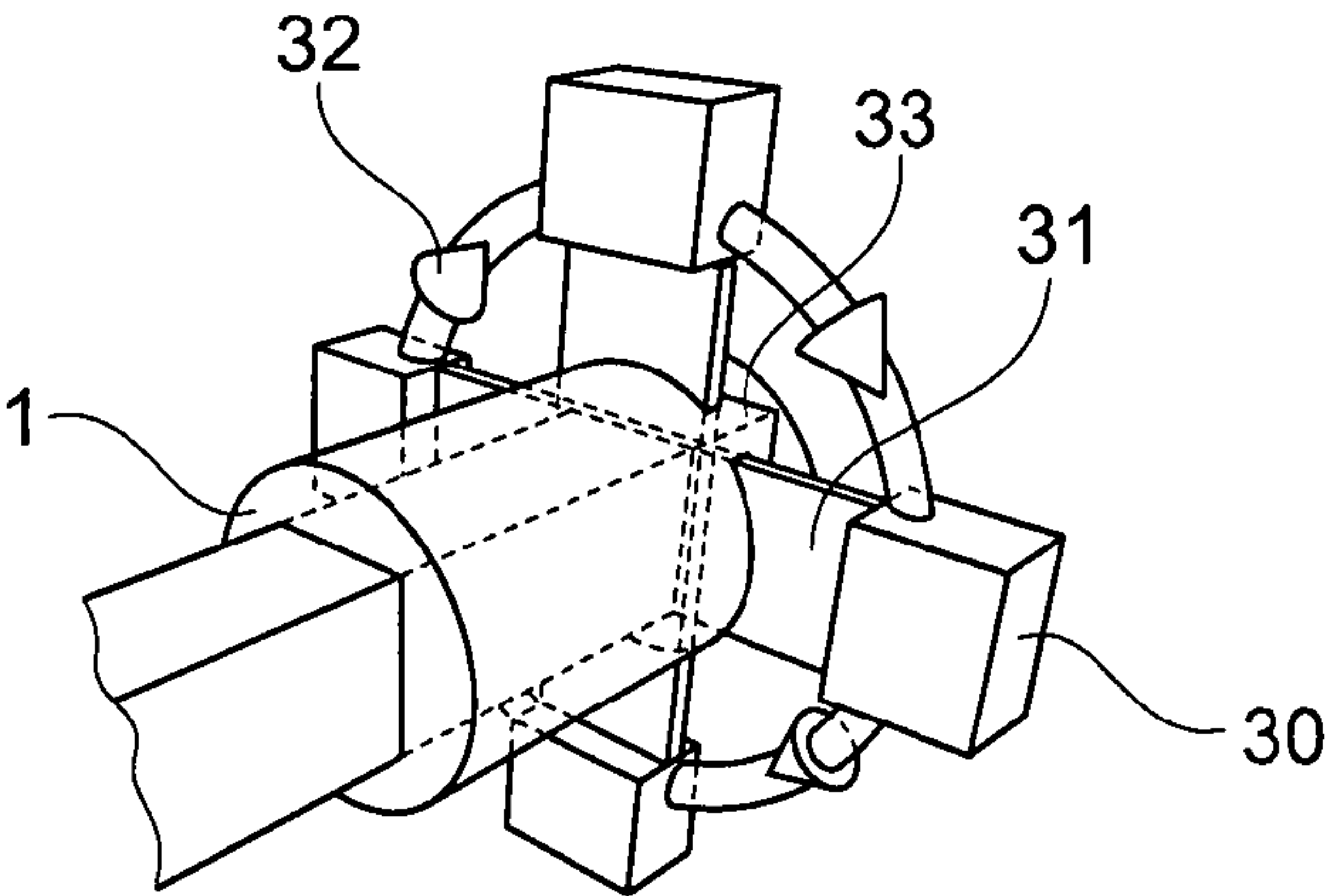


Fig. 3c

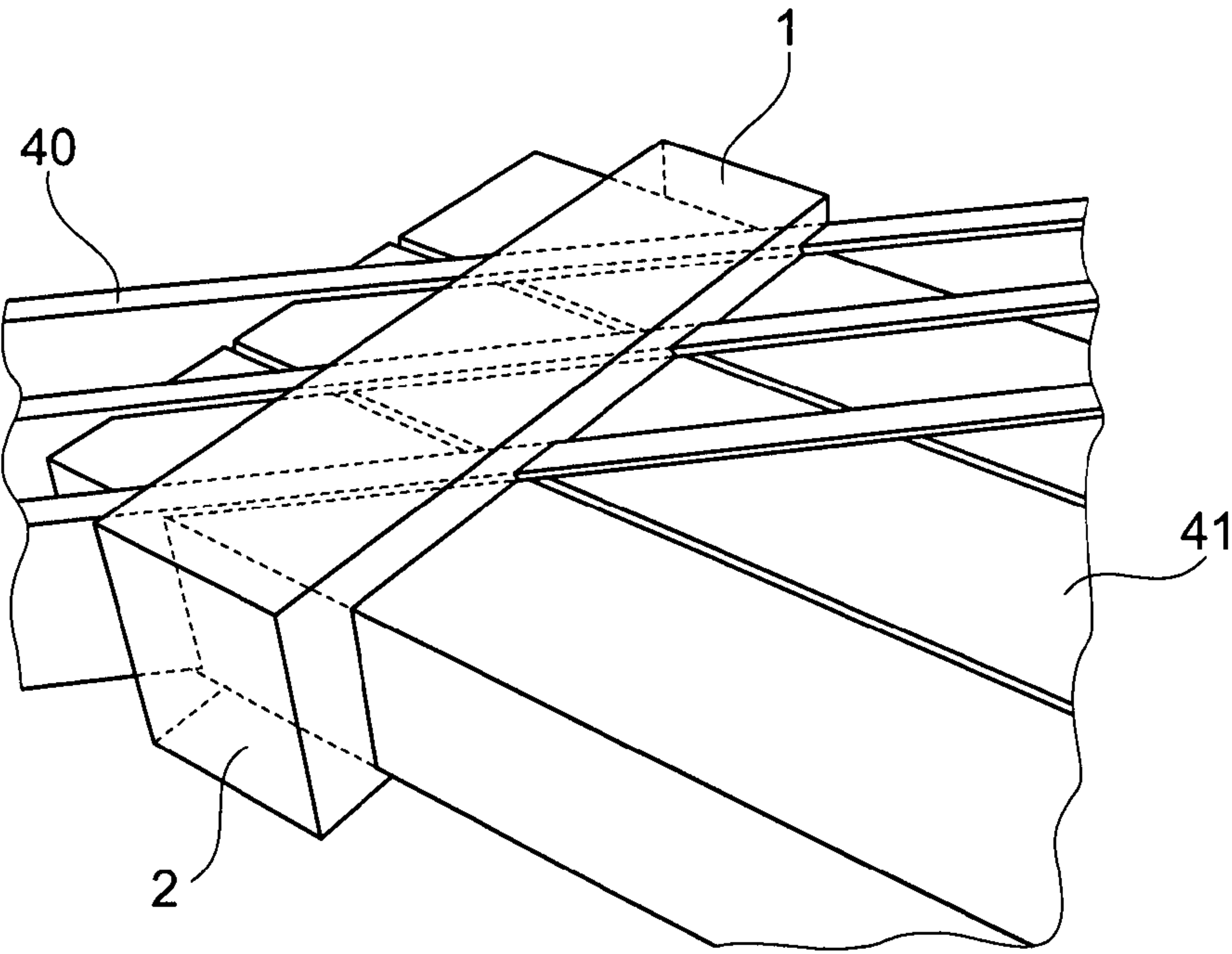


Fig. 4

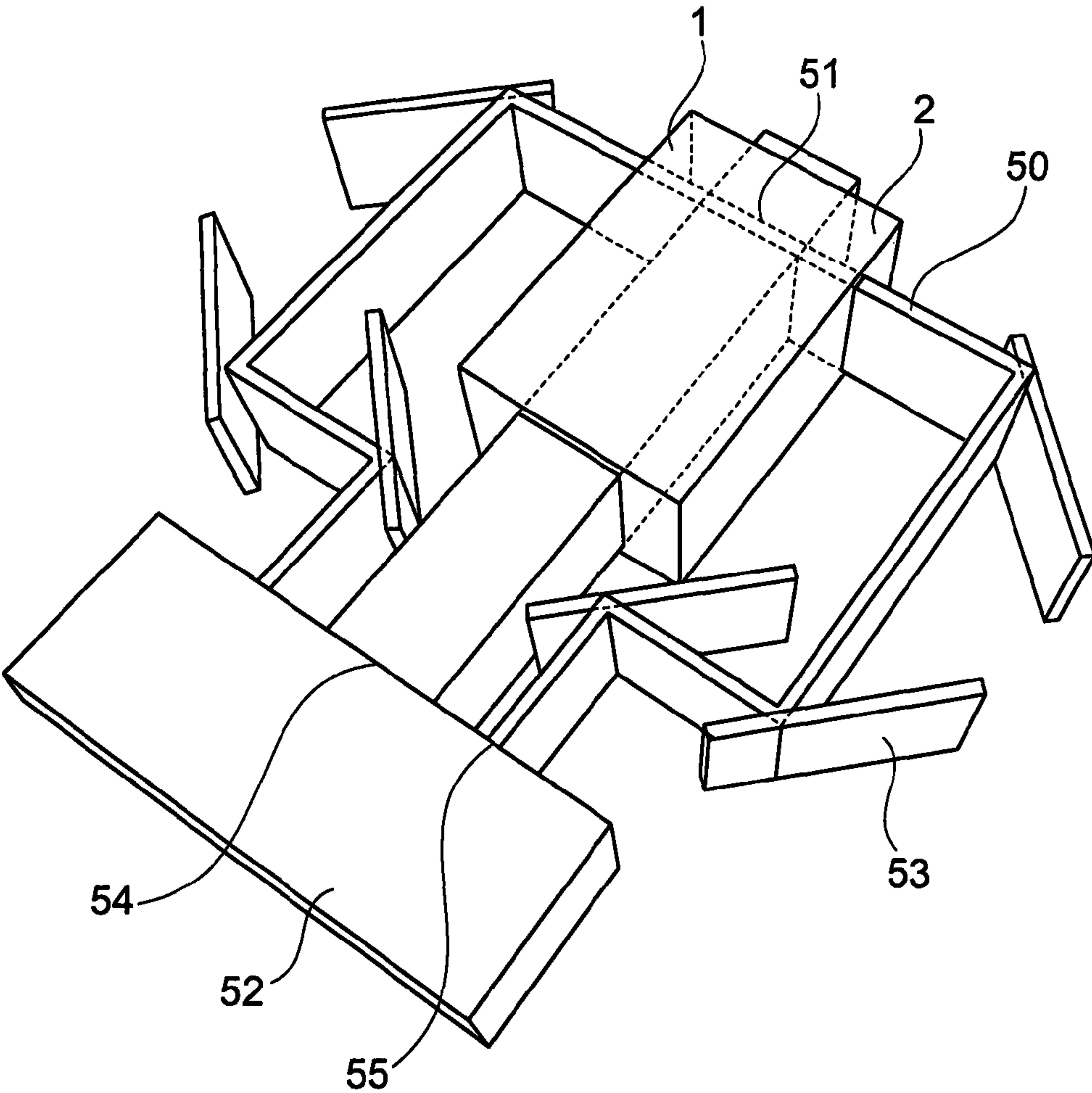


Fig. 5

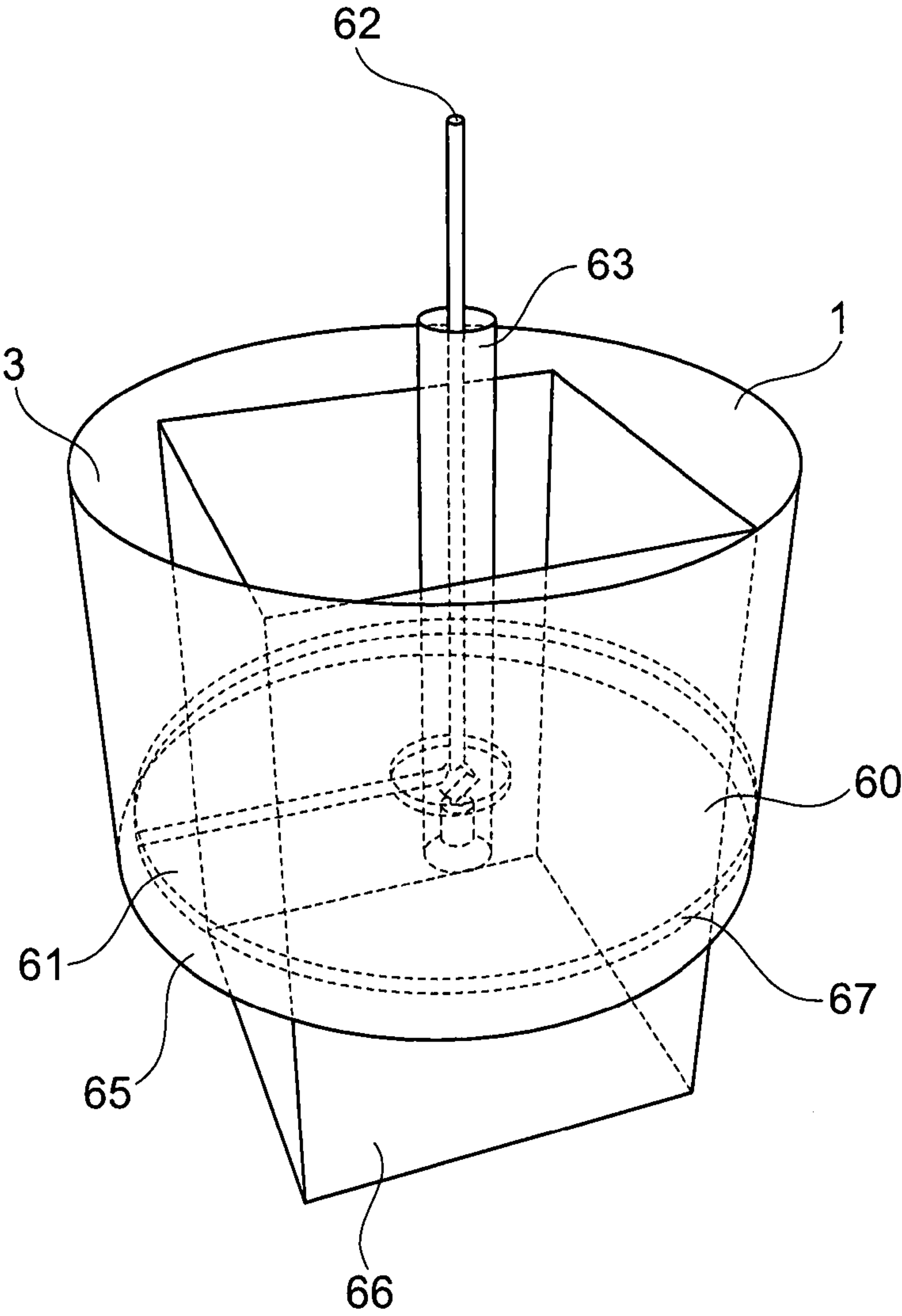


Fig. 6

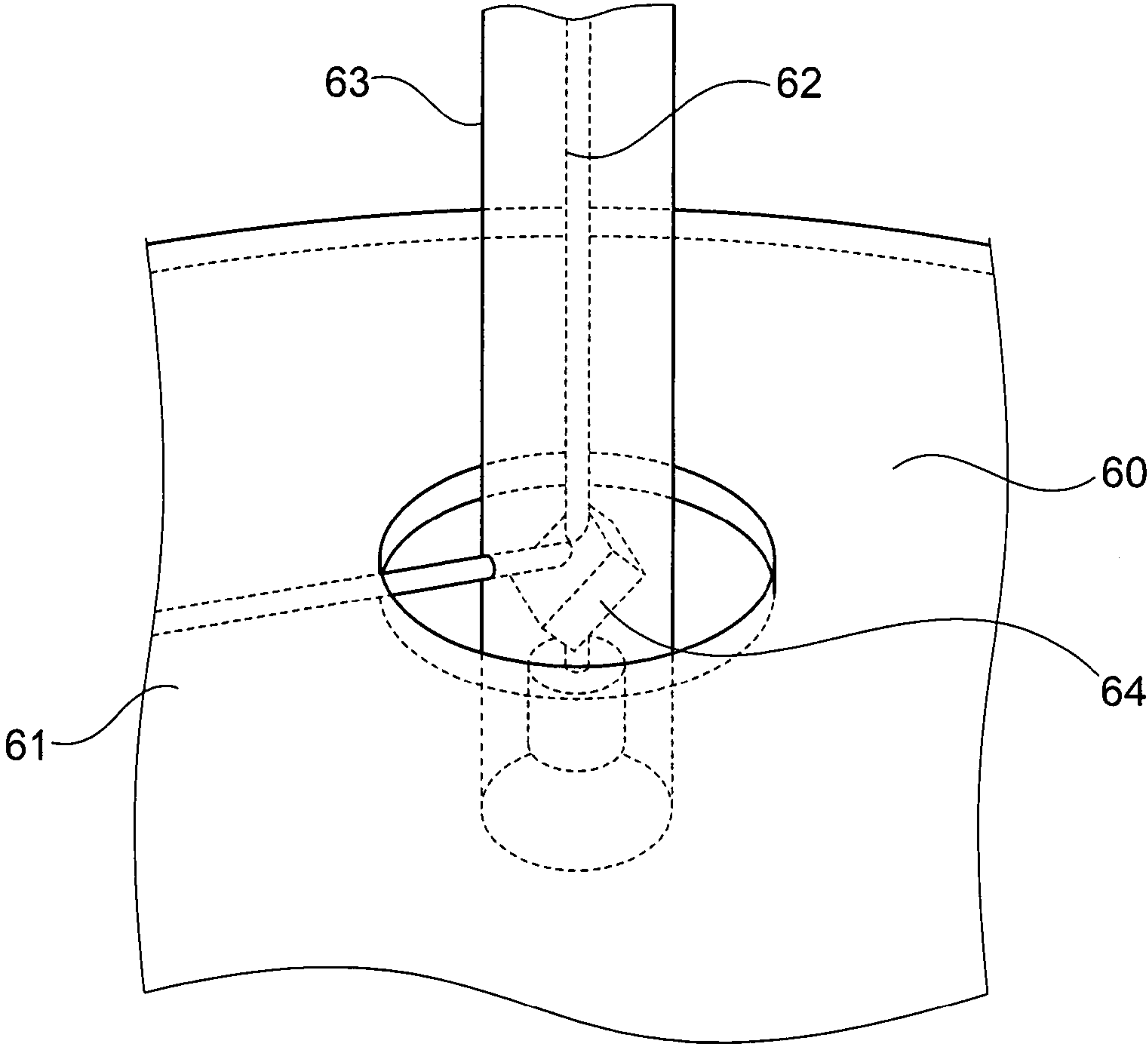


Fig. 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/DE2020/100952

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B29C 64/135(2017.01)i; B29C 64/277(2017.01)i; B33Y 10/00(2015.01)i; B33Y 30/00(2015.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

B29C; B33Y

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2019194798 A1 (FORD GLOBAL TECH LLC [US]) 10 October 2019 (2019-10-10) paragraph [0052] - paragraph [0053]; figure 2	1-15

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

- * Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
- “T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

09 February 2021

Date of mailing of the international search report

22 February 2021

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Wehr, Wolfhard

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/DE2020/100952

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
WO	2019194798	A1	10 October 2019	CN	112088082	A	15 December 2020
				DE	112018007235	T5	03 December 2020
				WO	2019194798	A1	10 October 2019

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. B29C64/135 B29C64/277 B33Y10/00 B33Y30/00 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) B29C B33Y		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 2019/194798 A1 (FORD GLOBAL TECH LLC [US]) 10. Oktober 2019 (2019-10-10) Absatz [0052] - Absatz [0053]; Abbildung 2 -----	1-15
☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche 9. Februar 2021		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts 22/02/2021
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Wehr, Wolfhard

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

PCT/DE2020/100952

WO 2019194798	A1	10-10-2019	CN	112088082	A	15-12-2020
			DE	112018007235	T5	03-12-2020
			WO	2019194798	A1	10-10-2019