



(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2015 212 153.4**

(22) Anmeldetag: **30.06.2015**

(43) Offenlegungstag: **05.01.2017**

(51) Int Cl.: **B29C 64/106 (2017.01)**  
**G01B 17/06 (2006.01)**

(71) Anmelder:

**Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der  
angewandten Forschung e.V., 80686 München, DE**

(72) Erfinder:

**Unamuno, Anartz, 01109 Dresden, DE; Klemm,  
Markus, 01129 Dresden, DE**

(74) Vertreter:

**Schoppe, Zimmermann, Stöckeler, Zinkler,  
Schenk & Partner mbB Patentanwälte, 81373  
München, DE**

(56) Ermittelte Stand der Technik:

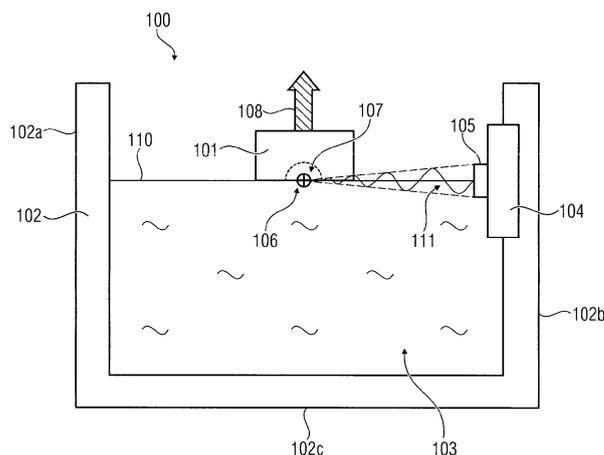
**CN 103 358 553 A**  
**JP 2001- 62 928 A**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

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

(54) Bezeichnung: **Druckvorrichtung zum Drucken einer dreidimensionalen Struktur**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Druckvorrichtung (100) zum Drucken einer dreidimensionalen Struktur (101), wobei die Druckvorrichtung (100) einen Behälter (102) zum Aufnehmen einer polymerisierbaren Flüssigkeit (103), und eine Ultraschall-Aussendevorrichtung (104) mit einer Ultraschallquelle (105) aufweist, wobei die Ultraschall-Aussendevorrichtung (104) ausgebildet ist, um Ultraschall in der polymerisierbaren Flüssigkeit (103) zu erzeugen, so dass der Ultraschall an einem Fokuspunkt (106) in der polymerisierbaren Flüssigkeit (103) ein lokales Maximum aufweist, wobei die polymerisierbare Flüssigkeit (103) um den Fokuspunkt (106) herum verhärtet und einen ausgehärteten Abschnitt (107) der dreidimensionalen Struktur (101) bildet, und wobei die Druckvorrichtung (100) derart ansteuerbar ist, dass eine Relativbewegung zwischen dem Fokuspunkt (106) und dem ausgehärteten Abschnitt (107) erzeugbar ist, um die dreidimensionale Struktur (101) zunehmend anwachsend auszubilden.



## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Druckvorrichtung zum Drucken einer dreidimensionalen Struktur mit den Merkmalen von Anspruch 1, sowie ein Verfahren zum Drucken einer dreidimensionalen Struktur gemäß den Merkmalen von Anspruch 13.

**[0002]** Die 3D Drucktechnologie ist ein gängiges Verfahren beim sogenannten Rapid Prototyping sowie bei additiven Herstellungsverfahren im Allgemeinen. Die meisten derzeit erhältlichen 3D Drucker arbeiten nach dem Prinzip des sogenannten Fused Deposition Modeling (FDM; deutsch: Schmelzschichtung). Dieses Verfahren benötigt einen dreidimensional verfahrenbaren Objektträger um alle Positionen zu erfassen, an denen Material aufgetragen werden muss (3D Raster). Auch die Einheit, die das Material aufbringt, kann dreidimensional verfahrbar sein. Das zu verarbeitende Material wird hierbei aufgeschmolzen und mit einer entsprechenden Düse Schicht für Schicht übereinander aufgetragen. Unterschiedlichste Produkte sind sowohl für den industriellen als auch für den Endkundenmarkt verfügbar.

**[0003]** Diese FDM-Verfahren sind gut zur Erstellung von Prototypen geeignet. Abhängig von der Geometrie und der Größe des herzustellenden Prototyps kann dessen Fertigung jedoch mehrere Stunden, bis hin zu mehreren Tagen benötigen.

**[0004]** Die vorliegende Erfindung schlägt deshalb ein Verfahren bzw. eine Druckvorrichtung zum Drucken einer dreidimensionalen Struktur vor, bei der der Druckvorgang im Vergleich zu den oben genannten FDM-Verfahren erkennbar schneller durchführbar ist.

**[0005]** Ein gattungsgemäßes Verfahren ist in der WO 2014/126837 A2 gezeigt. In dieser Druckschrift wird ein Verfahren namens Continuous Liquid Interface Production (CLIP) beschrieben, bei dem Harz mithilfe eines ultravioletten Lasers polymerisiert wird. Das Harz befindet sich in flüssiger Form in einem Behälter, der einen licht- sowie gasdurchlässigen Boden aufweist. Entfernt von dem Behälter angeordnet befindet sich der UV-Laser, dessen ausgesendetes Licht über eine Spiegelprojektionsvorrichtung durch den lichtdurchlässigen Boden hindurch in das flüssige Harz geleitet wird. An den Stellen, an denen das UV Licht auftrifft, härtet das Harz aus. Die in der WO 2014/126837 A2 beschriebene Vorrichtung weist außerdem einen anfänglich im flüssigen Harz befindlichen Objektträger auf. Das UV-Licht trifft auf diesen Objektträger auf und härtet dort eine zweidimensionale Ebene des Harzes aus. Der Objektträger bewegt sich währenddessen nach oben, d. h. aus dem flüssigen Harz heraus, und bildet somit die dritte Dimension für den 3D Druck.

**[0006]** Diese 3D Druckverfahren weisen eine hohe Geschwindigkeit beim Drucken auf. Bei dem in der WO 2014/126837 A2 offenbarten Verfahren ist jedoch eine hohe Genauigkeit bei der Prozessführung von Nöten. So muss beispielsweise unterhalb des gasdurchlässigen Bodens, d. h. auf der dem flüssigen Harz abgewandten Außenseite des Bodens, stets eine bestimmte Menge eines bestimmten Gases vorrätig sein. Dieses Gas diffundiert durch den gasdurchlässigen Boden hindurch und bildet auf der gegenüberliegenden Seite, d. h. auf der dem flüssigen Harz zugewandten Seite des Bodens, eine sogenannte „Deadzone“. Innerhalb der Deadzone wirkt das durch den Boden diffundierte Gas als Polymerisationshemmer in dem flüssigen Harz und verhindert dort das Aushärten des Harzes.

**[0007]** Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung bestehende 3D Druckverfahren sowie 3D Druckvorrichtungen weiter zu verbessern.

**[0008]** Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Druckvorrichtung zum Drucken einer dreidimensionalen Struktur mit den Merkmalen von Anspruch 1 gelöst. Mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung können dreidimensionale Strukturen etwa 25 bis 100 Mal schneller als im herkömmlichen FDMA-Verfahren hergestellt werden. Die Verhärtung bzw. die Aushärtung der polymerisierbaren Flüssigkeit mittels Ultraschall kann außerdem sehr präzise erfolgen, da die Relativbewegung zwischen dem Fokuspunkt und dem ausgehärteten Abschnitt der dreidimensionalen Struktur sehr hochauflösend möglich ist. Mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung können dreidimensionale Strukturen im Mikrometer-Bereich, bis in den Nanometer-Bereich hinein, hergestellt werden. Da der Ultraschall direkt in der polymerisierbaren Flüssigkeit erzeugt wird, kann auf die Ausbildung einer Deadzone mittels eines gasförmigen Polymerisationshemmers verzichtet werden. Es besteht somit keine Notwendigkeit zur Bereitstellung eines gasdurchlässigen Behälterbodens. Die Prozessführung, d. h. das erfindungsgemäße Verfahren zum Drucken dreidimensionaler Strukturen wird somit vereinfacht. Auch der gesamte Aufbau der erfindungsgemäßen Vorrichtung wird damit einfacher und die Vorrichtung selbst kann in der Größe reduziert werden.

**[0009]** Die polymerisierbare Flüssigkeit kann ein durch Ultraschall aushärtbares Harz sein. Harze sind besonders gut zur Herstellung von 3D Strukturen unter Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens geeignet. Insbesondere eignen sich hierfür Harze, die durch Ultraschall angeregt rasch aushärten.

**[0010]** Die Ultraschall-Aussendevorrichtung kann eine Vielzahl von Ultraschallquellen aufweisen, die zu einem eindimensionalen oder zu einem zweidimensionalen Array zusammengefasst sind.

**[0011]** Ein eindimensionales Array weist zwei oder mehrere Ultraschallquellen auf, die eindimensional zueinander, z. B. linienförmig, an der Ultraschall-Aussendevorrichtung angeordnet sind. Eindimensionale Arrays sind gut geeignet, um die polymerisierbare Flüssigkeit entlang einer Richtung linien- bzw. zeilenweise aushärten zu lassen. In anderen Worten eignet sich ein eindimensionales Array dazu, um eine eindimensionale Schicht der polymerisierbaren Flüssigkeit aushärten zu lassen. Ein zweidimensionales Array weist drei oder mehrere Ultraschallquellen auf, die zweidimensional zueinander, z. B. dreieckförmig, an der Ultraschall-Aussendevorrichtung angeordnet sind. Zweidimensionale Arrays sind gut geeignet, um die polymerisierbare Flüssigkeit entlang zweier Richtungen, z. B. entlang einer horizontalen und einer vertikalen Richtung, flächig aushärten zu lassen. In anderen Worten eignet sich ein zweidimensionales Array dazu, um eine zweidimensionale Schicht der polymerisierbaren Flüssigkeit aushärten zu lassen.

**[0012]** Die Druckvorrichtung kann mindestens zwei Ultraschall-Aussendevorrichtungen aufweisen. Durch Bereitstellen mehrerer Aussendevorrichtungen kann eine höhere Ultraschallintensität realisiert werden. Außerdem kann die polymerisierbare Flüssigkeit von mehreren Seiten gleichzeitig mit Ultraschall beaufschlagt werden, was wiederum die zur Herstellung der dreidimensionalen Struktur benötigte Zeit reduziert. Außerdem realisieren zwei oder mehr Ultraschall-Wandler, die vorteilhafter Weise auf denselben Punkt im Raum gerichtet sind, einen sehr scharfen Fokuspunkt. Dadurch kann die Genauigkeit des Drucks einer dreidimensionalen Struktur erhöht werden.

**[0013]** Die mindestens zwei Ultraschall-Aussendevorrichtungen können mit einem Winkelversatz zueinander angeordnet sein, wobei der Winkelversatz zwischen etwa  $135^\circ$  und etwa  $108^\circ$ , und bevorzugt zwischen etwa  $90^\circ$  und  $60^\circ$  beträgt. Die Ultraschall-Aussendevorrichtungen können somit also beispielsweise in einem bestimmten geometrischen Muster zueinander angeordnet sein. Dies kann eine Anpassung an die Behälterform erleichtern, und vorteilhaft zur Erzeugung bestimmter Geometrien von dreidimensionalen Strukturen eingesetzt werden. So eignet sich beispielsweise eine etwa  $90^\circ$ -Anordnung zweier Ultraschall-Aussendevorrichtungen zueinander gut zur Erzeugung einer viereckigen dreidimensionalen Struktur. Verrundete Kanten an der dreidimensionalen Struktur hingegen können präzise mit mehreren Ultraschall-Aussendevorrichtungen erzeugt werden, die beispielsweise achteckig, d. h. mit einem Winkelversatz von etwa  $135^\circ$ , zueinander angeordnet sind.

**[0014]** Die Ultraschall-Aussendevorrichtung kann innerhalb des Behälters zum Aufnehmen der polymerisierbaren Flüssigkeit angeordnet sein. Dies sorgt für

eine platzsparende Anordnung der Ultraschall-Aussendevorrichtung.

**[0015]** Die Ultraschall-Aussendevorrichtung kann zumindest abschnittsweise mit der polymerisierbaren Flüssigkeit in Kontakt sein. Dies bringt den Vorteil, dass die dreidimensionale Struktur vollständig in der polymerisierbaren Flüssigkeit ausgebildet werden kann.

**[0016]** Die Ultraschall-Aussendevorrichtung und/oder die Ultraschallquelle kann ausgebildet sein, um die Position des Fokuspunkts räumlich zu variieren, sodass sich der Fokuspunkt relativ zu dem ausgehärteten Abschnitt bewegt, um die dreidimensionale Struktur zunehmend anwachsend auszubilden. Der Fokuspunkt kann demnach frei im Raum bewegbar sein, was die Relativbewegung zwischen dem ausgehärteten Abschnitt der dreidimensionalen Struktur und dem Fokuspunkt ermöglicht. Somit kann die dreidimensionale Struktur entlang des geführten bzw. sich bewegenden Fokuspunkts gebildet werden. In anderen Worten gibt die Bahn, auf der sich der Fokuspunkt bewegt, die Form der dreidimensionalen Struktur vor, da der Fokuspunkt die Stelle bestimmt, an der die polymerisierbare Flüssigkeit aushärtet.

**[0017]** Die Ultraschallquelle kann ein kapazitiver mikromechanischer Ultraschallwandler sein. Diese kleinen MEMS-Bauelemente tragen zur Reduzierung der Größe der gesamten Druckvorrichtung bei. Außerdem ermöglichen kapazitive mikromechanische Ultraschallwandler den Aufbau von Arrays mit kleinem Pitch, vorteilhafter Weise bei beliebig hohen Frequenzen. Sie ermöglichen somit eine weitere Verbesserung der Auflösung des 3D Drucks.

**[0018]** Die Druckvorrichtung kann einen Objektträger aufweisen, der zumindest abschnittsweise mit der polymerisierbaren Flüssigkeit in Kontakt ist, und die Druckvorrichtung kann ausgebildet sein, um den Fokuspunkt auf den Objektträger auszurichten, sodass eine Polymerisation der polymerisierbaren Flüssigkeit an dem Objektträger ausgelöst wird. Der Druckprozess beginnt somit vorteilhaft direkt an dem Objektträger. Dort härtet die polymerisierbare Flüssigkeit initial aus, so dass von dort ausgehend die dreidimensionale Struktur zunehmend anwachsend ausgebildet werden kann. Die dreidimensionale Struktur wird somit an dem Objektträger gebildet und kann an dem Objektträger anhaftend ausgebildet werden.

**[0019]** Der Objektträger kann relativ zu dem Fokuspunkt bewegbar sein, und eine Bewegung des Objektträgers relativ zu dem Fokuspunkt kann derart synchronisiert sein, dass die dreidimensionale Struktur, beginnend an dem Objektträger, zunehmend anwachsend ausgebildet wird. Zusätzlich oder alternativ zu der oben genannten Variante der Veränderbarkeit der Position des Fokuspunkts, z. B. durch

eine Bewegbarkeit der Ultraschall-Aussendevorrichtung bzw. der Ultraschallquelle, kann der Objektträger bewegbar sein, um eine Relativbewegung zwischen dem Fokuspunkt und dem ausgehärteten Abschnitt zu realisieren. Eine Bewegung des Objektträgers kann beispielsweise auf einfache Art und Weise durch eine geeignet gesteuerte motorisierte Vorrichtung realisiert werden. Der Objektträger kann beispielsweise eindimensional, z. B. nach oben aus der polymerisierbaren Flüssigkeit heraus, bewegt werden. Der Objektträger, an dem vorzugsweise bereits ein Teil der dreidimensionalen Struktur anhaftend ausgebildet ist, kann aber auch zweidimensional oder dreidimensional, insbesondere innerhalb der polymerisierbaren Flüssigkeit, bewegt werden. So kann eine einfache Relativbewegung zwischen Fokuspunkt und ausgehärtetem Abschnitt zur Erzeugung der dreidimensionalen Struktur realisiert werden, um die dreidimensionale Struktur zunehmend anwachsend auszubilden.

**[0020]** Die Druckvorrichtung kann derart ausgebildet sein, dass die dreidimensionale Struktur bis zu ihrer Fertigstellung vollständig von der polymerisierbaren Flüssigkeit umgeben ist. Dies ermöglicht die Herstellung der dreidimensionalen Struktur innerhalb der polymerisierbaren Flüssigkeit. Das Bewegen eines Objektträgers zur Realisierung der Relativbewegung zwischen dem Fokuspunkt und dem ausgehärteten Abschnitt der dreidimensionalen Struktur ist in diesem Fall nicht zwingend nötig.

**[0021]** Die oben genannte Aufgabe wird erfindungsgemäß ferner mit einem Verfahren zum Drucken von dreidimensionalen Strukturen mit den Merkmalen von Anspruch 13 gelöst. Das Verfahren bringt ebenfalls die oben erwähnten Vorteile mit sich.

**[0022]** Das Verfahren kann ein Ansteuern der Ultraschall-Aussendevorrichtung und/oder der Ultraschallquelle beinhalten, um die Position des Fokuspunkts räumlich derart zu variieren, dass sich der Fokuspunkt relativ zu dem verhärteten Abschnitt bewegt, um die dreidimensionale Struktur zunehmend anwachsend auszubilden. Der Fokuspunkt kann demnach frei im Raum bewegt werden, was die Relativbewegung zwischen dem ausgehärteten Abschnitt der dreidimensionalen Struktur und dem Fokuspunkt ermöglicht. Somit kann die dreidimensionale Struktur entlang des geführten Fokuspunkts gebildet werden. In anderen Worten gibt die Bahn, auf der sich der Fokuspunkt bewegt, die Form der dreidimensionalen Struktur vor, da der Fokuspunkt die Stelle bestimmt, an der die polymerisierbare Flüssigkeit aushärtet.

**[0023]** Das Verfahren kann das Bereitstellen eines Objektträgers, wobei der Objektträger sich zumindest abschnittsweise in der polymerisierbaren Flüssigkeit befindet, sowie das Ausrichten des Fokuspunkts auf

den in der polymerisierbaren Flüssigkeit befindlichen Abschnitt des Objektträgers beinhalten, so dass die polymerisierbare Flüssigkeit an diesem Abschnitt des Objektträgers zu verhärten beginnt. Zusätzlich oder alternativ zu der zuvor genannten Variation der Position des Fokuspunkts kann also auch der Objektträger bewegt werden, um so die Relativbewegung zwischen dem Fokuspunkt und der dreidimensionalen Struktur zu erzeugen.

**[0024]** Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und werden nachstehend erläutert. Es zeigen:

**[0025]** Fig. 1 eine Seitenansicht einer erfindungsgemäßen Druckvorrichtung,

**[0026]** Fig. 2A eine Perspektivansicht eines eindimensionalen Ultraschall-Arrays,

**[0027]** Fig. 2B eine Perspektivansicht eines zweidimensionalen Ultraschall-Arrays,

**[0028]** Fig. 3 eine Draufsicht einer erfindungsgemäßen Druckvorrichtung,

**[0029]** Fig. 4 eine Draufsicht einer weiteren Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Druckvorrichtung,

**[0030]** Fig. 5 eine Seitenansicht einer Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Druckvorrichtung,

**[0031]** Fig. 6 eine Seitenansicht einer weiteren Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Druckvorrichtung mit einem Objektträger,

**[0032]** Fig. 7 die Ausführungsform aus Fig. 6 zu einem unterschiedlichen Zeitpunkt,

**[0033]** Fig. 8 eine weitere Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Druckvorrichtung,

**[0034]** Fig. 9A eine schematische Perspektivansicht zur Erzeugung einer eindimensionalen Struktur mit einem eindimensionalen Ultraschall-Array, und

**[0035]** Fig. 9B eine schematische Perspektivansicht zur Erzeugung einer zweidimensionalen Struktur mit einem zweidimensionalen Ultraschall-Array.

**[0036]** Fig. 1 zeigt eine Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Druckvorrichtung **100** in einer Seitenansicht. Die Druckvorrichtung **100** weist einen Behälter **102** zum Aufnehmen einer polymerisierbaren Flüssigkeit **103** auf. Der Behälter **102** weist eine erste Seitenwand **102a** und eine gegenüberliegende zweite Seitenwand **102b** auf. Der Behälter **102** weist außerdem einen Behälterboden **102c** auf. In der abgebildeten Ausführungsform ist der Behälter **102** nach

oben hin, d. h. dem Behälterboden **102c** gegenüberliegend, offen. Der Behälter **102** kann aber auch, z. B. mit einem hier nicht gezeigten Deckel, verschlossen sein.

**[0037]** Die Druckvorrichtung **100** weist außerdem eine Ultraschall-Aussendevorrichtung **104** auf. Die Ultraschall-Aussendevorrichtung **104** weist eine Ultraschallquelle **105** auf. Die Ultraschall-Aussendevorrichtung **104** ist ausgebildet, um Ultraschall in der polymerisierbaren Flüssigkeit **103** zu erzeugen, so dass der Ultraschall an einem Fokuspunkt **106** in der polymerisierbaren Flüssigkeit **103** ein lokales Maximum aufweist.

**[0038]** Angeregt durch den Ultraschall verhärtet die polymerisierbare Flüssigkeit **103** um den Fokuspunkt **106** herum und bildet einen ausgehärteten Abschnitt **107** der dreidimensionalen Struktur **101**. Die Druckvorrichtung **100** ist dabei derart ansteuerbar, dass eine Relativbewegung zwischen dem Fokuspunkt **106** und dem ausgehärteten Abschnitt **107** erzeugbar ist, um die dreidimensionale Struktur **101** zunehmend anwachsend auszubilden.

**[0039]** Eine Relativbewegung ist in **Fig. 1** durch den nach oben, d. h. in eine dem Behälterboden **102c** entgegengesetzte Richtung weisenden Pfeil **108** angedeutet. Eine Relativbewegung kann auch eine seitwärts gerichtete Bewegung, d. h. in Richtung der Behälterwände **102a**, **102b**, sowie eine in die Bildebene hinein- bzw. hinausweisende Richtung, sein.

**[0040]** Die polymerisierbare Flüssigkeit **103** ist in vorliegendem Ausführungsbeispiel ein Harz. Das Harz **103** liegt in einer flüssigen Phase vor, d. h. das in dem Becken **102** befindliche Harz **103** ist zwischen dem Behälterboden **102c** und der Oberfläche **110** des Harzes **103** flüssig. Das Harz **103** ist reaktiv auf Ultraschall, d. h. Ultraschall bewirkt ein Aushärten des Harzes **103**.

**[0041]** Die Ultraschallquelle **105** sendet eine oder mehrere Ultraschallwellen **111** aus. Die Ultraschall-Aussendevorrichtung **104** ist ausgebildet, um die eine oder mehrere Ultraschallwellen **111** zu fokussieren. Der Fokuspunkt **106** ist ein Punkt, an dem ein lokales Maximum, d. h. die höchste Intensität des Ultraschalls, auftritt. Im Bereich dieses Fokuspunkts **106** härtet das Harz **103** besonders schnell aus. Es bildet sich eine Aushärtungszone **107** um den Fokuspunkt **106** herum.

**[0042]** Eine Relativbewegung zwischen einem bereits ausgehärteten Abschnitt **107** der dreidimensionalen Struktur **101** und dem Fokuspunkt **106** führt dazu, dass das um diesen ausgehärteten Abschnitt **107** befindliche noch flüssige Harz **103** ebenfalls verhärtet. Somit wird die dreidimensionale Struktur **101** zunehmend anwachsend ausgebildet.

**[0043]** Die Ultraschall-Aussendevorrichtung **104** kann eine Vielzahl von Ultraschallquellen **105** aufweisen, die zu einem eindimensionalen oder zu einem zweidimensionalen Array zusammengefasst sind.

**[0044]** **Fig. 2A** zeigt ein eindimensionales Array **201**. Mehrere Ultraschallquellen **105a** bis **105d** sind hier eindimensional entlang einer verbindenden Geraden an der Ultraschall-Aussendevorrichtung **104** angeordnet.

**[0045]** **Fig. 2B** zeigt ein zweidimensionales Array **202**. Mehrere Ultraschallquellen **105a** bis **105f** sind hier zweidimensional entlang einer gemeinsamen Ebene, z. B. an der stirnseitigen Fläche **203**, an der Ultraschall-Aussendevorrichtung **104** angeordnet.

**[0046]** **Fig. 3** zeigt eine weitere Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Druckvorrichtung **100** in einer Draufsicht. Die Druckvorrichtung **100** weist einen Behälter **102** mit vier rechtwinklig zueinander angeordneten Seitenwänden **102a**, **102b**, **102d**, **102e** und einem Boden **102c** auf. In dem Behälter **102** befindet sich flüssiges Harz **103**.

**[0047]** In dem gezeigten Ausführungsbeispiel weist die erfindungsgemäße Druckvorrichtung **100** zwei Ultraschall-Aussendevorrichtungen **104a**, **104b** auf. Die erste Ultraschall-Aussendevorrichtung **104a** ist an der Seitenwand **102e** des Behälters **102** angeordnet. Die zweite Ultraschall-Aussendevorrichtung **104b** ist an der Seitenwand **102b** des Behälters **102** angeordnet. Sowohl die erste als auch die zweite Ultraschall-Aussendevorrichtung **104a**, **104b** kann jeweils ein eindimensionales oder ein zweidimensionales Array **201**, **202** sein. Dementsprechend weist jede der beiden Ultraschall-Aussendevorrichtungen **104a**, **104b** eine oder mehrere Ultraschallquellen **105a** bis **105e** auf.

**[0048]** Die erste Ultraschall-Aussendevorrichtung **104a** weist drei Ultraschallquellen **105a**, **105b**, **105c** auf. Alle drei Ultraschallquellen **105a**, **105b**, **105c** sind auf einen gemeinsamen Fokuspunkt  $f_1$  gerichtet.

**[0049]** Die zweite Ultraschall-Aussendevorrichtung **104b** weist zwei Ultraschallquellen **105d**, **105e** auf. Jede der beiden Ultraschallquellen **105d**, **105e** weist einen eigenen Fokuspunkt auf. So ist die Ultraschallquelle **105d** auf einen ersten Fokuspunkt  $f_2$ , und die Ultraschallquelle **105e** auf einen zweiten Fokuspunkt  $f_3$  gerichtet.

**[0050]** In der in **Fig. 3** abgebildeten Ausführungsform sind die beiden Ultraschall-Aussendevorrichtungen **104a**, **104b** mit einem Winkelversatz **300** zueinander angeordnet. In diesem Ausführungsbeispiel beträgt der Winkelversatz etwa  $90^\circ$ .

**[0051]** Fig. 4 zeigt eine weitere Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Druckvorrichtung **100** mit einem achteckigen Behälter **102**. In dem Behälter **102** befindet sich flüssiges Harz **103**. An jeder der insgesamt acht Seitenwände des Behälters **102** ist eine Ultraschall-Aussendevorrichtung **104** behälterinnen-seitig vorgesehen. Jede der Ultraschall-Aussendevorrichtungen **104** weist mindestens eine Ultraschallquelle **105** auf.

**[0052]** Die Ultraschall-Aussendevorrichtungen **104** sind mit einem Winkelversatz **400** zueinander angeordnet. In diesem Ausführungsbeispiel beträgt der Winkelversatz etwa  $135^\circ$ .

**[0053]** Die Ultraschall-Aussendevorrichtungen **104** können, wie in Fig. 4 gezeigt, behälterinnenseitig an den Seitenwänden des Behälters **102** angebracht sein. Die Ultraschall-Aussendevorrichtungen **104** können auch, wie in den Fig. 1 und Fig. 3 gezeigt, behälterinnenseitig an den Seitenwänden des Behälters **102** angebracht und teilweise in die Seitenwände integriert sein. In beiden Fällen sind die Ultraschall-Aussendevorrichtungen **104** innerhalb des Behälters **102** angeordnet. Wie insbesondere in Fig. 1 zu sehen ist, sind die Ultraschall-Aussendevorrichtungen **104** zumindest abschnittsweise mit der polymerisierbaren Flüssigkeit **103** in Kontakt.

**[0054]** Die Ultraschall-Aussendevorrichtungen **104** können aber auch vollständig von der polymerisierbaren Flüssigkeit **103** umgeben sein. Die Ultraschall-Aussendevorrichtungen **104** wären dann vollständig unterhalb der Oberfläche **110** der polymerisierbaren Flüssigkeit **103** angeordnet.

**[0055]** Ebenfalls denkbar ist auch, dass die Ultraschall-Aussendevorrichtungen **104** vollständig über der Oberfläche **110** der polymerisierbaren Flüssigkeit **103** angeordnet sind und somit nicht mit der polymerisierbaren Flüssigkeit **103** in Kontakt kommen. Die Ultraschall-Aussendevorrichtungen **104** können auch außerhalb des Behälters **102** angeordnet sein.

**[0056]** Die Ultraschall-Aussendevorrichtungen **104** und/oder die Ultraschallquellen **105** können als kapazitive mikromechanische Ultraschallwandler ausgebildet sein. Diese sind auch als CMUT (Capacitive Micromachined Ultrasonic Transducers) bekannt. CMUTs sind MEMS-basierte Strukturen, die zur Erzeugung und zum Empfang akustischer Signale im Ultraschallbereich eingesetzt werden können.

**[0057]** Fig. 5 zeigt eine Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Druckvorrichtung **100**, bei der die Ultraschall-Aussendevorrichtung **104** und/oder die Ultraschallquelle **105** ausgebildet ist, um die Position des Fokuspunkts **106** räumlich zu variieren, so dass sich der Fokuspunkt **106** relativ zu dem ausgehärteten Abschnitt **107** der dreidimensionalen Struktur **101**

bewegt, um die dreidimensionale Struktur **101** zunehmend anwachsend auszubilden.

**[0058]** Die Druckvorrichtung **100** weist einen Behälter **102** auf, der mit flüssigem Harz **103** gefüllt ist. An einer seitlichen Wand des Behälters **102** ist behälterinnenseitig eine Ultraschall-Aussendevorrichtung **104** angeordnet. Die Ultraschall-Aussendevorrichtung **104** weist eine erste und eine zweite Ultraschallquelle **105a**, **105b** auf.

**[0059]** Beide Ultraschallquellen **105a**, **105b** sind auf denselben Fokuspunkt **106** gerichtet. In durchgezogenen Linien ist der Fokuspunkt **106** zu einem beliebigen Zeitpunkt  $t_0$  dargestellt. Die Ultraschall-Aussendevorrichtung **104** und/oder die Ultraschallquellen **105a**, **105b** sind derart ausgebildet, dass die Position des Fokuspunkts **106** räumlich variiert werden kann. Der Fokuspunkt **106** kann vorzugsweise an eine beliebige Position innerhalb des gesamten Behälters **102** ausgerichtet werden. In anderen Worten kann die Position des Fokuspunkts **106** derart variiert werden, dass sich der Fokuspunkt **106** zu verschiedenen Zeitpunkten an verschiedenen Orten innerhalb des Behälters **102** befindet.

**[0060]** In gestrichelten Linien ist beispielsweise eine Position des Fokuspunkts **106** zum Zeitpunkt  $t_1$  gezeigt, die sich von der anfänglichen Position zum Zeitpunkt  $t_0$  unterscheidet. Es ist außerdem eine weitere Position des Fokuspunkts **106** zum Zeitpunkt  $t_2$  gezeigt, die sich von den anderen beiden Positionen zu den Zeitpunkten  $t_0$  bzw.  $t_1$  unterscheidet.

**[0061]** Die Position des Fokuspunkts **106** kann ein-dimensional, zweidimensional oder dreidimensional variiert werden.

**[0062]** Fig. 6 zeigt eine Ausführungsform der erfindungsgemäßen Druckvorrichtung **100**, wobei die Druckvorrichtung **100** einen Objektträger **601** aufweist, der zumindest abschnittsweise mit der polymerisierbaren Flüssigkeit **103** in Kontakt ist. Die Druckvorrichtung **100** ist ausgebildet, um den Fokuspunkt **106** auf den Objektträger **601** auszurichten, so dass eine Polymerisation der polymerisierbaren Flüssigkeit **103** an dem Objektträger **601** ausgelöst wird.

**[0063]** Die Druckvorrichtung **100** weist einen Behälter **102** auf, in dem sich flüssiges Harz **103** befindet. An einer Seitenwand des Behälters **102** ist behälterinnenseitig eine Ultraschall-Aussendevorrichtung **104** mit einer Ultraschallquelle **105** angeordnet. Die Ultraschall-Aussendevorrichtung **104** erzeugt in der polymerisierbaren Flüssigkeit **103** Ultraschall, der an dem Fokuspunkt **106** ein lokales Maximum der Ultraschallenergie aufweist.

**[0064]** Der Objektträger **601** weist einen Schaft **602** sowie einen daran angeordneten Teller **603** auf. Der

Teller **603** weist auf der dem Behälterboden **102c** zugewandten Seite eine Objektträgerfläche **604** auf. Zumindest die Objektträgerfläche **604** befindet sich zu Beginn einer Polymerisation der polymerisierbaren Flüssigkeit **103** auf Höhe der oder unterhalb der Oberfläche **110** der polymerisierbaren Flüssigkeit **103**.

[0065] Der Fokuspunkt **106** ist zu Beginn der Polymerisation auf die Objektträgerfläche **604** gerichtet. Somit beginnt an der Objektträgerfläche **604** die Polymerisation der polymerisierbaren Flüssigkeit **103**, so dass die dreidimensionale Struktur **101** beginnend an der Objektträgerfläche **604** zunehmend anwachsend ausgebildet wird. Um den Fokuspunkt **106** herum verhärtet sich das polymerisierbare Material **103** und bildet einen ausgehärteten Abschnitt **107**, der zumindest abschnittsweise mit der Objektträgerfläche **604** verbunden ist beziehungsweise an dieser anhaftet. In anderen Worten wird eine Polymerisation der polymerisierbaren Flüssigkeit **103** an dem Objektträger **601** ausgelöst.

[0066] Wie zuvor mit Bezug auf **Fig. 5** erläutert, kann die Position des Fokuspunkts **106** frei im Raum variiert werden. Dabei wird die Position des Fokuspunkts **106** derart variiert, dass sich der Fokuspunkt **106** relativ zu dem bereits ausgehärteten Abschnitt **107** weiterbewegt. Die um den ausgehärteten Abschnitt **107** herum befindliche Flüssigkeit **103** beginnt bei Variation der Position des Fokuspunkts **106** um den Fokuspunkt **106** herum auszuhärten. So wird die dreidimensionale Struktur **101** zunehmend anwachsend ausgebildet. Wenn beispielsweise der in **Fig. 6** gezeigte Fokuspunkt **106** nach unten, d. h. in Richtung des Behälterbodens **102c**, verschoben wird, bildet sich die dreidimensionale Struktur **101** zunehmend anwachsend in ebendiese Richtung aus.

[0067] Das zunehmende Anwachsen der dreidimensionalen Struktur **101** geschieht aufgrund einer Relativbewegung zwischen dem Fokuspunkt **106** und dem bereits ausgehärteten Abschnitt **107**.

[0068] In der zuvor mit Bezug auf **Fig. 5** beschriebenen Ausführungsform ist die Ultraschall-Aussendevorrichtung **104** und/oder die Ultraschallquelle **105** ausgebildet, um die Position des Fokuspunkts **106** räumlich zu variieren, um so die oben genannte Relativbewegung zu realisieren.

[0069] In der in **Fig. 6** gezeigten Ausführungsform ist zusätzlich oder alternativ dazu eine Bewegung des Objektträgers **601** realisierbar. Da sich, wie zuvor beschrieben, die dreidimensionale Struktur **101** an der Objektträgerfläche **604** ausbildet, kann eine Bewegung des Objektträgers **601** eine Relativbewegung zwischen dem ausgehärteten Abschnitt **107** und dem Fokuspunkt **106** realisieren.

[0070] Beispielsweise kann sich, wie mit dem Pfeil **605** angedeutet, der Objektträger **601** nach oben, d. h. aus der polymerisierbaren Flüssigkeit **103** heraus, bewegen. Der Fokuspunkt **106** kann beispielsweise an der gezeigten Position verbleiben. Alternativ oder zusätzlich kann die Position des Fokuspunkts **106** durch die Ultraschall-Aussendevorrichtung **104** und/oder durch die Ultraschallquelle **105** relativ zu dem ausgehärteten Abschnitt **107** variiert werden.

[0071] Zur Synchronisierung der Relativbewegung zwischen dem ausgehärteten Abschnitt **107** und dem Fokuspunkt **106** kann die Druckvorrichtung **100** eine Steuereinheit **610** aufweisen, die mit dem Objektträger **601** und der Ultraschall-Aussendevorrichtung **104** über Verbindungen **611**, **612** verbunden ist.

[0072] **Fig. 7** zeigt die zuvor mit Bezug auf **Fig. 6** erläuterte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Druckvorrichtung **100** zu einem späteren Zeitpunkt während des Druckvorgangs. Aufgrund der aufwärtsgerichteten und vorzugsweise synchronisierten Bewegung **605** des Objektträgers **601** ist die dreidimensionale Struktur **101** im Vergleich zu **Fig. 6** sichtbar gewachsen.

[0073] Der Objektträger **601** hat sich mittlerweile aus dem flüssigen Harz **103** heraus bewegt, d. h. der Objektträger **601** befindet sich über der Oberfläche **110** des flüssigen Harzes **103**. Die dreidimensionale Struktur **101** hat in diesem Ausführungsbeispiel etwa die Form einer Pyramide angenommen. Der dem Behälterboden **102c** zugewandte Teil der dreidimensionalen Struktur **101**, d. h. der ausgehärtete Abschnitt **107**, befindet sich hingegen immer noch in dem flüssigen Harz **103**.

[0074] Durch weiteres Herausziehen **605** des Objektträgers **600** findet weiterhin eine Relativbewegung zwischen dem ausgehärteten Abschnitt **107** und dem Fokuspunkt **106** statt. Die dreidimensionale Struktur **101** wird somit zunehmend anwachsend ausgebildet.

[0075] **Fig. 8** zeigt eine weitere Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Druckvorrichtung **100**. Die Druckvorrichtung **100** weist einen Behälter **102** auf, in dem sich eine polymerisierbare Flüssigkeit **103** befindet. An einer Wand des Behälters **102** ist behälterinnenseitig eine Ultraschall-Aussendevorrichtung **104** angeordnet. Die Ultraschall-Aussendevorrichtung **104** weist in diesem Ausführungsbeispiel drei Ultraschallquellen **105a**, **105b**, **105c** auf. Jede der drei Ultraschallquellen **105a**, **105b**, **105c** ist auf denselben Fokuspunkt **106** gerichtet.

[0076] Wie in **Fig. 8** zu erkennen ist, wird die dreidimensionale Struktur **101** in der polymerisierbaren Flüssigkeit **103** ausgebildet. Die dreidimensionale Struktur **101** ist somit bis zu ihrer Fertigstellung voll-

ständig von der polymerisierbaren Flüssigkeit **103** umgeben.

**[0077]** Zum Ausbilden der dreidimensionalen Struktur **101** findet auch hier wieder eine Relativbewegung zwischen dem bereits ausgehärteten Abschnitt **107** der dreidimensionalen Struktur **101** und dem Fokuspunkt **106** statt. Diese Relativbewegung kann, wie zuvor mit Bezug auf die **Fig. 5** bis **Fig. 7** erläutert wurde, durch ein geeignetes Ansteuern der Ultraschall-Aussendevorrichtung **104** und/oder der Ultraschallquellen **105a**, **105b**, **105c** realisiert werden, um die Position des Fokuspunkts **106** im Raum, d. h. vorzugsweise im Behälter **102**, zu variieren.

**[0078]** Alternativ oder zusätzlich dazu kann ein, wie zuvor mit Bezug auf **Fig. 6** und **Fig. 7** beschriebener, Objektträger **601** eingesetzt werden, der die dreidimensionale Struktur **101** zumindest abschnittsweise dauerhaft unter der Oberfläche **110** der polymerisierbaren Flüssigkeit **103** hält. Es können hier auch Objektträger **801**, **802** vorgesehen sein, die sich ebenfalls zumindest abschnittsweise in der polymerisierbaren Flüssigkeit **103** befinden. Derartige Objektträger **801**, **802** können mit den Wänden oder dem Boden des Behälters **102** verbunden sein. Die Objektträger **801**, **802** können auch selbst Teil der dreidimensionalen Struktur **101** sein.

**[0079]** Da die dreidimensionale Struktur **101** vollständig innerhalb der polymerisierbaren Flüssigkeit **103** ausgebildet wird, kann auf einen beweglichen Objektträger **601** verzichtet werden. Die Relativbewegung zwischen dem ausgehärteten Abschnitt **107** und dem Fokuspunkt **106** wird dann vorzugsweise durch eine Variation der Position des Fokuspunkts **106** realisiert. Die fertige dreidimensionale Struktur **101** kann nach Fertigstellung einfach erhalten werden, indem die fertige dreidimensionale Struktur **101** aus dem Behälter **102** herausgenommen wird, oder indem die polymerisierbare Flüssigkeit **103** aus dem Behälter **102** entfernt wird.

**[0080]** **Fig. 9A** zeigt die eindimensionale Ausbildung eines Teils einer dreidimensionalen Struktur **101** mithilfe eines eindimensionalen Arrays **201**, wie es in **Fig. 2A** gezeigt ist. Das in **Fig. 9A** abgebildete Array **201** ist von einer Rückseite gezeigt, weshalb die auf der Vorderseite angeordneten Ultraschallquellen **105** hier nicht sichtbar sind.

**[0081]** Jede der auf der Vorderseite entlang einer verbindenden Geraden angeordneten Ultraschallquellen **105** erzeugt einen Fokuspunkt **106a**, **106b**, **106c**, wobei die Fokuspunkte ebenfalls entlang einer verbindenden Geraden, d. h. eindimensional, angeordnet sind. Sie bilden somit eine Linienstruktur **900** aus, die sich in eine Richtung **901** erstreckt. Die dreidimensionale Struktur **101** kann somit linien- bzw. zeilenweise ausgebildet bzw. gedruckt werden. Um

jeden Fokuspunkt herum bildet sich aus der polymerisierbaren Flüssigkeit ein ausgehärteter Abschnitt **107a**, **107b**, **107c** aus, so dass die in **Fig. 9A** gezeigte Linienstruktur **900** aus ausgehärteter polymerisierbarer Flüssigkeit **103** entsteht.

**[0082]** Eindimensionale Arrays **201** können beispielsweise in Ausführungsformen wie in **Fig. 1** gezeigt, eingesetzt werden, wobei der zeilenweise Aufbau direkt an der Oberfläche **110** der polymerisierbaren Flüssigkeit **103** stattfinden kann. Die Relativbewegung zwischen Fokuspunkt **106** und bereits ausgehärtetem Abschnitt **107** kann durch eine von der Oberfläche **110** weg gerichtete Bewegung **108** realisiert werden.

**[0083]** **Fig. 9B** zeigt die zweidimensionale Ausbildung eines Teils einer dreidimensionalen Struktur **101** mithilfe eines zweidimensionalen Arrays **202**, wie es in **Fig. 2B** gezeigt ist. Das in **Fig. 9B** abgebildete Array **202** ist von einer Rückseite gezeigt, weshalb die auf der Vorderseite angeordneten Ultraschallquellen **105** hier nicht sichtbar sind.

**[0084]** Jede der auf der Vorderseite flächig angeordneten Ultraschallquellen **105** erzeugt einen Fokuspunkt **106a** bis **106f**, wobei die Fokuspunkte ebenfalls entlang einer Fläche bzw. Ebene **903**, d. h. zweidimensional, angeordnet sind. Sie bilden also eine Fläche **903** aus, die sich in zwei Richtungen **901**, **902** erstreckt. Die dreidimensionale Struktur **101** kann somit flächig ausgebildet bzw. gedruckt werden. Um jeden Fokuspunkt herum bildet sich aus der polymerisierbaren Flüssigkeit ein ausgehärteter Abschnitt **107a** bis **107f** aus, so dass die in **Fig. 9B** gezeigte Fläche **903** aus ausgehärteter polymerisierbarer Flüssigkeit **103** entsteht.

**[0085]** Wie bereits erwähnt, ist die polymerisierbare Flüssigkeit **103** reaktiv auf Ultraschall, d. h. die polymerisierbare Flüssigkeit **103** beginnt um ein lokales Maximum einer Ultraschallwelle herum auszuhärten. Mit steigender Intensität des Ultraschalls kann die Zeit zum Aushärten verkürzt werden.

**[0086]** Als Ultraschallquelle kann ein Ultraschallwandler genutzt werden.

**[0087]** Indem man einen zweidimensionalen Ultraschallwandler benutzt, kann der Fokuspunkt einer akustischen Welle innerhalb der polymerisierbaren Flüssigkeit elektronisch gesteuert werden, um so ein 3D Volumen zu rastern.

**[0088]** In der in **Fig. 1** dargestellten Ausführungsform können die Ultraschall-Arrays **104** derart gesteuert werden, dass eine plane bzw. ebene Struktur direkt an der Oberfläche **110** der polymerisierbaren Flüssigkeit **103** gebildet wird. Die dreidimensionale Struktur **101** kann beispielsweise an einem beweg-

lichen mechanischen Roboter angebracht sein, der das gedruckte Objekt heraus zieht. Die Funktion der Ultraschallwandler-Arrays sowie des ziehenden Motors können synchronisiert sein um das gewünschte Objekt **101** auszubilden.

**[0089]** Ein einzelnes Ultraschall-Array (1D oder 2D) kann auf einer Seite des Behälters **102**, aber auch an zwei von vier Seiten angebracht sein, falls die benötigte akustische Energie höher sein sollte. Möglicherweise kann ein Behälter **102** in Form eines Hexagons, eines Oktagons (**Fig. 4**), etc. genutzt werden, um bei Bedarf mehr akustische Energie zu fokussieren.

**[0090]** In dem in **Fig. 8** gezeigten Ausführungsbeispiel wird das 3D Objekt **101** vollständig in der polymerisierbaren Flüssigkeit **103** gedruckt. Das Objekt **101** wird innerhalb der polymerisierbaren Flüssigkeit **103** elektronisch gerastert, und Motoren würden nicht zwingend benötigt werden, um das Objekt **101** zu bewegen während es gedruckt wird. Sobald das Harz **103** polymerisiert ist, reicht es aus, den Behälter **102** zu leeren oder das Objekt **101** aus dem Bad herauszunehmen um das gedruckte Objekt **101** zu erhalten.

**[0091]** Eine Haltestruktur **801**, **802** zum Halten des Objekts **101** kann genutzt werden, wobei diese ebenfalls Teil des Objekts **101** selbst sein kann.

**[0092]** Anstatt der polymerisierbaren Flüssigkeit **103** kann ein beliebiges anderes Material genutzt werden, das Ultraschall-sensitiv ist und aufgrund der Ultraschallenergie seine Struktur und/oder Phase ändert, so dass dieses Material beispielsweise aushärtet, um so die dreidimensionale Struktur **101** zunehmend anwachsend auszubilden.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

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

**Zitierte Patentliteratur**

- WO 2014/126837 A2 [0005, 0005, 0006]

### Patentansprüche

1. Druckvorrichtung (100) zum Drucken einer dreidimensionalen Struktur (101), wobei die Druckvorrichtung (100) aufweist:

einen Behälter (102) zum Aufnehmen einer polymerisierbaren Flüssigkeit (103), und

eine Ultraschall-Aussendevorrichtung (104) mit einer Ultraschallquelle (105), wobei die Ultraschall-Aussendevorrichtung (104) ausgebildet ist, um Ultraschall in der polymerisierbaren Flüssigkeit (103) zu erzeugen, so dass der Ultraschall an einem Fokuspunkt (106) in der polymerisierbaren Flüssigkeit (103) ein lokales Maximum aufweist,

wobei die polymerisierbare Flüssigkeit (103) um den Fokuspunkt (106) herum verhärtet und einen ausgehärteten Abschnitt (107) der dreidimensionalen Struktur (101) bildet,

und wobei die Druckvorrichtung (100) derart ansteuerbar ist, dass eine Relativbewegung zwischen dem Fokuspunkt (106) und dem ausgehärteten Abschnitt (107) erzeugbar ist, um die dreidimensionale Struktur (101) zunehmend anwachsend auszubilden.

2. Druckvorrichtung nach Anspruch 1, wobei die polymerisierbare Flüssigkeit (103) ein durch Ultraschall aushärtbares Harz ist.

3. Druckvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Ultraschall-Aussendevorrichtung (104) eine Vielzahl von Ultraschallquellen (105) aufweist, die zu einem eindimensionalen oder zu einem zweidimensionalen Array (201, 202) zusammengefasst sind.

4. Druckvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Druckvorrichtung (100) mindestens zwei Ultraschall-Aussendevorrichtungen (104a, 104b) aufweist.

5. Druckvorrichtung nach Anspruch 4, wobei die mindestens zwei Ultraschall-Aussendevorrichtungen (104a, 104b) mit einem Winkelversatz (300, 400) zueinander angeordnet sind, wobei der Winkelversatz zwischen etwa 135° und etwa 108°, und bevorzugt zwischen etwa 90° und 60° beträgt.

6. Druckvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Ultraschall-Aussendevorrichtung (104) innerhalb des Behälters (102) zum Aufnehmen der polymerisierbaren Flüssigkeit (103) angeordnet ist.

7. Druckvorrichtung nach Anspruch 6, wobei die Ultraschall-Aussendevorrichtung (104) zumindest abschnittsweise mit der polymerisierbaren Flüssigkeit (103) in Kontakt ist.

8. Druckvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Ultraschall-Aussendevor-

richtung (104) und/oder die Ultraschallquelle (105) ausgebildet ist, um die Position des Fokuspunkts (106) räumlich zu variieren, sodass sich der Fokuspunkt (106) relativ zu dem ausgehärteten Abschnitt (107) bewegt, um die dreidimensionale Struktur (101) zunehmend anwachsend auszubilden.

9. Druckvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Ultraschallquelle (105) ein kapazitiver mikromechanischer Ultraschallwandler ist.

10. Druckvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Druckvorrichtung (100) einen Objektträger (601) aufweist, der zumindest abschnittsweise mit der polymerisierbaren Flüssigkeit (103) in Kontakt ist, und wobei die Druckvorrichtung (100) ausgebildet ist, um den Fokuspunkt (106) auf den Objektträger (601) auszurichten, sodass eine Polymerisation der polymerisierbaren Flüssigkeit (103) an dem Objektträger (601) ausgelöst wird.

11. Druckvorrichtung nach Anspruch 10, wobei der Objektträger (601) relativ zu dem Fokuspunkt (106) bewegbar ist, und eine Bewegung des Objektträgers (601) relativ zu dem Fokuspunkt (106) derart synchronisiert ist, dass die dreidimensionale Struktur (101) beginnend an dem Objektträger (601) zunehmend anwachsend ausgebildet wird.

12. Druckvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Druckvorrichtung (100) derart ausgebildet ist, dass die dreidimensionale Struktur (101) bis zu ihrer Fertigstellung vollständig von der polymerisierbaren Flüssigkeit (103) umgeben ist.

13. Verfahren zum Drucken einer dreidimensionalen Struktur (101), beinhaltend die Schritte:

Bereitstellen eines Behälters (102) mit einer polymerisierbaren Flüssigkeit (103), und

Bereitstellen einer Ultraschall-Aussendevorrichtung (104) mit einer Ultraschallquelle (105),

Erzeugen von Ultraschall in der polymerisierbaren Flüssigkeit (103), so dass der Ultraschall an einem Fokuspunkt (106) in der polymerisierbaren Flüssigkeit (103) ein lokales Maximum aufweist, und die polymerisierbare Flüssigkeit (103) um den Fokuspunkt (106) herum verhärtet und einen ausgehärteten Abschnitt (107) der dreidimensionalen Struktur (101) bildet, und

Ansteuern der Druckvorrichtung (100) derart, dass eine Relativbewegung zwischen dem Fokuspunkt (106) und dem ausgehärteten Abschnitt (107) erzeugbar ist, um die dreidimensionale Struktur (101) zunehmend anwachsend auszubilden.

14. Verfahren nach Anspruch 13, wobei das Verfahren ein Ansteuern der Ultraschall-Aussendevorrichtung (104) und/oder der Ultraschallquelle (105)

beinhaltet, um die Position des Fokuspunkts **(106)** räumlich derart zu variieren, dass sich der Fokuspunkt **(106)** relativ zu dem verhärteten Abschnitt **(107)** bewegt, um die dreidimensionale Struktur **(101)** zunehmend anwachsend auszubilden.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 oder 14, wobei das Verfahren beinhaltet:

Bereitstellen eines Objektträgers **(601)**, wobei der Objektträger **(601)** sich zumindest abschnittsweise in der polymerisierbaren Flüssigkeit **(103)** befindet, Ausrichten des Fokuspunkts **(106)** auf den in der polymerisierbaren Flüssigkeit **(103)** befindlichen Abschnitt **(604)** des Objektträgers **(601)**, so dass die polymerisierbare Flüssigkeit **(103)** an diesem Abschnitt **(604)** des Objektträgers **(601)** zu verhärten beginnt.

Es folgen 10 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

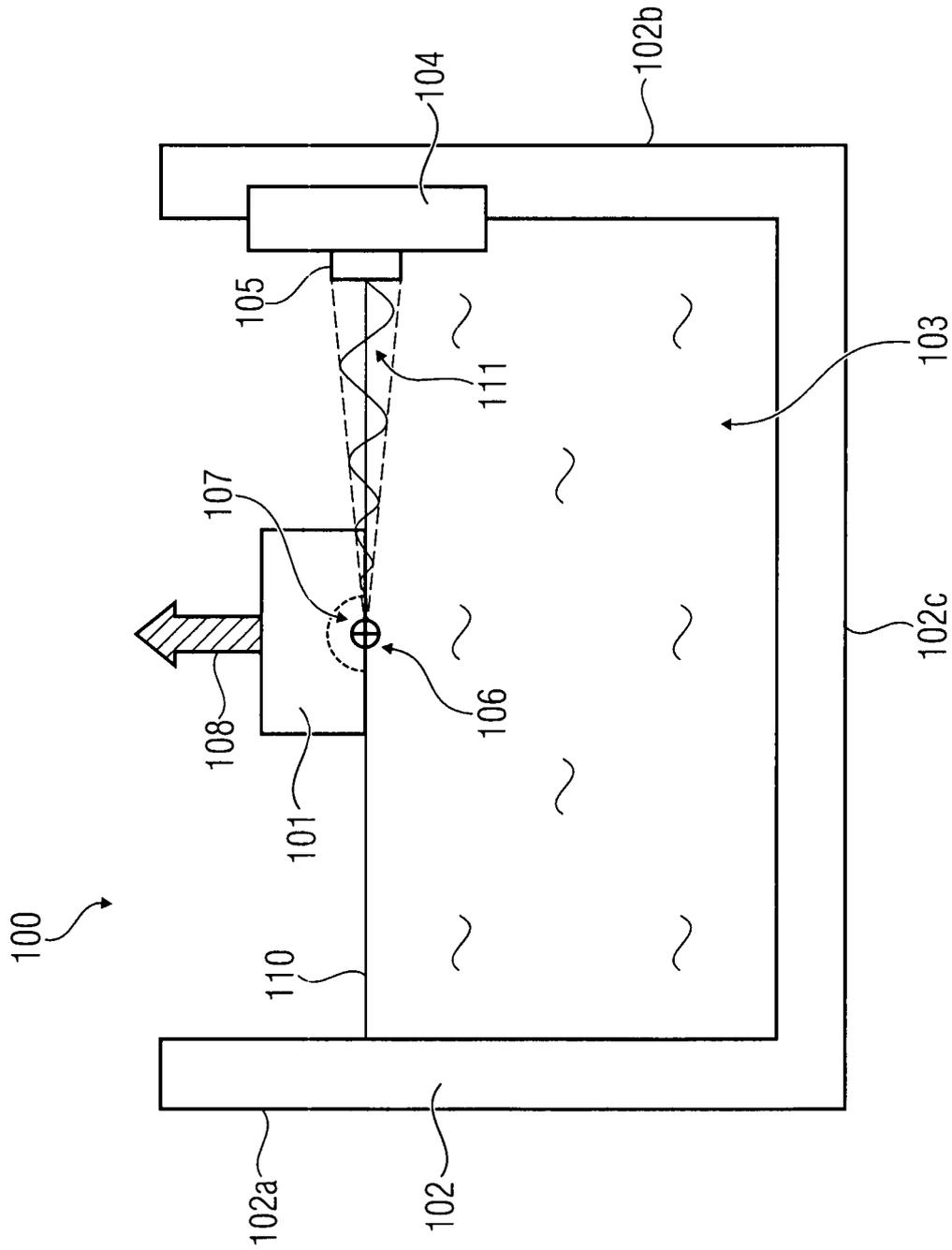


FIG 1

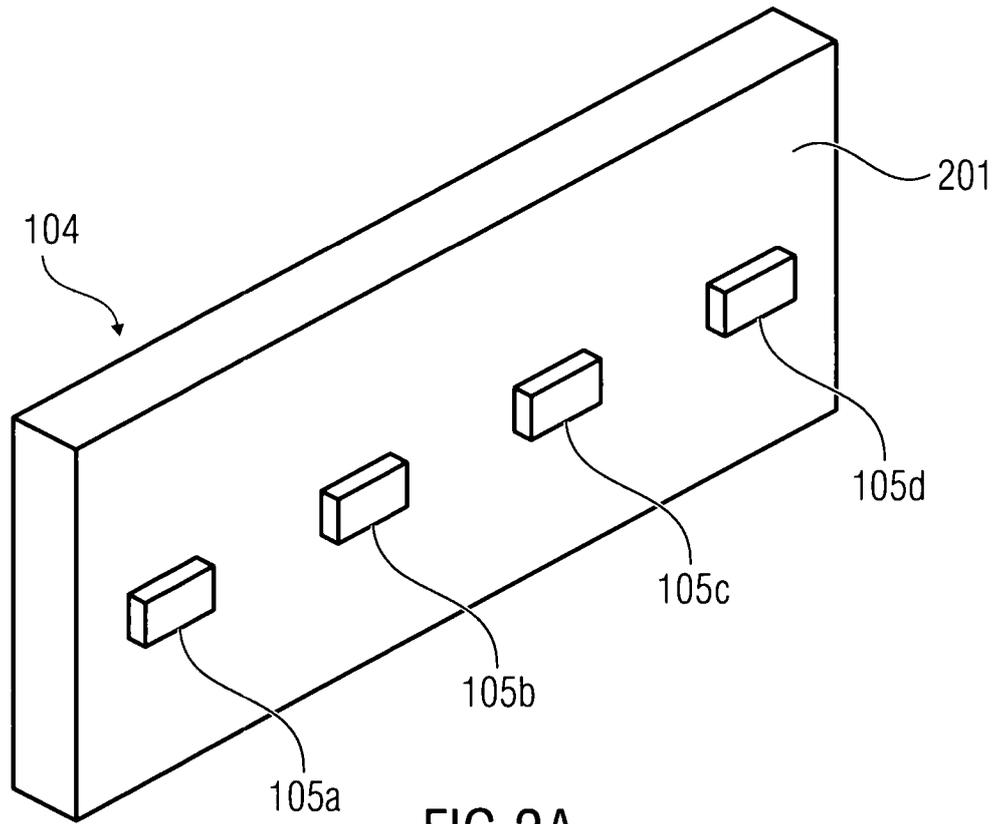


FIG 2A

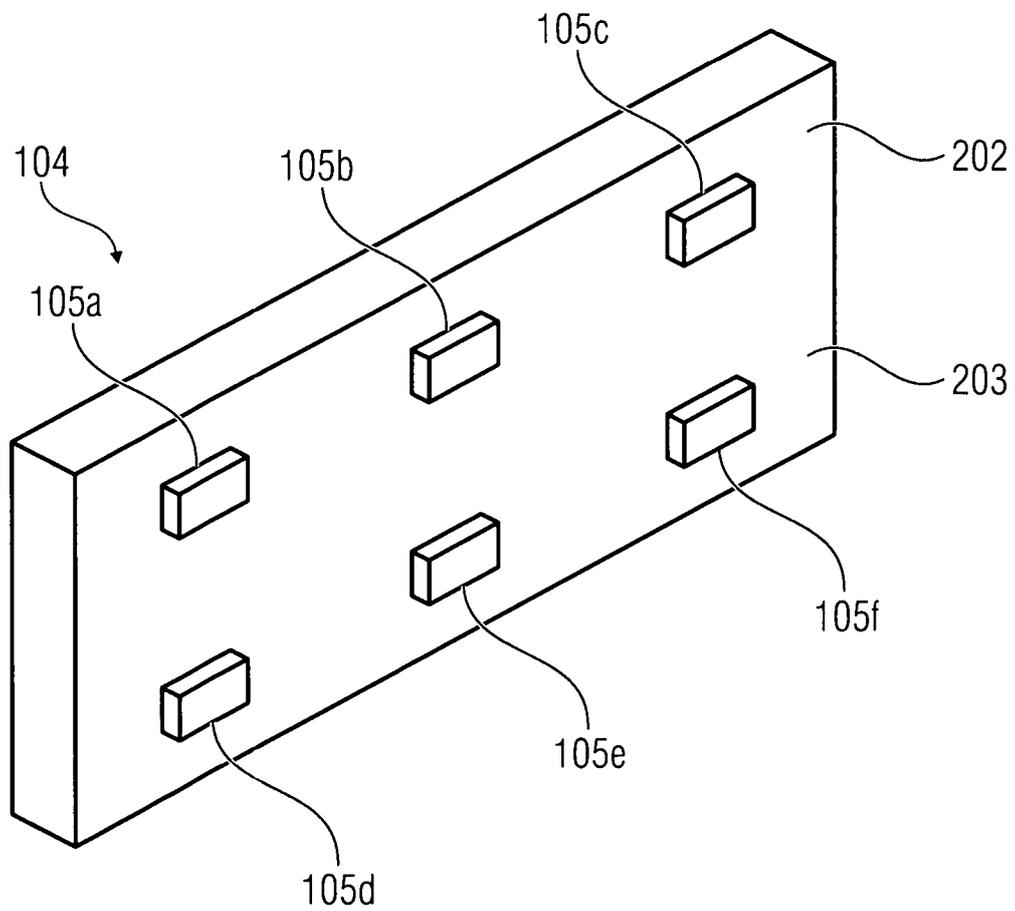


FIG 2B

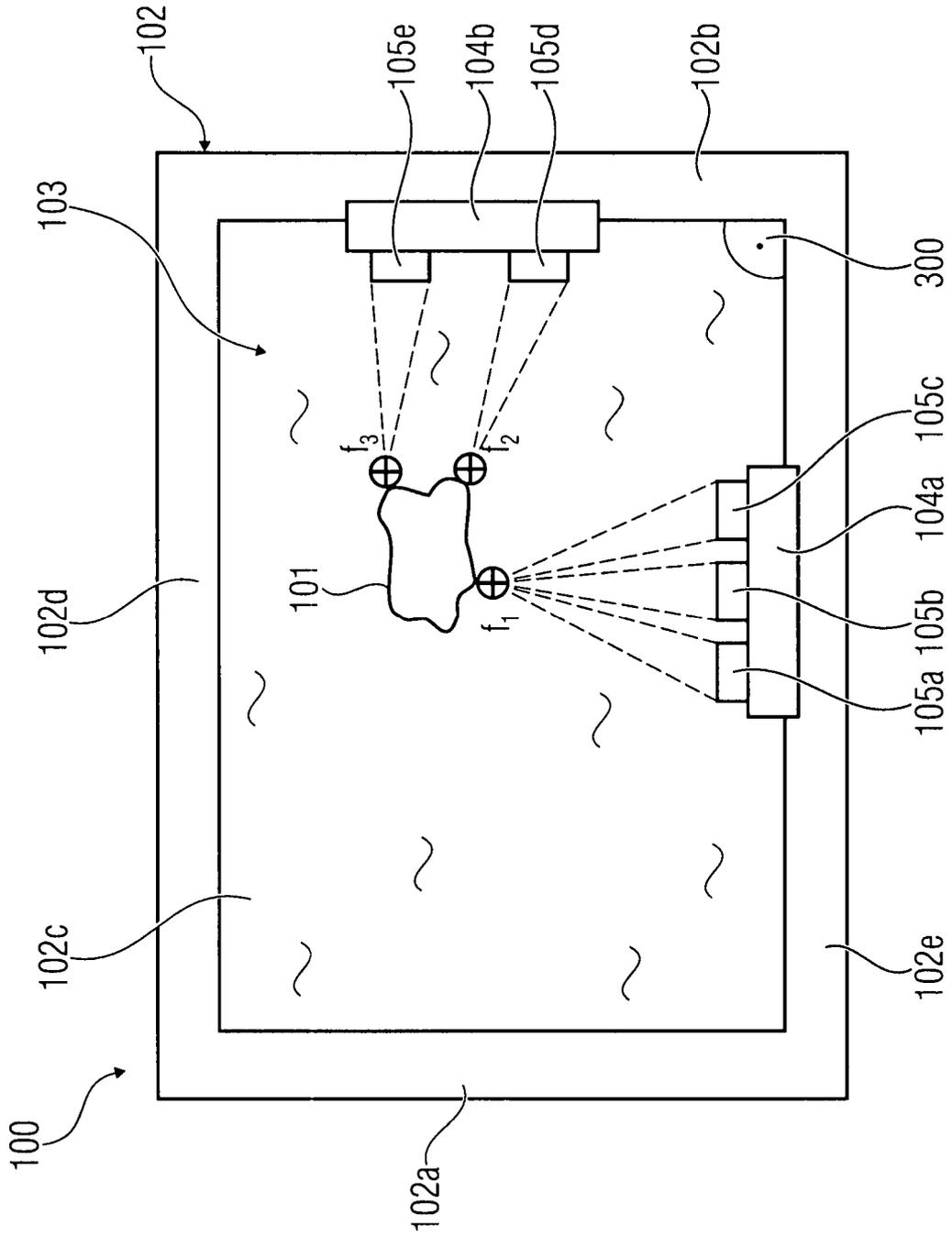


FIG 3

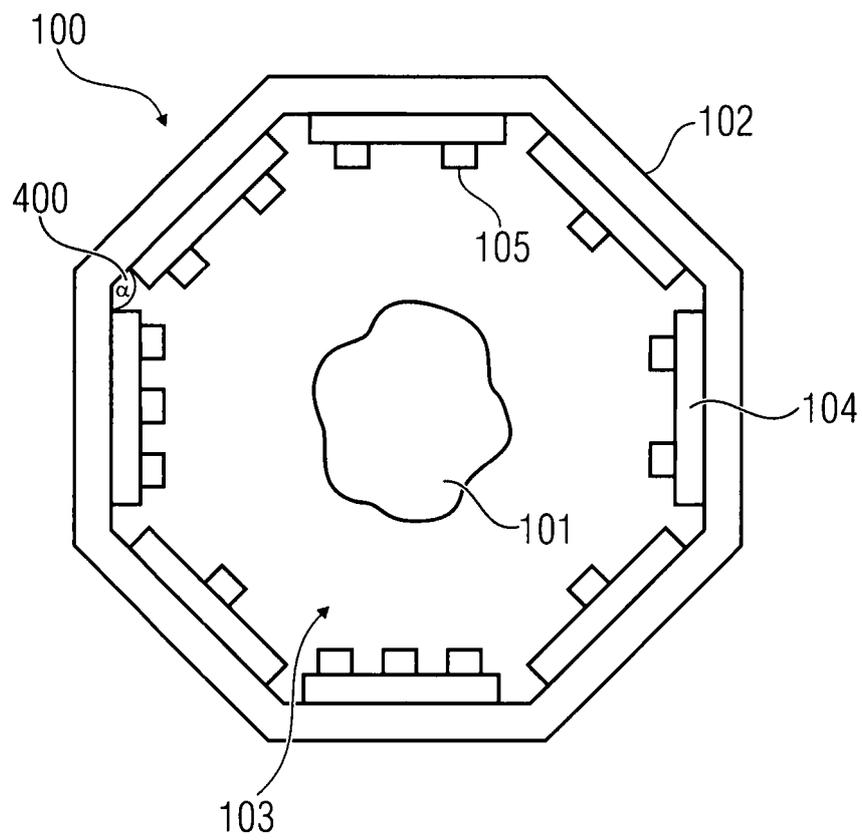


FIG 4

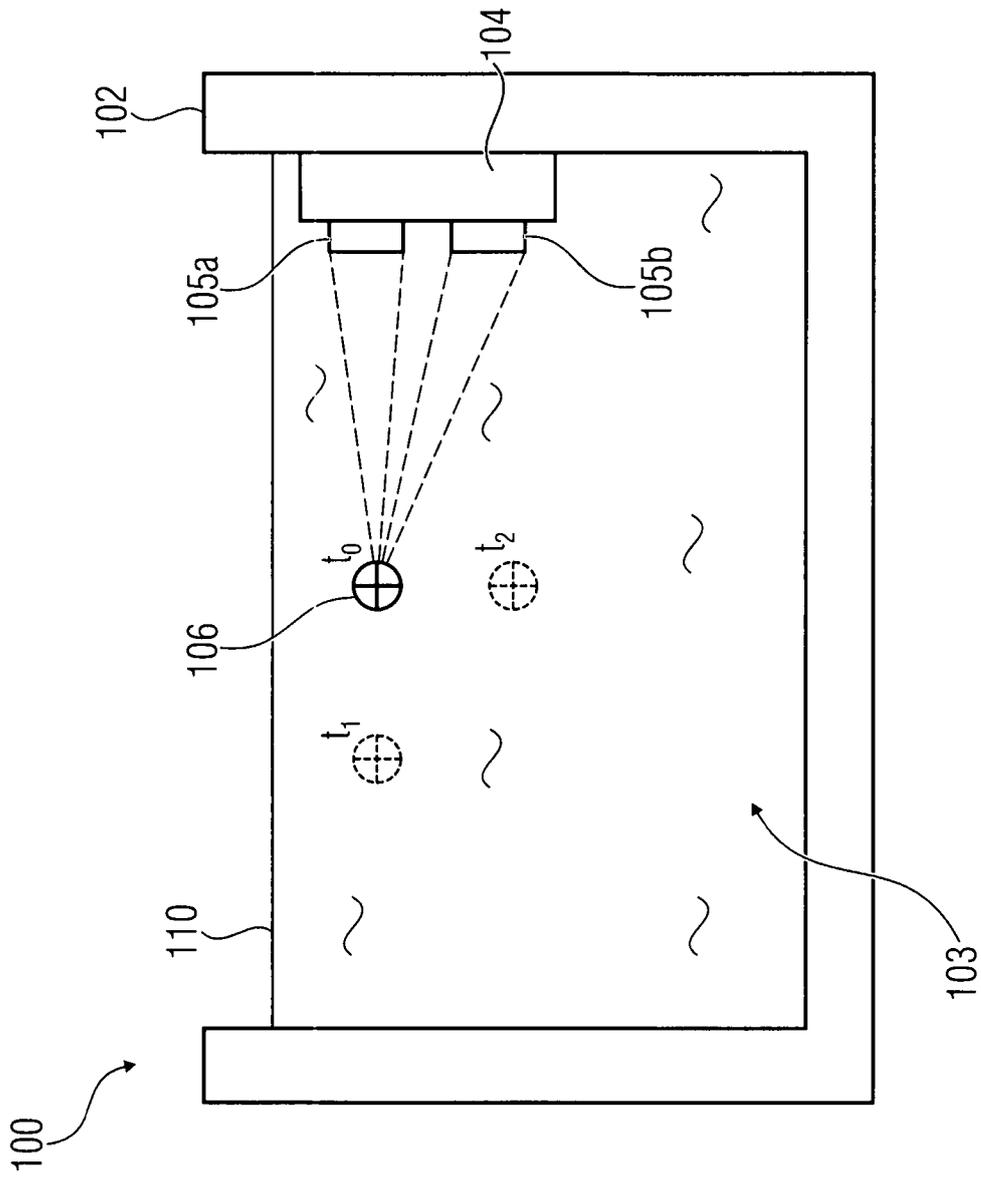


FIG 5

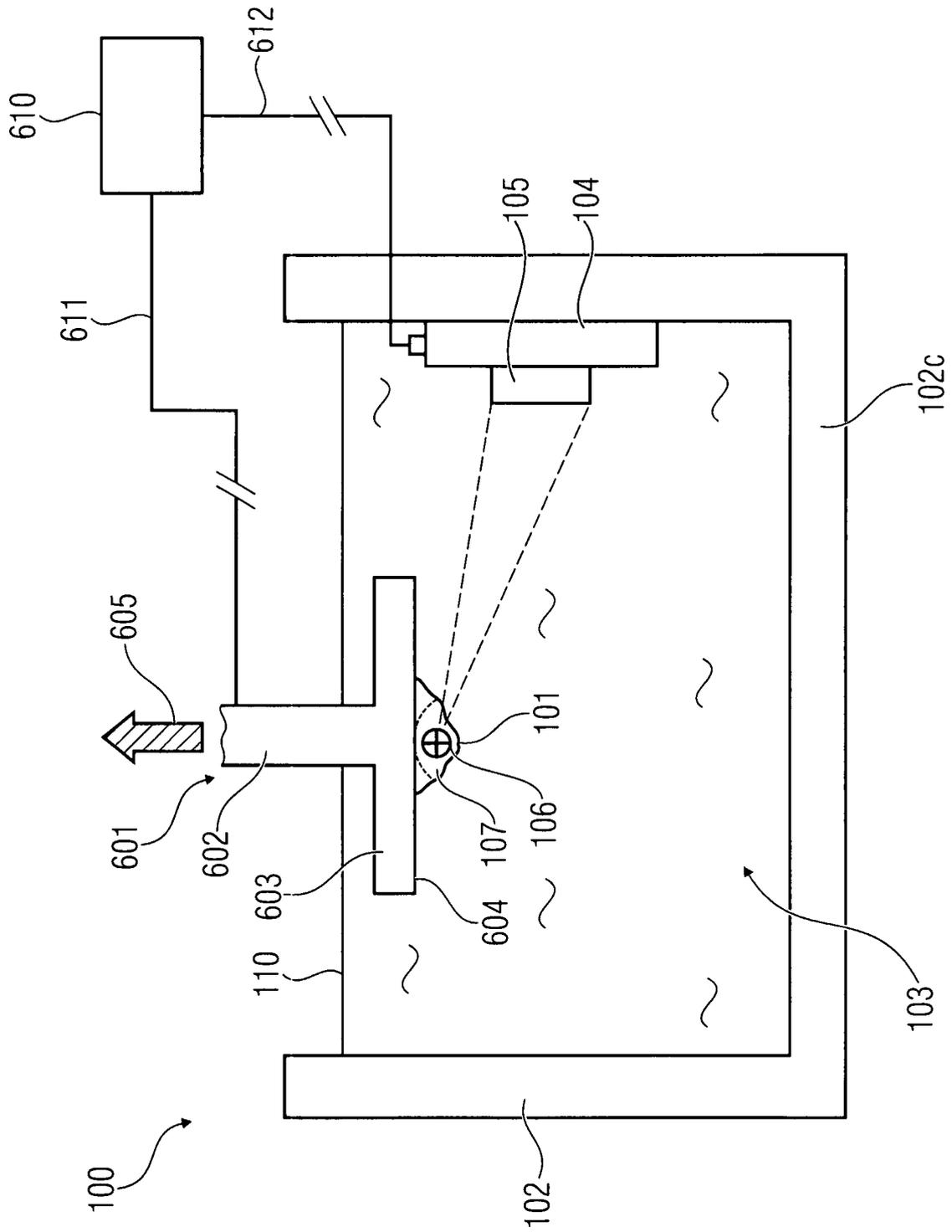


FIG 6

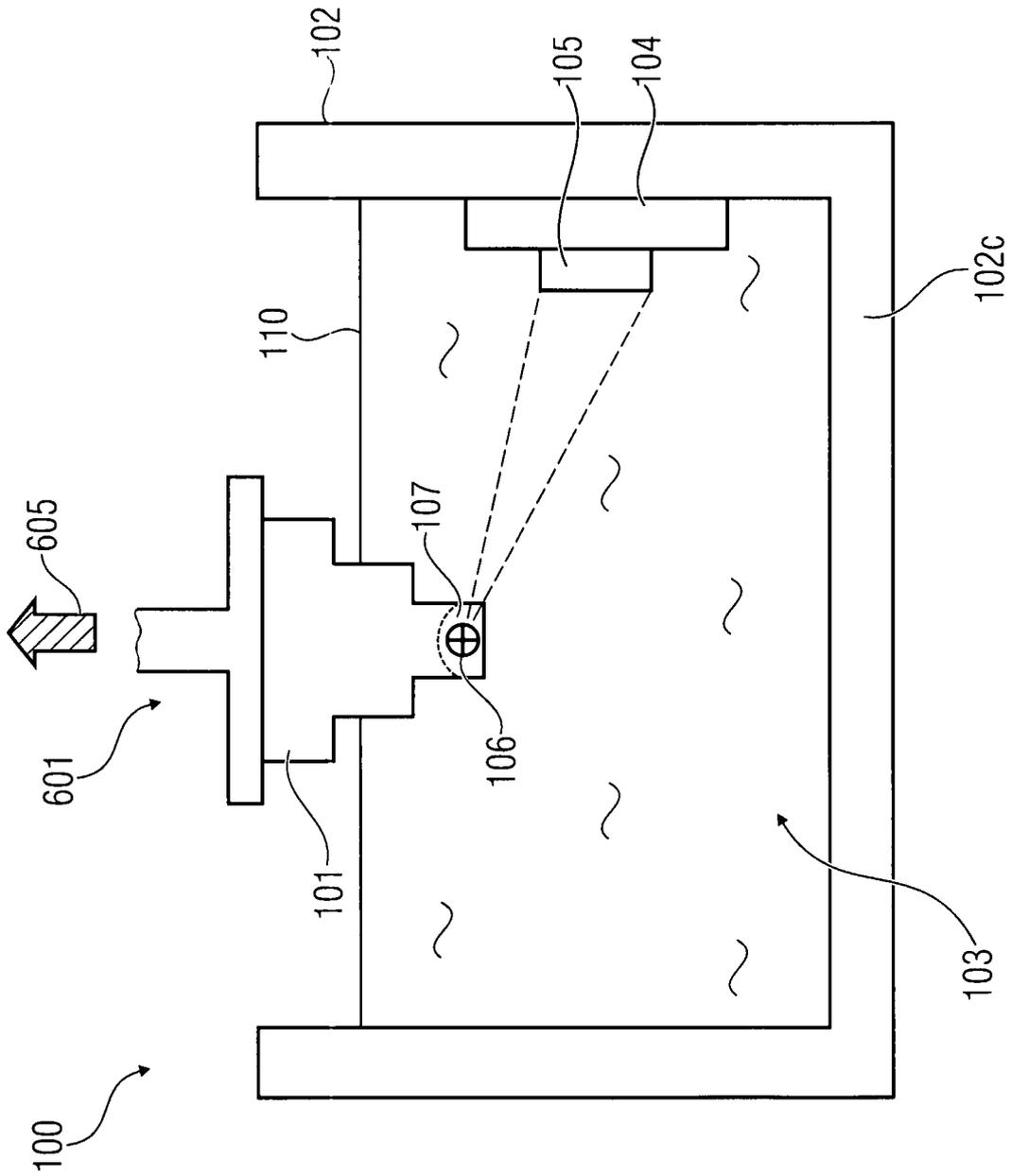
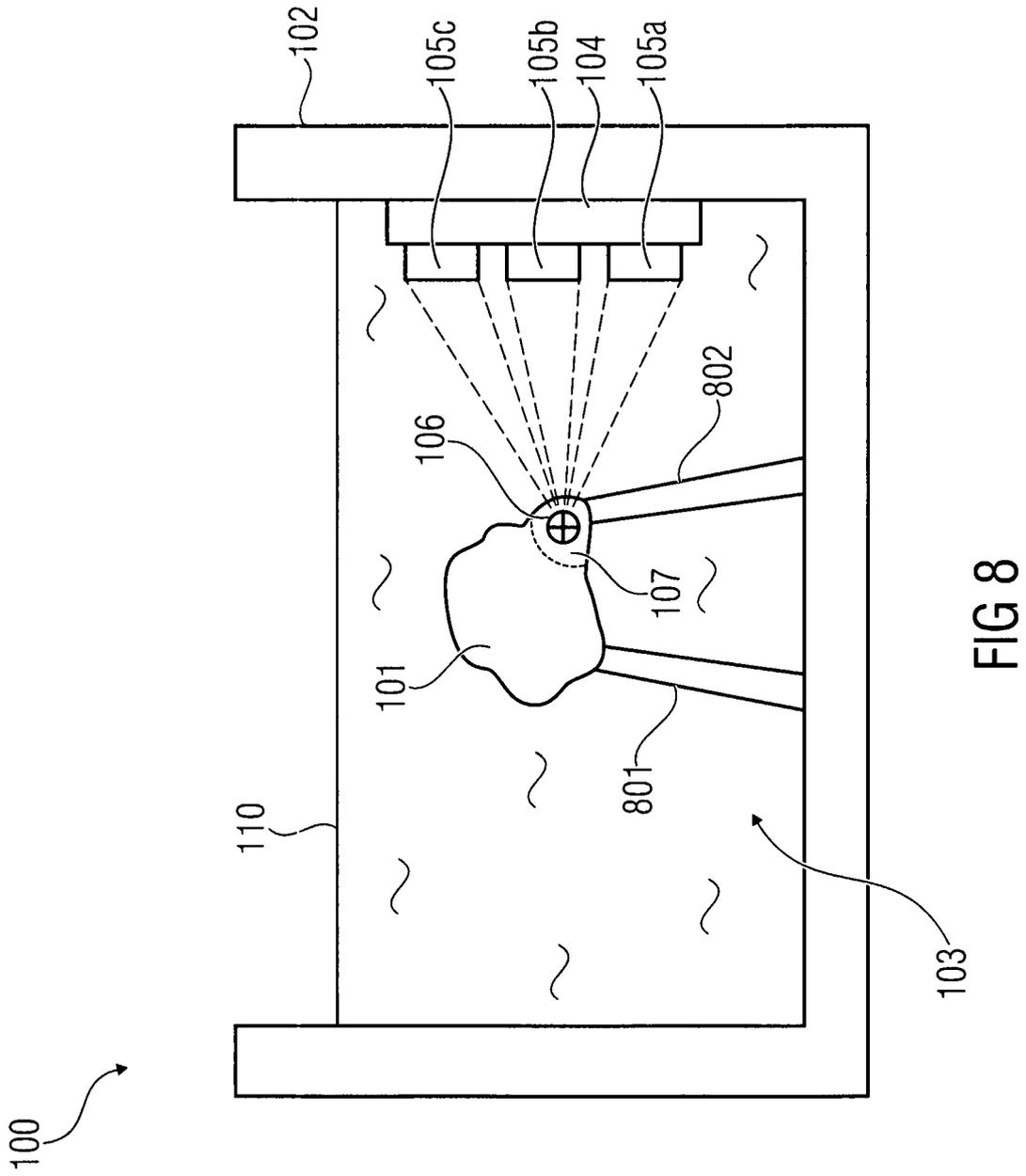


FIG 7



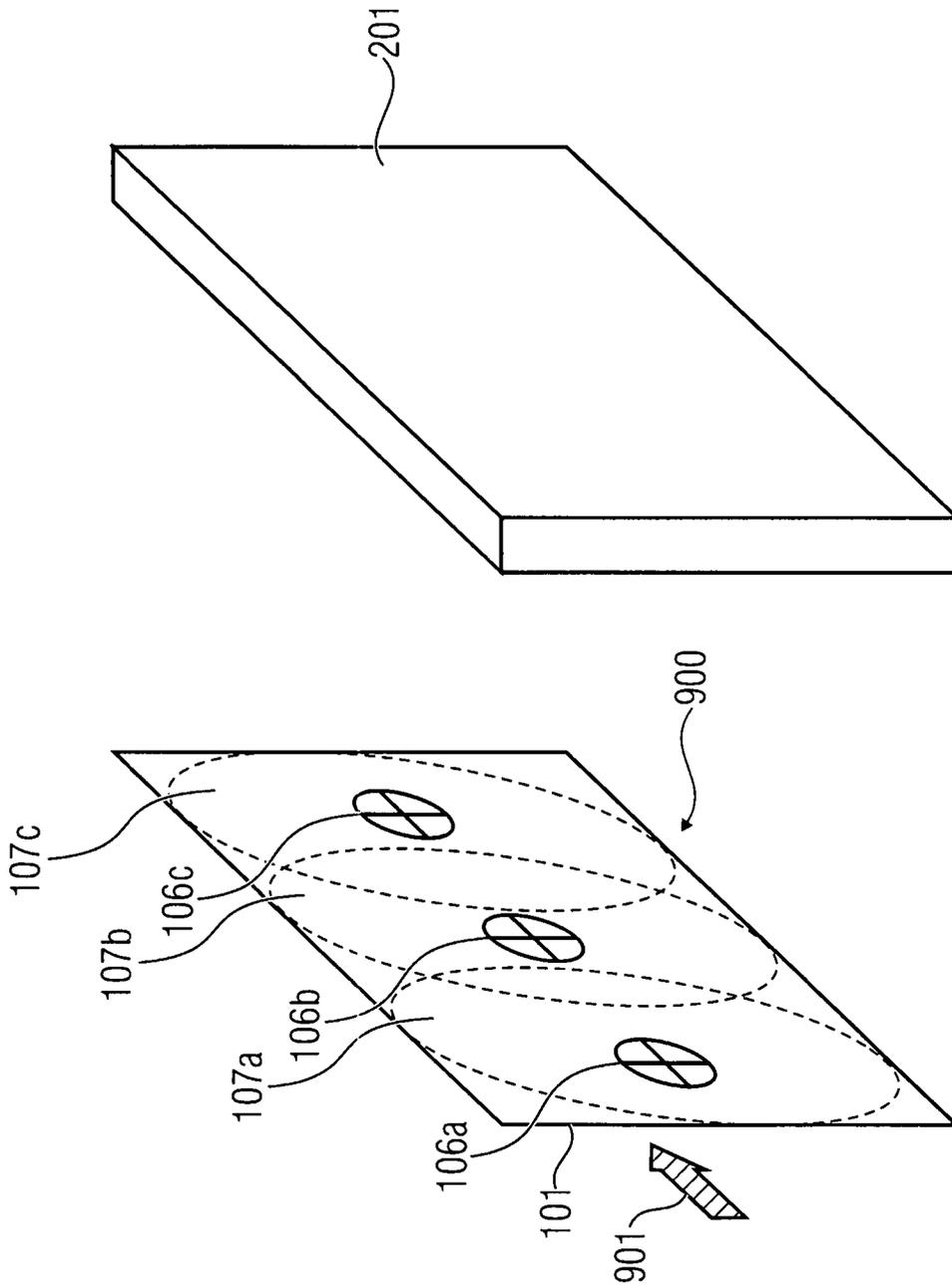


FIG 9A

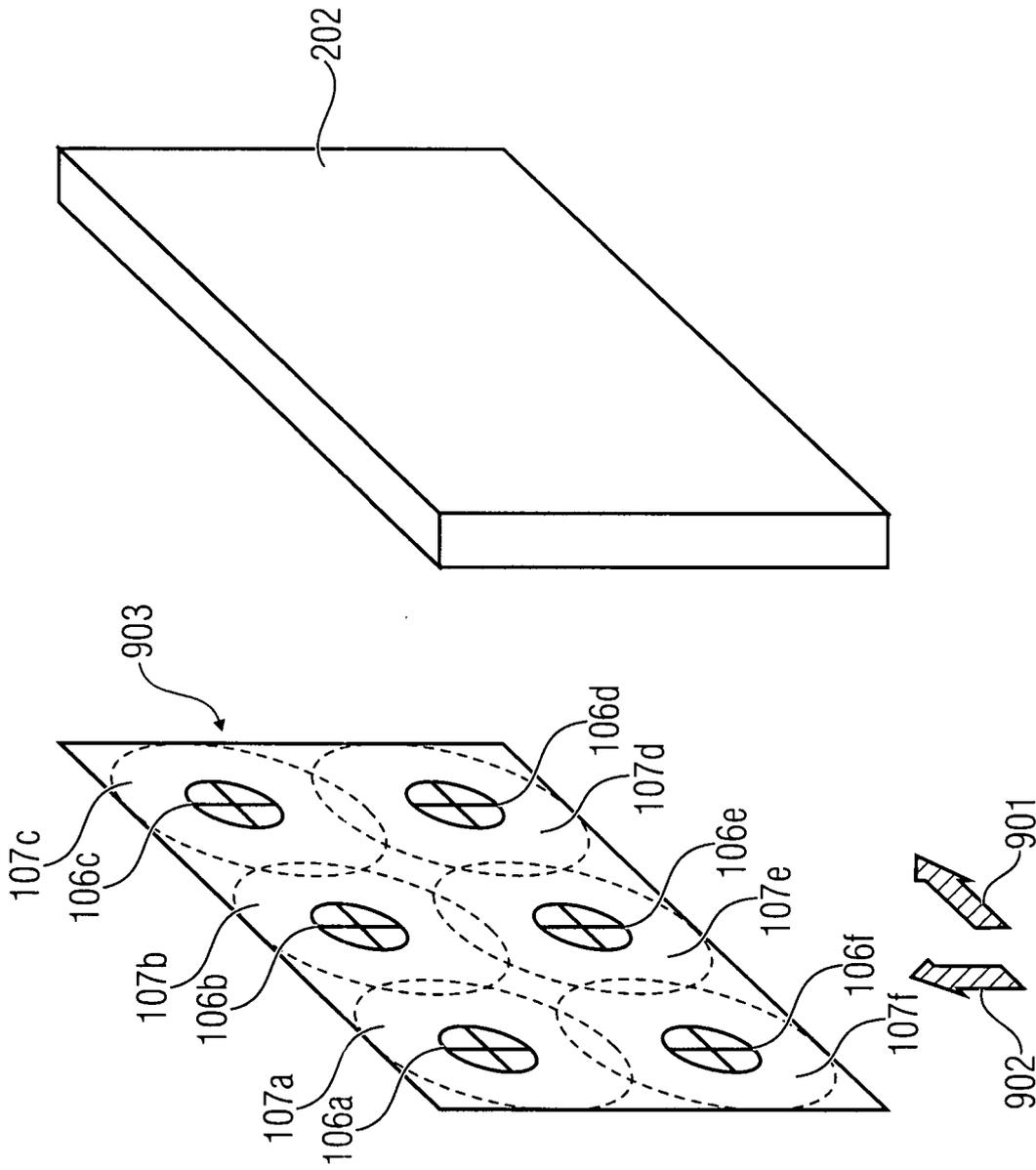


FIG 9B