



(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2013 207 243.0**
(22) Anmeldetag: **22.04.2013**
(43) Offenlegungstag: **23.10.2014**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **02.10.2019**

(51) Int Cl.: **B29C 35/08 (2006.01)**
B29C 41/46 (2006.01)
B29C 33/42 (2006.01)

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

(73) Patentinhaber:
**Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung e.V., 80686 München, DE**

(74) Vertreter:
**Schoppe, Zimmermann, Stöckeler, Zinkler,
Schenk & Partner mbB Patentanwälte, 81373
München, DE**

(72) Erfinder:
**Wippermann, Frank, Dr., 98617 Meiningen, DE;
Reimann, Andreas, 99510 Apolda, DE; Dunkel,
Jens, 07745 Jena, DE; Bräuer, Andreas, Dr., 07646
Schlöben, DE**

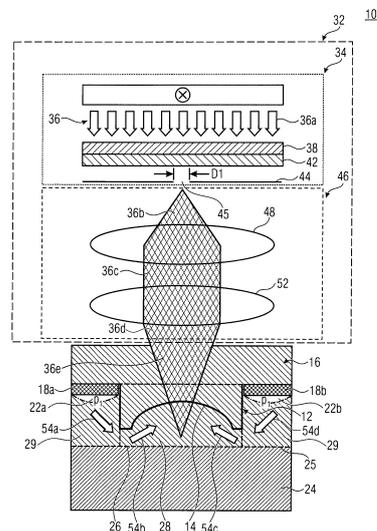
(56) Ermittelte Stand der Technik:

DE	10 2009 055 080	A1
EP	0 322 353	A2
WO	2009/ 069 940	A1

(54) Bezeichnung: **VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINER STRUKTUR AUS
AUSHÄRTBAREM MATERIAL DURCH ABFORMUNG**

(57) Hauptanspruch: Vorrichtung zum Herstellen einer Struktur aus aushärtbarem Material durch Abformung, mit folgenden Merkmalen:

einem Abformwerkzeug (12) mit einer Abformfläche (14);
einer Einrichtung zum Anordnen des Abformwerkzeugs (14) oberhalb einer Oberfläche (25) so dass das aushärtbare Material (28) in einen Bereich zwischen der Oberfläche (25) und der der Oberfläche (25) zugewandten Abformfläche (14) des Abformwerkzeugs (12) angrenzt und so dass weiteres aushärtbares Material (29) in den Bereich (26) nachfließen kann; und
einer Bestrahlungseinheit (32) mit einer Strahlungsquelle (34) und einem optischen Kanal (46); wobei die Bestrahlungseinheit (32) ausgebildet ist, um eine lokal variierende Bestrahlung des aushärtbaren Materials (28) in dem Bereich (26) so durchzuführen, dass das aushärtbare Material (28) lateral entlang der Oberfläche (25) variierend unterschiedlich schnell aushärtet, und Schwindungen beim Aushärten des aushärtbaren Materials (28) durch das weitere aushärtbare Material (29) ausgeglichen werden;
der optische Kanal (46) zumindest ein erstes optisches Element (48;52) zur Strahlformung einer von der Strahlungsquelle (34) emittierten Strahlung (36) aufweist, so dass die Strahlung (36) bei einer Durchquerung des optischen Kanals (46) in Richtung des Abformwerkzeugs (12) eine Strahlungsbündelung erfährt;
dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung einen Bildsensor (64') aufweist; und
der optische Kanal (46) ein strahlteilendes Element (56) umfasst, ...



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf die Herstellung von Strukturen aus aushärtbarem Material durch Abformung und ein Verfahren zum Aushärten desselben durch eine Strahlung.

[0002] UV-härtende Kunststoffe, wie beispielsweise Ormocere, UV-Klebstoffe von Delo, Norland, Epoxy Technology oder Panacol-Elosol schwinden während der Bestrahlung im Bereich einiger Prozent des Volumens. Werden die Kunststoffe während eines Herstellungsprozesses abgeformt und anschließend bestrahlt, resultieren Formabweichungen zwischen Werkzeug und abgeformter Struktur, die speziell bei optischen Anwendungen nicht akzeptiert werden können.

[0003] Die Abformung unter Nutzung von UV-härtbaren Polymeren erfolgt unter anderem in zwei Varianten und dadurch bedingt in zwei verschiedenen Arten von Geräten. Das Verfahren beinhaltet entweder die Abformung vieler Strukturen zeitgleich, parallel miteinander auf großer Fläche oder die wiederholte Abformung einzelner Strukturen in einem sequenziellen Prozess, wobei die einzelnen Abformungen auf einem gemeinsamen Substrat räumlich nebeneinander ausgeführt werden.

[0004] Die erste Prozessvariante erfolgt zumeist in einem Mask-Aligner, der die genaue Positionierung des Abformwerkzeuges bezüglich Markierungen auf dem Substrat, auf das abgeformt werden soll, ermöglicht. Zur Aushärtung wird das auf dem Substrat vorhandene Polymer durch das Werkzeug hindurch oder durch das Substrat hindurch mit UV-Strahlung bestrahlt und mithin ausgehärtet.

[0005] Ein mögliches Verfahren zur Bestrahlung durch das Werkzeug oder das Substrat hindurch ist aus DE10 2009 055 080 A1 bekannt.

[0006] Die zweite Prozessvariante erfolgt zumeist in einer sogenannten Step & Repeat-Maschine, die z. B. ein adaptiertes Nano-Imprint-Lithografiegerät sein kann. Dabei wird auf einem Substrat eine definierte Menge auszuhärtendes Polymer abgelegt, so dass sich ein Tropfen Polymer auf dem Substrat bildet. Anschließend wird ein Abformwerkzeug auf den Tropfen positioniert, so dass der Tropfen zum einen die Form der späteren Struktur annimmt und zum anderen mit dem Abformwerkzeug auf dem Substrat positioniert werden kann.

[0007] Anschließend erfolgt die Aushärtung des Polymers durch UV-Strahlung, wobei die UV-Strahlung beispielsweise durch ein transparent ausgestaltetes Abformwerkzeug oder durch das Substrat hindurch eine Aushärtung des Polymers bewirken kann.

[0008] Nachdem das Polymer ausgehärtet ist, wird das Abformwerkzeug entfernt und auf einen zeitweilig positionierten weiteren Tropfen Polymer positioniert, um die nächste Struktur auszuformen. Auf diese Art und Weise werden nach und nach alle abzuformenden Strukturen auf dem Substrat angebracht. Ein solches Verfahren erlaubt ein beliebiges Muster der Einzelstrukturen des Abformwerkzeuges auf dem Substrat mit einer Positionsgenauigkeit von besser 1 µm.

[0009] Ein möglicher Ablauf der einzelnen Prozessschritte ist in **Fig. 11** dargestellt.

[0010] Sowohl während des parallelen Prozesses als auch während des sequenziellen Prozesses führt Materialschwindung während der Aushärtung des Polymers dazu, dass die durch das Abformwerkzeug vorgegebene Form der optischen Struktur, beispielsweise der Linse, nicht exakt eingehalten werden kann und so Ungenauigkeiten in der Linse auftreten oder durch die Schwindung induzierte mechanische Spannungen zu einer Verformung des Substrats führen. In der DE10 2009 055 080 A1 wird ein Verfahren erläutert, welches es gestattet, die Materialschwindung während der Aushärtung durch weiteres nachfließendes Polymer auszugleichen. Dazu wird eine lokal variierende Bestrahlung derart durchgeführt, dass eine variable Blende mit veränderlicher Aperturgröße eine veränderliche Intensität der aushärtenden Strahlung und eine veränderliche Größe der erzeugten Aushärtezonen ermöglicht, so dass zuerst ein zentraler Bereich der zu bildenden Linse ausgehärtet, dort auftretende Materialschwindung durch nachfließendes Material kompensiert werden kann und anschließend die peripheren Regionen der Linse ausgehärtet werden können.

[0011] Die Festlegung der Aushärtezonen erfolgt bei diesem Verfahren durch den von der variablen Blende verursachten Schattenwurf. Somit erfolgt die Aushärtung des Polymers durch eine zeitliche Steuerung der Transmissionsfunktion der eine Strahlungsquelle und eine variable Blende umfassenden Beleuchtungsoptik. Ein wesentlicher Vorteil liegt darin, dass die nicht wie bei anderen Verfahren mit einer Flutbeleuchtung über den gesamten Wafer gleichzeitig, sondern durch eine in ihrem Durchmesser variable Blende, wie beispielsweise eine mechanische Irisblende oder ein LCD-Display erfolgt. Trotz der größeren Konturtreue der so ausgebildeten Linsen, erlaubt dieser Prozess noch keine direkte Beobachtung des Prozessfortschrittes oder eine Beurteilung, ob ein aktiver Eingriff in den Prozess erforderlich ist. Eine weitere optische Justierung der härtenden Strahlung erfolgt in dem beschriebenen Prozess nicht.

[0012] Aus der EP 0 322 353 A2 sind eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Herstellung von kunststoffbasierten optischen Elementen bekannt. Die

Herstellung erfolgt unter Befüllen einer Form mit einem Hohlraum, der eine Form aufweist, die einer Form des optischen Elements entspricht. Der Hohlraum weist mindestens eine Seite auf, deren Form zur Bildung einer Oberfläche des optischen Elementes aus lichtdurchlässigem Material besteht, so dass Licht durch das Material in den Formhohlraum gelangt, um eine Photohärtungsreaktion auszuführen wobei die Bestrahlung unter Erweiterung des Lichts in einer Ringform umfasst.

[0013] In der DE 10 2009 055 080 A1 ist ein Verfahren zum Herstellen einer Struktur aus aushärtbarem Material durch Abformung beschrieben. In einem ersten Schritt des Verfahren wird ein Abformwerkzeug oberhalb einer Oberfläche angeordnet, so dass in einem Bereich zwischen dem Abformwerkzeug und der Oberfläche das aushärtbare Material an die Oberfläche und eine der Oberfläche zugewandten Abformfläche des Abformwerkzeugs angrenzt, und so dass weiteres aushärtbares Material in den Bereich nachfließen kann. In einem zweiten Schritt wird das aushärtbare Material lokal variierend in dem Bereich bestrahlt, so dass das aushärtbare Material lateral variierend unterschiedlich schnell aushärtet, und Schrumpfungen beim Aushärten des aushärtbaren Materials durch das weitere aushärtbare Material ausgeglichen werden. In einem dritten Schritt des Verfahrens wird ein konstanter Druck an das weitere aushärtbare Material angelegt. Weiterhin werden ein zweites Verfahren und eine Vorrichtung zum Herstellen einer Struktur aus aushärtbarem Material durch Abformung und ein Abformwerkzeug für ein optisches Bauteil beschrieben

[0014] In der WO 2009/069 940 A1 ist eine Vorrichtung zur Herstellung einer Linse mit einer Form, die eine UV-härtbare Harzbasis formt, eine UV-Quelle, die das UV-härtbare Harz mit UV-Licht bestrahlt und eine Steuerung, bspw. eine Maske, die eine Bestrahlungsrate, steuern kann.

[0015] Wünschenswert wäre demnach ein Konzept, das eine kontrollierbare Aushärtung und Abformung und damit eine Reduktion von Herstellungsausschuss ermöglicht. Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein Konzept zu schaffen, das eine Reduktion von Herstellungsausschuss ermöglicht.

[0016] Diese Aufgabe wird durch eine Vorrichtung gemäß Anspruch 1 und ein Verfahren gemäß Anspruch 12 gelöst.

[0017] Der Kerngedanke der vorliegenden Erfindung besteht darin, erkannt zu haben, dass obige Aufgabe gelöst werden kann, wenn die aushärtende Strahlung durch die Anordnung eines strahlformenden optischen Elementes in einem optischen Kanal zwischen Strahlungsquelle und Abformwerkzeug Strah-

lung gebündelt wird. Dadurch ist es möglich, eine genauere Steuerung der Aushärtung des aushärtbaren Polymers zu erhalten.

[0018] Gemäß einem Ausführungsbeispiel sind zwei strahlformende optische Elemente in einem optischen Kanal angeordnet. Dabei wird ein sich in Strahlrichtung verbreitender Strahlungskegel durch ein erstes strahlformendes optisches Element zu einem Strahl mit annähernd konstanter Breite geformt und im weiteren Verlauf des Strahls durch ein zweites strahlformendes optisches Element derart gebündelt, die Intensität der Strahlung in Richtung des Abformwerkzeuges steigt. Durch die Kombination einer in Aperturgröße und/oder lateralen Position der Apertur variablen Blende mit den strahlformenden Elementen kann die das Polymer aushärtende Strahlung exakt gesteuert und somit die Exaktheit der Kontur der Linse verbessert werden.

[0019] Gemäß einem alternativen Ausführungsbeispiel ist zwischen dem ersten und dem zweiten strahlformenden Element ein strahlteilendes Element angeordnet, so dass ein Teil der von der Strahlungsquelle emittierenden Strahlung ausgekoppelt und von einer Kamera erfasst werden kann, um so eine Beobachtung der Strahlungsquelle zu ermöglichen.

[0020] Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel koppelt ein strahlteilendes Element einen Teil der aus der Richtung des Formwerkzeuges zurückgeworfenen Strahlung aus und lenkt diese ebenfalls auf eine Kamera, um so die Beobachtung der Aushärtezzone zu ermöglichen.

[0021] Weitere vorteilhafte Ausführungsformen sind der Gegenstand der abhängigen Patentansprüche.

[0022] Bevorzugte Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend Bezug nehmend auf die beiliegenden Zeichnungen erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Querschnittansicht einer Vorrichtung zum Aushärten aushärtbaren Materials mit einem optischen Kanal und strahlformenden Elementen;

Fig. 2 eine schematische Querschnittansicht einer Vorrichtung mit einem optischen Kanal, strahlformenden optischen Elementen und einem strahlteilenden optischen Element und einer Kamera;

Fig. 3 eine schematische Querschnittansicht einer Vorrichtung mit einem alternativen strahlteilenden optischen Element;

Fig. 4 eine schematische Querschnittansicht einer Vorrichtung, bei der der optische Kanal eine variable Blende umfasst;

Fig. 5 eine schematische Querschnittsansicht einer Vorrichtung, bei der an dem Werkzeugsubstrat Blendenstrukturen und optische Mikrostrukturen angeordnet sind;

Fig. 6a-c eine schematische Darstellung einer variablen Blende;

Fig. 7 eine schematische Querschnittsansicht einer Vorrichtung zum lokal variierenden Bestrahlen mittels einer variablen Blende und mehrerer nebeneinander angeordneter Abformwerkzeuge;

Fig. 8 ein Flussdiagramm eines Verfahrens zum Herstellen einer Struktur aus aushärtbarem Material;

Fig. 9 ein Flussdiagramm eines alternativen Verfahrens zum Herstellen einer Struktur aus aushärtbarem Material;

Fig. 10 eine schematische Querschnittsansicht einer Vorrichtung zum Herstellen einer Struktur aus aushärtbarem Material;

Fig. 11 eine Darstellung eines Abform- und Aushärteprozesses mit einer Step & Repeat-Maschine.

[0023] **Fig. 1** zeigt eine Vorrichtung **10** mit einem Abformwerkzeug **12**, welches eine Abformfläche **14** umfasst und an einem Werkzeugsubstrat **16** gebildet ist. Lateral benachbart zum Abformwerkzeug **12** sind am Werkzeugsubstrat **16** Membranschichten **18a** und **18b** angeordnet, die in einem Kanalbereich lose am Werkzeugsubstrat **16** anliegen und den Kanalbereich fluiddicht am Werkzeugsubstrat abschließen. Der fluiddicht abgeschlossene Kanalbereich bildet so Kanalstrukturen **22a** und **22b** aus. Die Abformfläche **14** kann dabei auch eine Beschichtung umfassen, die ein Anhaften von abgeformten Materialien am Abformwerkzeug **12** zu verhindern.

[0024] Das Abformwerkzeug **12** ist gegenüber einem Substrat **24** derart positioniert, dass sich zwischen einer Oberfläche **25** des Substrats **24** und dem Abformwerkzeug **12** ein Bereich **26** ausbildet, in welchem aushärtbares Material **28** angeordnet ist. Zwischen den Membranstrukturen **18a** und **18b** und dem Substrat befindet sich angrenzend an den Bereich **26** weiteres aushärtbares Material **29**, das ausgebildet ist, um bei Anlegen eines Drucks p_1 in den Kanalstrukturen **22a** und **22b** einen Druck zu erfahren.

[0025] An der der Abformfläche **14** abgewandten Seite des Abformwerkzeuges **12** ist eine Bestrahlungseinheit **32** angeordnet. Sie umfasst eine Strahlungsquelle **34**, die eine Strahlung **36** emittiert. Strahlen der Strahlung **36** verlaufen an ihrem Ursprung annähernd parallel zueinander. In einer Strahlungsrichtung ist ein Graufilter **38** benachbart zu und in Strahlungsrichtung vor einer Streuscheibe **42** angeordnet. Das

Graufilter **38** ist ausgebildet, um eine eventuell zu große Intensität der Strahlung **36** abzumildern. Dagegen ist die Streuscheibe **42** ausgebildet, um eine Kollimation der Strahlung **36** aufzuheben und die Strahlung **36** zu streuen.

[0026] Benachbart zur Streuscheibe **42** ist eine variable Blende **44** mit einer, durch einen variablen Öffnungsdurchmesser **D1** ausgebildeten, variablen Abstrahlfläche **45** angeordnet. Die variable Abstrahlfläche **45** ist ausgebildet, eine durch die Streuscheibe **42** gestreute, kegelförmige Strahlung **36b** mit einer, durch den variablen Öffnungsdurchmesser **D1** gesteuerten, Kegelbreite aus der Strahlungsquelle **34** austreten zu lassen. Zwischen der variablen Blende **44** und dem Werkzeugsubstrat **16** ist ein optischer Kanal **46** angeordnet, der ein erstes strahlformendes optisches Element **48** und in einem weiteren Verlauf der Strahlungsrichtung ein zweites strahlformendes optisches Element **52** umfasst.

[0027] Die beiden strahlformenden optischen Elemente **48** und **52** sind dabei derart ausgebildet, dass sie einfallende Strahlung bündeln.

[0028] Dabei ist das erste strahlformende optische Element **48** derart ausgebildet und angeordnet, dass die auf das erste strahlformende optische Element **48** treffende Strahlung **36b** kollimiert wird und die Strahlen der Strahlung **36b** im weiteren Verlauf **36c** annähernd parallel zueinander liegen. Durch den annähernd parallelen Verlauf der Strahlen im Strahlungsabschnitt **36c** bleibt die Intensität der Strahlung über den Verlauf in Strahlungsrichtung annähernd konstant.

[0029] In Strahlrichtung wird die Strahlung **36c** durch das zweite strahlformende optische Element **52** derart gebündelt, dass die Intensität der Strahlung im Abschnitt **36d** durch die Bündelung steigt und im Bereich **26**, in dem das aushärtbare Material **28** angeordnet ist, unter Vernachlässigung einer Absorption der Strahlung durch das aushärtbare Material benachbart zur Oberfläche **25** ein lokales Maximum aufweist.

[0030] Alternativ kann das lokale Maximum der Intensität der Strahlung **36** beispielsweise auch derart positioniert sein, dass es sich zwischen der Abformfläche **14** und der Oberfläche **25** befindet. Prinzipiell kann das lokale Maximum an einer beliebigen axialen Stelle positioniert sein.

[0031] Eine Schwindung des aushärtbaren Materials **28**, der durch die Strahlung **36** ausgelöst wird, kann durch Anlegen eines Druckes p_1 in den Kanalbereichen **22a** und **22b** derart kompensiert werden, dass der Druck p_1 in den Kanalstrukturen **22a** und **22b** zu einem Druck in axial zu den Membranstrukturen **18a** und **18b** benachbarten Ausgleichsbereichen mit

dem weiteren aushärtbarem Material **29** führt und ein Nachfließen **54a-d** des weiteren aushärtbaren Materials **29** aus dem Ausgleichsbereich in den Bereich **26** bewirkt und durch Materialschwindung auftretende Lücken schließt. Ausgleichsbereiche, in denen das weitere aushärtbare Material **29** angeordnet ist, sind derart angeordnet, dass das weitere aushärtbare Material **29** keine Bestrahlung erfährt und mithin unausgehärtet bleibt. Hierfür wird entweder die Strahlung **36** am weiteren aushärtbaren Material **29** vorbei gelenkt oder das weitere aushärtbare Material **29** wird vor der Strahlung **36**, beispielsweise durch eine Blende, abgeschirmt. Die axial zu den Membranstrukturen **18a** und **18b** benachbarten Ausgleichsbereiche sind dabei kein Teil optischer Funktionsbereiche der auszuhärtenden Struktur. Nach einer erfolgten Bestrahlung der auszuhärtenden Struktur kann das weitere aushärtbare Material **29** beispielsweise durch ein vollständiges Öffnen der Blende **44** ebenfalls ausgehärtet oder in einem nachfolgendem Bearbeitungsschritt entfernt werden, beispielsweise durch ein Lösungsmittel.

[0032] Durch die Anordnung der beiden strahlformenden optischen Elemente **48** und **52** ist es möglich, die in den Bereich **26** eintretende Strahlung **36** mit großer Exaktheit zu justieren. In Kombination mit der variablen Blende **44** kann die Leistung der Strahlung **36** derart genau gesteuert werden, dass die Konturtreue und mithin die Qualität abgeformter Linsen wesentlich gesteigert werden kann. Dabei ist die Blende **44** ausgebildet, dass durch die Justierung der Größe Abstrahlfläche **45** der variablen Blende **44** die laterale Ausdehnung des zu einem Zeitpunkt bestrahlten Bereichs steuerbar ist, wohingegen die strahlformenden optischen Elemente **48** und **52** ausgebildet sind, die Steuerung des Grades der Bündelung der Strahlung **36** und mithin eines Punktes mit maximaler Strahlungsintensität zu ermöglichen.

[0033] Im Abschnitt **36c** können weitere optische Elemente zur Beurteilung der Strahlungsquelle und/oder zum Beobachten der Aushärtezone im Bereich **26** angeordnet sein, wie nachfolgende Ausführungsbeispiele zeigen.

[0034] Die variable Blende **44** in Kombination mit den strahlformenden optischen Elementen **48** und **52** ermöglichen eine variable Aushärtung des aushärtbaren Materials **28** entlang der Oberfläche **25** mit einer exakten Justierung der Aushärtezone durch die strahlformenden optischen Elemente **48** und **52**.

[0035] Die Nutzung strahlformender Optiken erweitert die Möglichkeiten der Steuerung des Aushärteprozesses und ermöglicht eine weitere Verbesserung der Konturtreue, da das von der UV-Strahlung beleuchtete und mithin aushärtende Polymervolumen entsprechend der erzielten Strahlbeeinflussung optimal geformt werden kann. Es gestattet weiterhin

die räumliche Trennung von variabler Blende und Werkzeugkontur. Im Fall der Prozessführung mit einer Abformung vieler Strukturen zeitgleich und parallel nebeneinander durch einen Mask-Aligner sind viele gleichartige Strukturen, Werkzeuge und Strahlformungsoptiken nebeneinander angeordnet. Im Falle der sequenziellen Prozessführung mit einer Step & Repeat-Maschine wird eine Einzelanordnung von Werkzeug und Strahlformungsoptik genutzt.

[0036] Fig. 1 zeigt einen optischen Kanal **46** mit einem aus den strahlformenden optischen Elementen **48** und **52** gebildeten zweilinsigen Strahlengang, der die Ebene der variablen Blende **44** in die Nähe der Aushärtezone und mithin in die Nähe der Substratoberfläche **25** abbildet.

[0037] Fig. 2 zeigt Vorrichtung **10** aus Fig. 1, bei der in dem zweilinsigen Strahlengang des optischen Kanals **46** und bei der in Strahlungsrichtung zwischen dem ersten strahlformenden optischen Element **48** und dem zweiten strahlformenden optischen Element **52** ein strahlteilendes optisches Element in Form eines Strahlteilerwürfels **56** angeordnet ist.

[0038] Der Strahlteilerwürfel **56** ist ausgebildet, um einen Teil der Strahlung **36c** auszukoppeln und so angeordnet, dass ein ausgekoppelter Anteil **58** auf eine Bildfläche einer Kamera **64** gelenkt wird. Die Kamera **64** ist ausgebildet, um eine Beobachtung und Auswertung der emittierten Strahlung **36** zu ermöglichen. Die Auswertung kann beispielsweise die Form des Strahls im Abschnitt **36b** oder den Grad der Streuung der Strahlung durch die Streuscheibe **42** betreffen. Auch ist denkbar, dass die Intensität der Strahlung **36** auf diese Art und Weise überwacht werden kann.

[0039] Obwohl in Fig. 2 das strahlteilende optische Element **56** in Form eines Strahlteilerwürfels dargestellt ist, ist es ebenfalls denkbar, dass ein anders ausgeformtes strahlteilendes optisches Element verwendet wird, wie beispielsweise ein Pelikel oder ein Strahlteilerblättchen, um einen Teil der Strahlung seitlich auszukoppeln.

[0040] Fig. 3 zeigt eine Vorrichtung analog Vorrichtung **10** in Fig. 2, bei der der Strahlteilerwürfel **56** derart angeordnet ist, dass ein Teil einer von dem Abformwerkzeug oder der Aushärtezone zurückgeworfenen Strahlung ausgekoppelt und der ausgekoppelte Anteil **58'** der zurückgeworfenen Strahlung auf die Bildfläche der Kamera **64'** gelenkt wird, um eine Beobachtung der Aushärtezone zu ermöglichen.

[0041] Obwohl in Fig. 3 das strahlteilende optische Element **56** als Strahlteilerwürfel dargestellt ist, ist analog Fig. 2 auch eine andere Ausbildungsform des strahlteilenden Elementes, beispielsweise als Pelikel oder als Strahlteilerblättchen, denkbar.

[0042] Werden die Ausführungsbeispiele der **Fig. 2** und **Fig. 3** kombiniert, so ist vorstellbar, dass eine Beobachtung und Auswertung der Strahlungsquelle in Kombination mit einer Beobachtung und Auswertung der Aushärtezone ein Steuer- oder Regelkreis aufgebaut wird, dass die den optischen Kanal durchquerende Strahlung derart durch die Strahlungsquelle, die variable Blende oder die strahlformenden optischen Elemente beeinflusst wird, dass die Aushärtung in einer gewünschten Art und Weise optimiert wird. So kann beispielsweise eine beobachtete zu rasche Aushärtung durch einen stärker dämpfenden Graufilter **38** ausgeglichen werden, so dass die Strahlungsintensität reduziert und damit die Aushärtung verlangsamt wird. Eingriffe in den Aushärteprozess, wie bspw. eine Justierung der Strahlungsintensität, können über eine automatisierte Steuerung oder Regelung erfolgen, über die eine Auswertung der Strahlungsquelle und/oder der Aushärtezone erfolgt. Alternativ oder zusätzlich kann eine Beobachtung und/oder Auswertung der Strahlungsquelle und/oder der Aushärtezone sowie der Eingriff in den Aushärteprozess manuell durch einen Bediener erfolgen.

[0043] Dies kann dabei in einem laufenden Prozess erfolgen, so dass Materialausschüsse durch eventuelle Fehlproduktionen vermindert werden können.

[0044] Obwohl in **Fig. 3** und **Fig. 4** eine Kamera zur Beobachtung der Aushärtungszone respektive der Strahlungsquelle dargestellt ist, sind auch andere Arten von Bildsensoren möglich, beispielsweise ein Intensitätsmesser.

[0045] **Fig. 4** zeigt Vorrichtung **10**, bei der in Strahlungsrichtung zwischen dem ersten strahlformenden optischen Element **48** und dem zweiten strahlformenden optischen Element **52** eine weitere variable Blende **66** angeordnet ist. Die weitere variable Blende **66** umfasst eine in Größe und lateraler Position variable Apertur **67** mit dem variablen Durchmesser **D2**. Durch den annähernd parallelen Verlauf der Strahlen der Strahlung **36** im Abschnitt **36c** ist eine lineare Skalierung der in Strahlungsrichtung weiterhin von der Strahlung **36** umfassten Strahlungsleistung durch die variable Apertur **67** möglich.

[0046] Die variable Blende **66** ist zudem ausgebildet, die laterale Ausdehnung **68**, in welcher der Bereich **26** von der Strahlung **36** bestrahlt wird, präzise zu justieren, da der bestrahlte Bereich lateral sehr präzise aufgelöst werden kann.

[0047] Es ist denkbar, dass die in **Fig. 4** beschriebene weitere variable Blende **66** in den vorangehend beschriebenen Steuer-Regelungskreis integriert ist. Dadurch sind weitere Optimierungen des Herstellungsprozesses vorstellbar.

[0048] **Fig. 5** zeigt eine Vorrichtung **10** analog **Fig. 1** mit einem zweilinsigen Strahlengang, bei der am Substrat des Abformwerkzeuges Mikrostrukturen **72** zur lokalen Einstellung der Divergenz der Beleuchtung und Blendenstrukturen **74a** und **74b** zur Abschirmung von Bereichen **76a** und **76b** vor Bestrahlung angeordnet sind.

[0049] Eine stark gerichtete Bestrahlung des aushärtbaren Materials **28** kann zur Bildung von Brechzahlgradienten im aushärtbaren Material **28** führen, was zu Schlieren und mithin verschlechterter optischer Funktion des ausgehärteten Materials führen kann. Eine Vermeidung der Schlierenbildung kann daher durch eine diffuse Bestrahlung erreicht werden. Die Nutzung der lokalen Mikrostrukturen **72** ermöglicht die Diffusion eintreffender Strahlung und führt damit zur lokal erhöhter Divergenz der Strahlung, was die Ausbildung von Schlieren vermeidet. Das von der Optik transmittierte Licht kann so lokal gestreut und die Richtungswirkung der vorgeschalteten Optik teilweise oder gänzlich aufgehoben werden.

[0050] Anstelle der gezeigten Mikrolinsen **72** können zur Diffusion der eintretenden Strahlung auch diffraktive Elemente, Oberflächen- oder Volumendiffusoren am Werkzeugs substrat angeordnet sein. Diese Elemente können ebenso wie die Mikrolinsen ein- oder beidseitig, durchgängig oder diskontinuierlich ausgebildet sein und auf einer oder mehreren Seiten des Werkzeuges oder des Werkzeugs substrates angeordnet sein. Auch können die Elemente zur lokalen Diffusion am Substrat angeordnet sein, um Strahlung, die durch das Substrat hindurch auf das aushärtbare Material trifft, lokal zu divergieren.

[0051] Die Blendenstrukturen **74a** und **74b** dienen zur Abschirmung von Bereichen **76a** und **76b**, welche während einer Bestrahlung durch das Abformwerkzeug **12** respektive des Werkzeugs substrates **16** oder die Membranstrukturen **18a**, **18b** hindurch nicht ausgehärtet werden sollen. Die Blendenstrukturen **74a** und **74b** schirmen die Strahlung **36** derart ab, dass die kanalartigen Schatten **76a** und **76b** ausgebildet werden. In den Bereichen der Schatten **76a** und **76b** bleibt das aushärtbare Material **28** oder das weitere aushärtbare Material **29** während einer Bestrahlung unausgehärtet. Nach einem, der Aushärtung folgendem, Reinigungs- oder Entwicklungsvorgang ist in diesen Bereichen kein ausgehärtetes Material angeordnet. Diese Bereiche können dann beispielsweise zum Eingeben eines Lösungsmittels oder zum Lösen von löslichem aushärtbarem Material, um Lufträume zu erzeugen, genutzt werden.

[0052] Die Anordnung von Mikrostrukturen oder Blendenstrukturen erweitert den Anwendungs bereich strahlformender Vorrichtungen dahin gehend, dass zusätzliche Freiheitsgrade bezüglich der Aus-

gestaltung sowie eine erhöhte Qualität der abgeformten Strukturen erzielbar sind.

[0053] Die **Fig. 6a-c** zeigen schematische Darstellungen einer Umsetzung einer variablen Blende **44**. In **Fig. 6a** ist eine erste Blende **78** mit mehreren Aperturen **79a-d** gegenüber einer zweiten Blende **82** mit mehreren Aperturen **83a-d** derart angeordnet, dass die Aperturen **79a-d** und **83a-d** gemeinsame optische Achsen **84a-d** umfassen. Die erste Blende **78** und die zweite Blende **82** sind identisch ausgebildet. Durch ihre benachbarte Anordnung zueinander bilden die erste Blende **78** und die zweite Blende **82** eine gemeinsame effektive Blende **86**.

[0054] Die effektive Blende **86** umfasst dabei variablen Durchlassbereiche **45a-d** und die effektiven Schattenbereiche **92a-e**.

[0055] **Fig. 6b** stellt den Effekt auf die effektive Blende **86** bei einer Verschiebung der ersten Blende **78** und der zweiten Blende **82** gegeneinander um die optischen Achsen **84a-d** dar. Wird die Blende **78** lateral zu den optischen Achsen **84a-d** in eine Richtung und die zweite Blende **82** ebenfalls lateral in eine entgegengesetzte Richtung verschoben, so ergeben sich gegenüber **Fig. 6a** verkleinerte variable Durchlassbereiche **45a-d** und vergrößerte variable Schattenbereiche **92a-e** der effektiven Blende **86**, wobei jedoch die Mitten der jeweiligen Durchlassbereiche und damit die optischen Achsen ortsfest verbleiben.

[0056] **Fig. 6c** zeigt, dass eine Verschiebung der ersten Blende **78** und der zweiten Blende **82** gegeneinander in entgegengesetzte Richtungen lateral zu den optischen Achsen **84a-d** so weit geführt werden kann, dass der gesamte Bereich der effektiven Blende **86** den Schattenbereich **92** aufweist und die variablen Durchlassbereiche **45** eine Größe von Null aufweisen.

[0057] Der Abstand der Aperturen **79a-d** respektive der Aperturen **83a-d** entspricht bei Herstellung einer Mehrzahl bzw. eines Feldes von Strukturen dem Einfachen oder Mehrfachen des Abstandes der herzustellenden Strukturen bzw. Linsen. Die Aperturen **79** und **83** können dabei z. B. einfache rechteckige oder runde Öffnungen aufweisen.

[0058] **Fig. 7** zeigt eine Vorrichtung **20**, die vier Abformwerkzeuge **12a-d** umfasst. Die Strahlungsquelle **34** ist ausgebildet, um die Strahlung **36** bereitzustellen. Benachbart zu jedem Aushärtebereich **26a-d** ist analog Vorrichtung **10** je ein optischer Kanal **46a-d** angeordnet. Die variable Blende **44** weist axial benachbart zu den vier optischen Kanälen **46a-d** je eine variable Abstrahlfläche **45a-d** auf. Das variable Graufilter **38** und die Streuscheibe **42** sind ausgebildet, um die Strahlung **36** simultan für jeden der vier optischen Kanäle **46a-d** zu filtern und zu streuen. Die Streu-

scheibe **42** ist ausgebildet, um eintreffende Strahlung **36** derart zu streuen, dass in jeden der vier optischen Kanäle **46a-d** eine gestreute Strahlung eintritt.

[0059] Die am Werkzeugssubstrat **16** angeordneten Kanalstrukturen **22a-f** sind untereinander fluidisch verbunden. Die fluidische Verbindung der Kanalstrukturen **22a-f** führt dazu, dass ein Anlegen eines Druckes p_1 in einer der Kanalstrukturen **22a-f** auch zu einer Ausbildung des Druckes p_1 in den fluidisch verbundenen weiteren Kanalstrukturen führt.

[0060] Die Abformwerkzeuge **12a-d** sind an dem gemeinsamen Werkzeugssubstrat **16** angeordnet. Dagegen sind die Abformwerkzeuge **12a-d** ausgebildet, um die Bereiche **26a-d** auf dem Substrat **24** mit der Oberfläche **25** abzuformen.

[0061] Obwohl in **Fig. 7** die Abformwerkzeuge an einem gemeinsamen Werkzeugssubstrat angeordnet sind und die Bereiche **26a-d** an der Oberfläche des gemeinsamen Substrates abgeformt werden, ist es ebenfalls möglich, dass das Werkzeugssubstrat und/oder das Substrat aus mehreren Einzelkomponenten gebildet sind.

[0062] Lateral benachbart zu den sowie zwischen je zwei Ausgleichsbereichen, in denen das weitere aushärtbare Material **29** angeordnet ist, ist ausgehärtetes Material **94a-e** angeordnet, welches die Bereiche **26a-d** derart von einander separiert, dass weiteres aushärtbares Material **29** lediglich in einen lateral benachbarten Bereich **26a-d**, nicht jedoch in einen anderen Ausgleichsbereich fließen kann. Das ausgehärtete Material **94a-e** kann beispielsweise derart angeordnet werden, dass zwischen einem Schritt eines Anordnens von aushärtbarem und weiterem aushärtbarem Material **28** und **29** und eines Bestrahlebens der Bereiche **26a-d** das weitere aushärtbare Material in bezüglich der Bereiche **26a-d** lateral außen liegenden Randbereichen der Ausgleichsbereiche das weitere aushärtbare Material **29** ausgehärtet wird.

[0063] Die axial zu mehreren optischen Kanälen angeordnete und deswegen großflächige ausgeformte Strahlungsquelle **34** ist derart ausgebildet, um im axial zu den optischen Kanälen **46a-d** benachbarten Bereich eine kollimierte Strahlung zu emittieren. Die Streuscheibe **42** ist dahingegen ausgebildet, um die Kollimation aufzuheben und bezüglich der variablen Abstrahlflächen **45a-d** und der in Strahlrichtung nachfolgend angeordneten optischen Kanäle **46a-d** jeweils wie eine punktförmige Strahlungsquelle zu wirken.

[0064] Obwohl in vorangegangenen Ausführungsbeispielen ein optischer Kanal jeweils zwei strahlformende optische Elemente umfasst, ist es ebenfalls denkbar, dass lediglich ein strahlformendes optisches Element oder aber mehrere strahlformende

optische Elemente von einem optischen Kanal umfasst werden.

[0065] Obwohl die strahlformenden optischen Elemente **48** und **52** in vorangegangenen Ausführungsbeispielen als Linse dargestellt werden, ist es ebenfalls denkbar, dass optischer Kanal ein oder mehrere andere strahlformenden optischen Elemente umfasst, beispielsweise ein Prisma, eine diffraktive Struktur oder eine Fresnel-Linse. Die strahlformenden optischen Elemente können gleich oder verschieden von einander ausgebildet sein, auch können optische Kanäle von einander sich dahingehend unterscheiden, dass unterschiedliche optische Kanäle unterschiedliche strahlformende optische Elemente umfassen. Weiterhin ist denkbar, dass im Falle einer Ausführung analog **Fig. 7** mit mehreren optischen Kanälen, nur einige optische Kanäle strahlteilende optische Elemente umfassen um einen Steuer- oder Regelkreis zu realisieren. Prinzipiell kann jeder optische Kanal unabhängig von anderen optischen Kanälen realisiert sein.

[0066] **Fig. 8** zeigt ein Flussdiagramm eines Verfahrens **100** gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Das Verfahren **100** zum Herstellen einer Struktur aus aushärtbarem Material durch Abformung umfasst einen ersten Schritt **110** des Anordnens eines Abformwerkzeuges **12** oberhalb einer Oberfläche **25**, beispielsweise einem Glassubstrat, so dass in einem Bereich **26** zwischen dem Abformwerkzeug **12** und der Oberfläche **25** das aushärtbare Material **28**, beispielsweise ein UV-Polymer, an der Oberfläche **25** und eine der Oberfläche **25** zugewandten Abformfläche **14** des Abformwerkzeuges **12** angrenzt und so dass weiteres aushärtbares Material **29** in den Bereich **26** nachfließen kann. Weiterhin umfasst das Verfahren **100** einen zweiten Schritt **120** des lokal variierenden Bestrahls des aushärtbaren Materials **28** mittels eines Strahls **36**, der einen zwischen einer Strahlungsquelle **34** und dem Abformwerkzeug **12** angeordneten optischen Kanal **46** durchquert und während der Durchquerung eine Strahlbündelung erfährt, in dem Bereich, so dass das aushärtbare Material **28** lateral entlang der Oberfläche **25** unterschiedlich schnell aushärtet und Schwindungen beim Aushärten des aushärtbaren Materials **28** durch das weitere aushärtbare Material **29** ausgeglichen werden.

[0067] Ein Nachfließen des weiteren aushärtbaren Materials **29** in den Bereich **26** kann dabei beispielsweise durch Aufbringen des Druckes p_1 in den Kanalstrukturen **22a** und **22b** und mithin dem Aufbringen eines Druckes an dem weiteren aushärtbaren Material **29** induziert werden. Alternativ oder zusätzlich ist denkbar, dass das weitere aushärtbare Material **29** von einer lateralen Seite aus mit einem Druck beaufschlagt wird, um ein Nachfließen des weiteren aushärtbaren Materials **29** in den Bereich **26** zu bewir-

ken. Wird der Druck p_1 während des Bestrahls angelegt, so fließt das weitere aushärtbare Material **29** während der Schwindung in den Bereich **26** nach.

Fig. 9 zeigt ein Flussdiagramm eines Verfahrens **200** gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Das Verfahren **200** zum Herstellen einer Struktur aus aushärtbarem Material durch Abformung umfasst einen ersten Schritt **210** des Anordnens eines Abformwerkzeuges **12** oberhalb einer Oberfläche **25**, beispielsweise einem Glassubstrat, so dass in einem Bereich **26** zwischen dem Abformwerkzeug **12** und der Oberfläche **25** das aushärtbare Material **28** an die Oberfläche **25** und eine der Oberfläche zugewandten Abformfläche **14** des Abformwerkzeuges **12** angrenzt und so dass weiteres aushärtbares Material **29** in den Bereich **26** nachfließen kann. Weiterhin umfasst das Verfahren **200** einen zweiten Schritt **220** des lokal variierenden Bestrahls des aushärtbaren Materials **28** mittels eines Strahls **36**, der einen zwischen der Strahlungsquelle **34** und dem Abformwerkzeug **12** angeordneten optischen Kanal **46** durchquert und während der Durchquerung eine Strahlbündelung erfährt, in dem Bereich, so dass das aushärtbare Material **28** lateral entlang der Oberfläche **25** unterschiedlich schnell aushärtet, und Schwindungen beim Aushärten des aushärtbaren Materials **28** durch das weitere aushärtbare Material **29** ausgeglichen werden, wobei das lokal variierende Bestrahlen von einer der Abformoberfläche **14** abgewandten Seite des Abformwerkzeuges **12** durch das Abformwerkzeug **12** hindurch durchgeführt wird.

[0068] Durch die Kompensation der Volumenschwindung des aushärtbaren Materials während der Aushärtung können präzisere Abformungen von optischen und mechanischen Komponenten, insbesondere für große Strukturhöhen von mehreren hundert Mikrometern, erzielt werden. Dies ist Voraussetzung für die Fertigung mikroskopischer und mikromechanischer Komponenten, wie sie vor allem in der Fertigung für abbildende Systeme auf Waferlevel benötigt werden. Weiterhin kann mechanische Spannung, die ebenfalls durch den Schwindungsprozess bedingt ist, reduziert werden. Infolgedessen kann ein Durchbiegen des Substrates, bspw. eines Wafers, reduziert und derartige Wafer zu komplexeren Stapeln verarbeitet werden, wie dies unter anderem in der Fertigung von Kameramodulen auf Waferlevel erforderlich ist. Die Nutzung strahlformender Optiken erweitern die Möglichkeiten der Steuerung des Aushärteprozesses und ermöglichen eine weitere Verbesserung der Konturtreue.

[0069] In anderen Worten dient eine Verbesserung des Aushärteprozesses unter anderem einer optimierten Herstellung mikrooptisch-elektromechanischer Systeme (MOEMS) durch Replikationsprozesse, wie z. B. Waferlevel-Fertigung von Kameraobjektiven und optischen Sensoren.

[0070] Zusätzlich zur zeitlich-räumlich gesteuerten Beleuchtung des aushärtbaren Materials mit UV-Strahlung unter gleichzeitiger Beaufschlagung des weiteren aushärtbaren Materials unter mit Druck unter Nutzung flexibler, in das Werkzeug integrierter Membranstrukturen zur Schwindungskompensation sind pro auszuhärtender Struktur optische Elemente angeordnet, die eine Strahlformung der aushärtenden UV-Strahlung ermöglichen.

[0071] Fig. 10 zeigt eine Vorrichtung zum lokal variierenden Bestrahlen, gemäß dem Stand der Technik. Die Vorrichtung umfasst die Bestrahlungseinheit 32 und das Formwerkzeug 12, welches am Werkzeugs substrat 16 angeordnet ist. Zwischen dem Substrat 24 und dem Formwerkzeug 12 ist das aushärtbare Material 28 angeordnet, wobei das Formwerkzeug gegenüber der, dem Formwerkzeug 12 zugewandten, Oberfläche 25 des Substrates 24 derart angeordnet ist, dass während einer Bestrahlung auftretender Schrumpf im aushärtbaren Material 28 durch das Nachfließen 54a und 54b des weiteren aushärtbaren Materials 29 ausgeglichen werden kann.

[0072] Gegenüber den vorangegangenen Ausführungsbeispielen, die sich auf eine Weiterentwicklung des Standes der Technik beziehen, umfasst der optische Kanal 46 zwischen der Bestrahlungseinheit 32 und dem Substrat des Abformwerkzeuges 16 keine strahlformenden optischen Elemente. Die variable Blende 44 und die variable Abstrahlfläche 45 mit dem Durchmesser D1 sind ausgebildet, um die Strahlung 36 begrenzen und somit ein lokal variierendes Bestrahlen zu ermöglichen. Diese Anordnung ermöglicht jedoch keine Fokussierung der Strahlung 36 in der Aushärtezone oder eine Abbildung der Strahlung 36 oder der Aushärtezone im Bereich 26 auf eine Kamera.

[0073] Im Gegensatz zu den vorangegangenen Ausführungsbeispielen sind die Membranstrukturen 18a und 18b direkt am Formwerkzeug 12 angeordnet. Die Ausbildung der Membranstrukturen 18a und 18b sowie der Kanalstrukturen 22a und 22b und mithin deren Funktion bezüglich einer Aufbringung externen Druckes auf das weitere aushärtbare Material 29 ist jedoch identisch.

[0074] Ein wesentlicher Vorteil der vorangegangenen Ausführungsbeispiele gegenüber dem in Fig. 10 dargestellten Stand der Technik ist die Integration strahlformender optischer Elemente in den optischen Kanal, so dass zum einen eine Fokussierung der Strahlung in der Aushärtezone möglich ist und zum anderen auf oben beschriebene Art und Weise eine Steuerung respektive eine Regelung des Aushärtungsprozesses umgesetzt werden kann.

[0075] Fig. 11 zeigt einen beispielhaften Ablauf eines sequentiellen Abform- und Aushärtungsprozesses

in einer Step & Repeat-Maschine, die z. B. ein adaptiertes Nano-Imprint-Lithografiegerät sein kann. In einem ersten Schritt A wird auf dem Substrat eine definierte Menge auszuhärtendes Polymer abgelegt, so dass sich ein Tropfen Polymer auf dem Substrat bildet. Anschließend wird in einem Schritt B ein Abformwerkzeug auf den Tropfen positioniert, so dass der Tropfen zum einen die Form der späteren Linse annimmt und zum anderen mit dem Abformwerkzeug auf dem Substrat positioniert werden kann.

[0076] Anschließend erfolgt in einem Schritt C die Aushärtung des Polymers durch UV-Strahlung, wobei die UV-Strahlung beispielsweise durch ein transparent ausgestaltetes Abformwerkzeug oder durch das Substrat hindurch eine Aushärtung des Polymers bewirken kann.

[0077] Nachdem das Polymer ausgehärtet ist, wird das Abformwerkzeug entfernt und auf einen zwischenzeitlich positionierten weiteren Tropfen Polymer positioniert, um die nächste Linse auszuformen. Auf diese Art und Weise werden nach und nach alle abzuformenden Linsen auf dem Substrat angebracht.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Herstellen einer Struktur aus aushärtbarem Material durch Abformung, mit folgenden Merkmalen:

einem Abformwerkzeug (12) mit einer Abformfläche (14);

einer Einrichtung zum Anordnen des Abformwerkzeugs (14) oberhalb einer Oberfläche (25) so dass das aushärtbare Material (28) in einen Bereich zwischen der Oberfläche (25) und der der Oberfläche (25) zugewandten Abformfläche (14) des Abformwerkzeugs (12) angrenzt und so dass weiteres aushärtbares Material (29) in den Bereich (26) nachfließen kann; und

einer Bestrahlungseinheit (32) mit einer Strahlungsquelle (34) und einem optischen Kanal (46); wobei die Bestrahlungseinheit (32) ausgebildet ist, um eine lokal variierende Bestrahlung des aushärtbaren Materials (28) in dem Bereich (26) so durchzuführen, dass das aushärtbare Material (28) lateral entlang der Oberfläche (25) variierend unterschiedlich schnell aushärtet, und Schwindungen beim Aushärten des aushärtbaren Materials (28) durch das weitere aushärtbare Material (29) ausgeglichen werden; der optische Kanal (46) zumindest ein erstes optisches Element (48;52) zur Strahlformung einer von der Strahlungsquelle (34) emittierten Strahlung (36) aufweist, so dass die Strahlung (36) bei einer Durchquerung des optischen Kanals (46) in Richtung des Abformwerkzeugs (12) eine Strahlungsbündelung erfährt;

dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung einen Bildsensor (64') aufweist; und

der optische Kanal (46) ein strahlteilendes Element (56) umfasst, das ausgebildet ist, um einen Teil einer von dem Abformwerkzeug (12) zurückgeworfenen Strahlung auszukoppeln und den ausgekoppelten Teil (58') auf den Bildsensor (64') abzubilden.

2. Vorrichtung gemäß Anspruch 1, wobei die Strahlungsquelle (34) eine variierbare Abstrahlfläche (45) aufweist und die Vorrichtung einen ersten Bildsensor (64) aufweist, wobei der optische Kanal (46) ein strahlteilendes Element (56) umfasst, das ausgebildet ist, einen Teil der von der Strahlungsquelle (34) emittierten Strahlung (36) auszukoppeln und den ausgekoppelten Teil (58) auf eine Projektions- oder Bildfläche zu lenken, so dass die Abstrahlfläche (45) auf einen Bildsensor (64) abgebildet wird.

3. Vorrichtung gemäß Anspruch 2, wobei das strahlteilende optische Element (56) in Strahlrichtung hinter dem zumindest ersten strahlformenden optischen Element (48) angeordnet ist.

4. Vorrichtung gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das strahlteilende optische Element (56) in Strahlrichtung vor dem zumindest ersten strahlformenden optischen Element (52) angeordnet ist.

5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1-4, bei der der optische Kanal (46) ein erstes und ein zweites strahlformendes Element (48; 52) umfasst und die die Strahlung (36) der Strahlungsquelle (34) kollimiert und anschließend fokussiert wird.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, bei der in einer Strahlrichtung zwischen dem ersten und dem zweiten strahlformenden optischen Element (48; 52) eine in Aperturgröße und/oder lateraler Position variable Aperturblenne (66) angeordnet ist.

7. Vorrichtung gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, mit:
einer Struktur zur Strahldiffusion (72), welche zwischen der Strahlungsquelle (36) und der Abformfläche (14) angeordnet ist.

8. Vorrichtung gemäß einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei:
die Vorrichtung ausgebildet ist, um eine Mehrzahl von Strukturen gleichzeitig herzustellen, die Bestrahlungseinheit (32) einen optischen Kanal (46a-d) und die Abformwerkzeuge (12a-d) eine Abformfläche (14a-d) pro herzustellender Struktur aufweisen, die Strahlungsquelle (34) einen gemeinsamen Strahlungsemitter, ein optisches Element zur Strahlstreuung (42) und eine variierbare Blendeneinheit (44) mit fixen Einzelblenden aufweist, wobei ein Abstand der Einzelblenden einem Abstand der herzustellenden Strukturen entspricht und das optische Element zur Strahlstreuung (42) und die variierbare Blendeneinheit

(44) in Strahlrichtung so hinter dem Strahlungsemitter angeordnet sind, dass pro herzustellender Struktur diffuse Strahlung die variable Blendeneinheit durch eine variierbare Abstrahlfläche (45a-d) verlässt und durch einen jeweiligen optischen Kanal (46a-d) zum aushärtbaren Material (28a-d) gelenkt wird.

9. Vorrichtung gemäß einem der vorangegangenen Ansprüche, mit
einer benachbart zur Abformfläche (14) angeordneten Membranschicht (18a; 18b), wobei die Membranschicht in einem Kanalbereich eines Werkzeugssubstrates (16), der zur Abformfläche (14) lateral benachbart ist, an dem Werkzeugssubstrat (16) lose anliegt und um den Kanalbereich fluiddicht mit dem Werkzeugssubstrat (16) verbunden ist, so dass ein Bereich zwischen dem Werkzeugssubstrat (16) und der Innenseite der Membranschicht (18a; 18b) eine ausdehnbare Kanalstruktur (22a; 22b) bildet; und
die ausdehnbare Kanalstruktur (22a; 22b) so ausgebildet ist, dass ein Anlegen eines externen Drucks (p_1) in der ausdehnbaren Kanalstruktur (22a; 22b) einen Druck in dem weiteren aushärtbaren Material (29) induziert.

10. Vorrichtung gemäß Anspruch 9, ferner umfassend ein weiteres Abformwerkzeug (12a-d) zur Herstellung einer weiteren Struktur;
wobei die ausdehnbaren Kanalstrukturen (22a; 22b) des Abformwerkzeugs (12a) mit den ausdehnbaren Kanalstrukturen (22c-f) des weiteren Abformwerkzeugs (12b-d) fluidisch verbunden sind; und
wobei die ausdehnbaren Kanalstrukturen (22a-f) ausgebildet sind, dass das Anlegen des externen Drucks (p_1) in den ausdehnbaren Kanalstrukturen (22a-f) einen Druck an dem weiteren aushärtbaren Material (29) induziert.

11. Verfahren zum Herstellen einer Struktur aus aushärtbarem Material (28) durch Abformung, wobei das Verfahren folgende Schritte aufweist:
Anordnen eines Abformwerkzeugs (12) oberhalb einer Oberfläche (25), so dass in einem Bereich (26) zwischen dem Abformwerkzeug (12) und der Oberfläche (25) das aushärtbare Material (28) an die Oberfläche (25) und eine der Oberfläche (25) zugewandten Abformfläche (14) des Abformwerkzeugs (12) angrenzt und so dass weiteres aushärtbares Material (29) in den Bereich (26) nachfließen kann;
Lokal variierendes Bestrahlen des aushärtbaren Materials (28) in dem Bereich (26), so dass das aushärtbare Material (28) lateral entlang der Oberfläche (25) unterschiedlich schnell aushärtet, und Schwindungen beim Aushärten des aushärtbaren Materials (28) durch das weitere aushärtbare Material (29) ausgeglichen werden;
wobei das lokal variierende Bestrahlen mittels eines Strahls durchgeführt wird, der einen zwischen einer Strahlungsquelle (34) und dem Abformwerkzeug (12)

angeordneten optischen Kanal (46) durchquert und während der Durchquerung eine Strahlbündelung erfährt; und

Auskoppeln eines Teils einer von dem Abformwerkzeug zurückgeworfenen Strahlung und Abbilden des ausgekoppelten Teils (58') auf einen Bildsensor (64').

12. Verfahren nach Anspruch 11, bei dem das lokal variierende Bestrahlen so durchgeführt wird, dass unabhängig von Absorptionen durch das aushärtbare Material (28) eine Intensität des Strahls in dem aushärtbaren Material (28) in Strahlrichtung ein lokales Maximum in Inneren des oder in Strahlrichtung vor dem aushärtbaren Material (28) aufweist, in welchem die Intensität des Strahls größer ist, als vor der Durchquerung des optischen Kanals (46).

13. Verfahren zum Herstellen einer Struktur aus aushärtbarem Material (28) durch Abformung, wobei das Verfahren folgende Schritte aufweist:

Anordnen eines Abformwerkzeugs (12) oberhalb einer Oberfläche (25), so dass in einem Bereich (26) zwischen dem Abformwerkzeug (12) und der Oberfläche (25) das aushärtbare Material (28) an die Oberfläche (25) und eine der Oberfläche (25) zugewandten Abformfläche (14) des Abformwerkzeugs (12) angrenzt und, so dass weiteres aushärtbares Material (29) in den Bereich (26) nachfließen kann;

Lokal variierendes Bestrahlen des aushärtbaren Materials (28) in dem Bereich (26), so dass das aushärtbare Material (28) lateral entlang der Oberfläche (25) unterschiedlich schnell aushärtet, und Schwindungen beim Aushärten des aushärtbaren Materials (28) durch das weitere aushärtbare Material (29) ausgeglichen werden, wobei das lokal variierende Bestrahlen von einer der Abformoberfläche (14) abgewandten Seite des Abformwerkzeugs (12) durch das Abformwerkzeug (12) hindurch durchgeführt wird; wobei das lokal variierende Bestrahlen mittels eines Strahls durchgeführt wird, der einen zwischen einer Strahlungsquelle (34) und dem Abformwerkzeug (12) angeordneten optischen Kanal (46) durchquert und während der Durchquerung eine Strahlbündelung erfährt; und

Auskoppeln eines Teils einer von dem Abformwerkzeug zurückgeworfenen Strahlung und Abbilden des ausgekoppelten Teils (58') auf einen Bildsensor (64').

14. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 11-13, bei dem ein externer Druck (p_1) an das weitere aushärtbare Material (29) während des Bestrahleins angelegt wird.

15. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 11-14, bei dem die lokal variierende Bestrahlung zumindest teilweise durch eine Struktur zur Strahldiffusion (72) hindurch erfolgt.

16. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 11-15, bei dem das lokal variierende Bestrahlen derart

durchgeführt wird, dass weiteres aushärtbares Material (29) aus einem Ausgleichsbereich des Abformwerkzeugs (12) in den Bereich (26) nachfließt, der von einer Strahlung (36), mit der das Bestrahlen erfolgt, nicht erreicht wird.

17. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 11-16, ferner umfassend:

Aushärten eines Randbereichs aus aushärtbarem Material (28), der in lateral geschlossener Weise den Bereich (26) umschließt, zwischen dem Schritt des Anordnens des Abformwerkzeugs (12) und dem Schritt des lokal variierenden Bestrahleins.

18. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 11-17, bei dem eine Mehrzahl von Strukturen hergestellt wird; und bei dem die lokale Variation der Bestrahlung durch mittels Einstellung einer variierbaren Blendeneinheit (44) mit fixen Einzelblenden erfolgt, wobei ein Abstand der Einzelblenden dem einfachen oder mehrfachen Abstand der herzustellenden Strukturen entspricht.

19. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 11-18, bei dem das Anordnen und das lokal variierende Bestrahlen ferner unter Verwendung eines weiteren Abformwerkzeugs (12b-d) durchgeführt werden, um eine weitere Struktur herzustellen;

wobei Kanalstrukturen (22a; 22b) des Abformwerkzeugs (12a) mit Kanalstrukturen (22c-f) des weiteren Abformwerkzeugs (12b-d) fluidisch verbunden sind; und wobei bei dem Anlegen des externen Drucks (p_1) an das weitere aushärtbare Material (29) während des Bestrahleins, der Druck in den Kanalstrukturen (22a-f) der Abformwerkzeuge (12a-d) aufgebracht wird.

20. Verfahren gemäß Anspruch 19, bei dem eine oder mehrere weitere Strukturen zu einem Zeitpunkt ausgehärtet werden und die Strahlung (36) zum Aushärten des aushärtbaren Materials (28a-d) von zumindest einer Strahlungsquelle (34) emittiert wird;

wobei die Strahlung (36) eine Abstrahlfläche (45a-d) diffus verlässt und in Richtung jeder herzustellenden Struktur einen optischen Kanal (46a-d) durchquert.

Es folgen 10 Seiten Zeichnungen

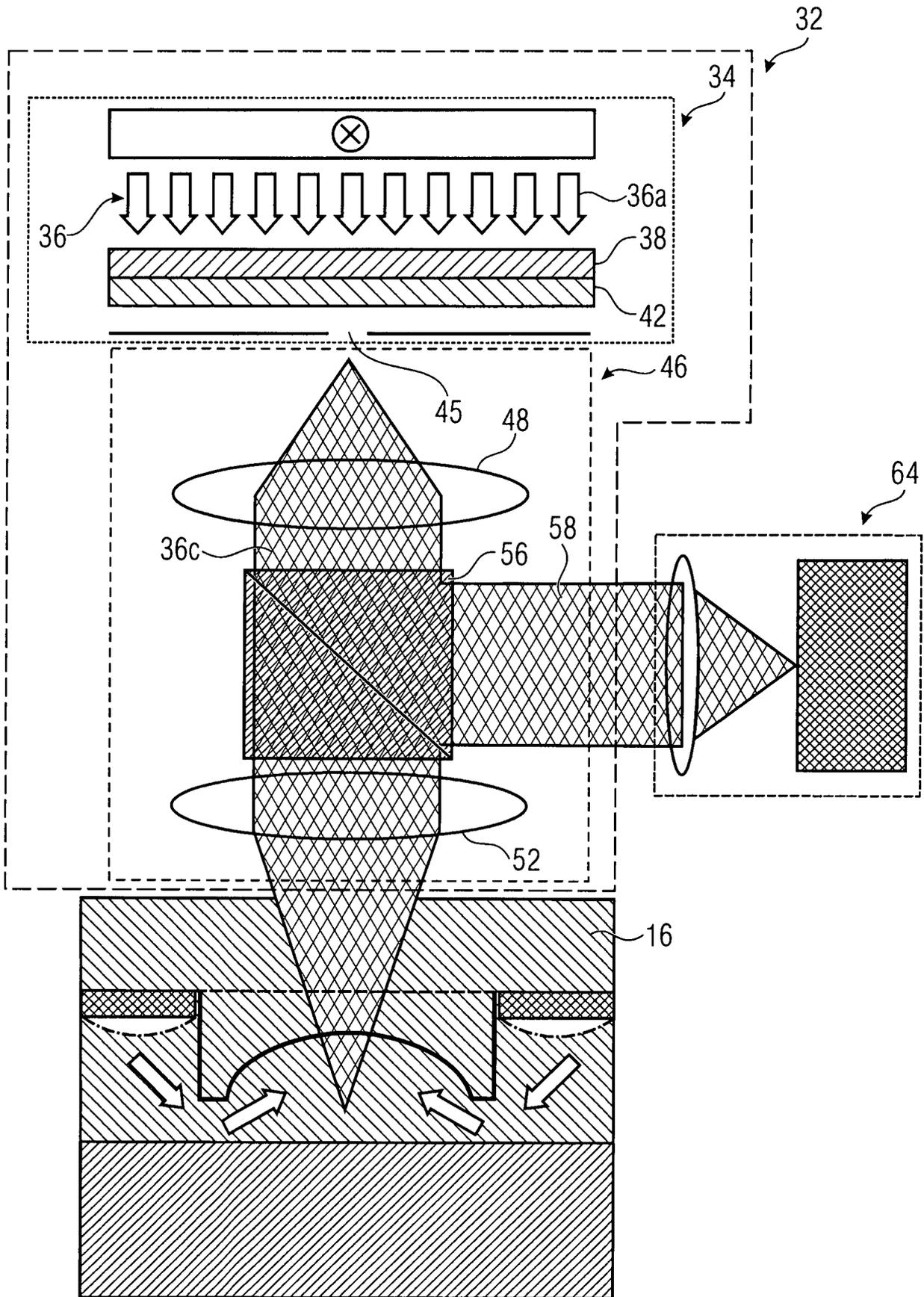


FIG 2

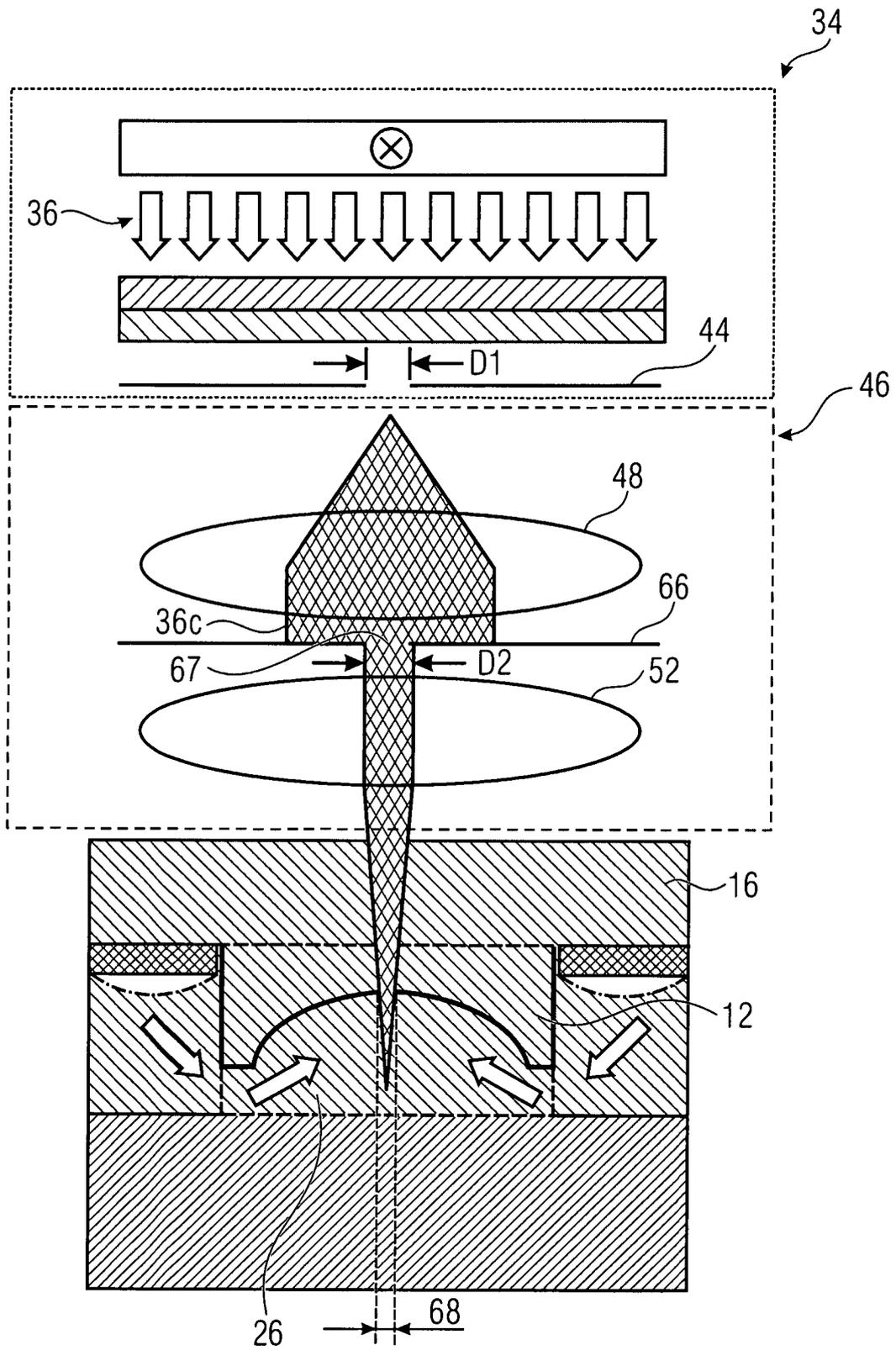
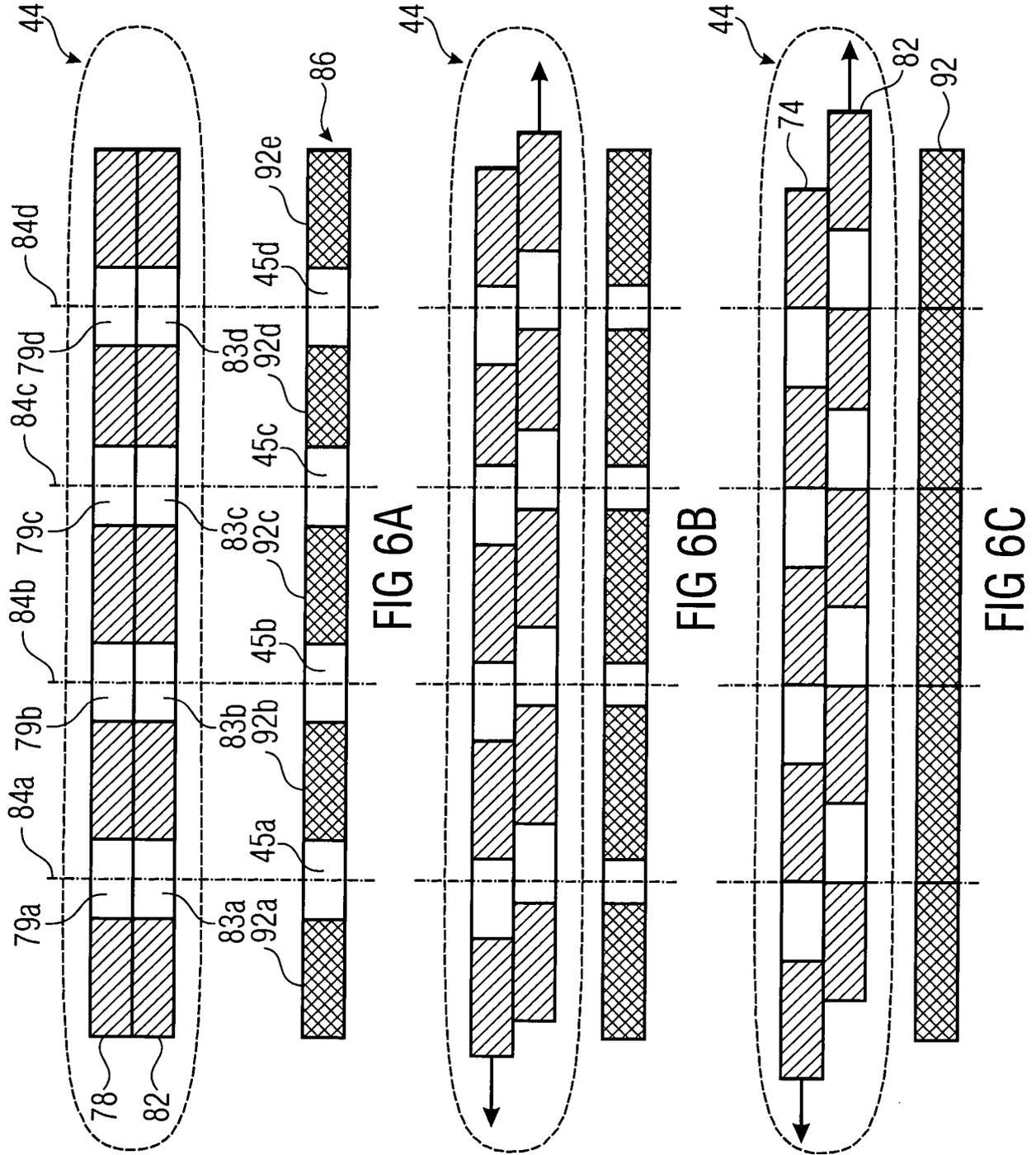


FIG 4



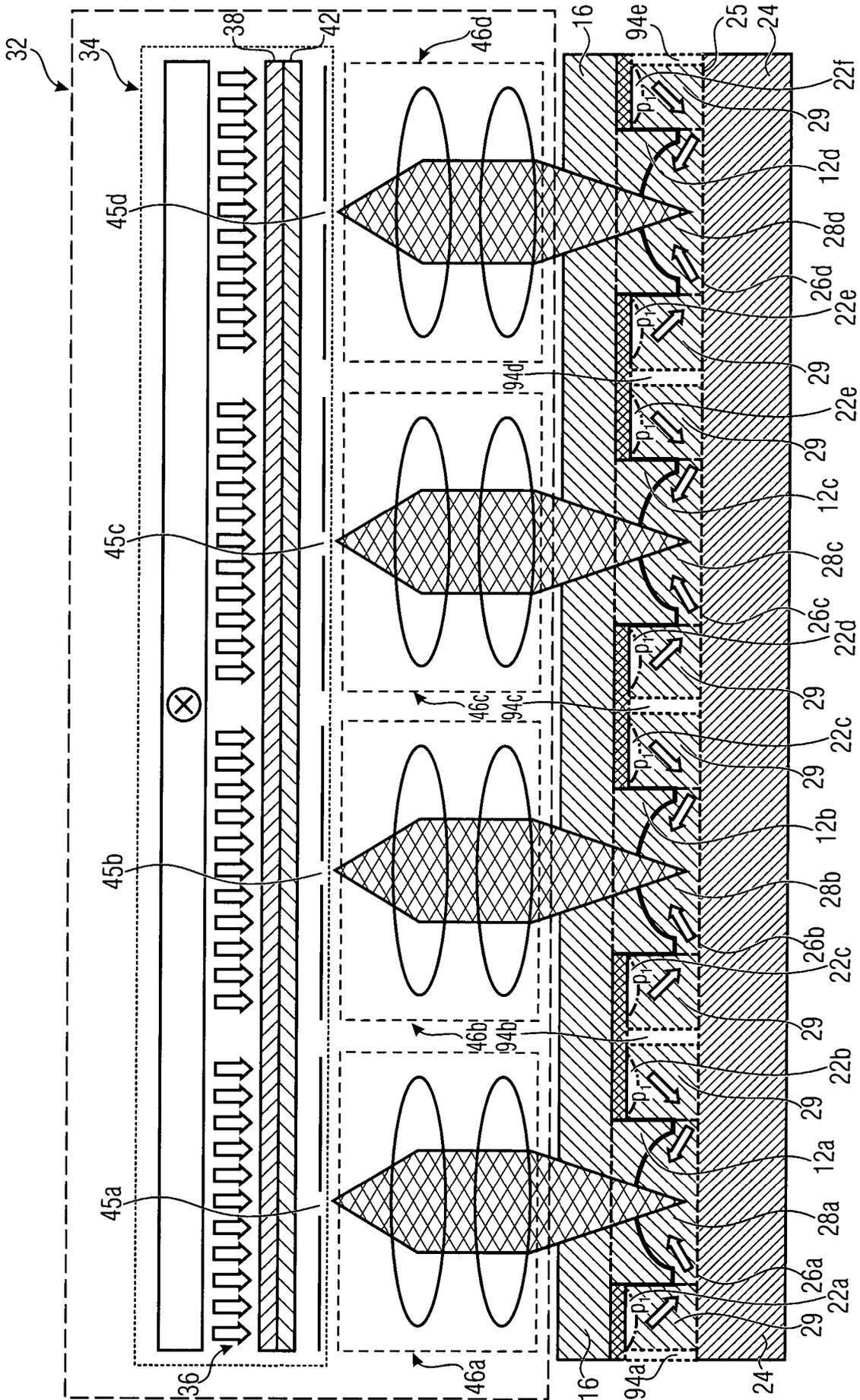


FIG 7

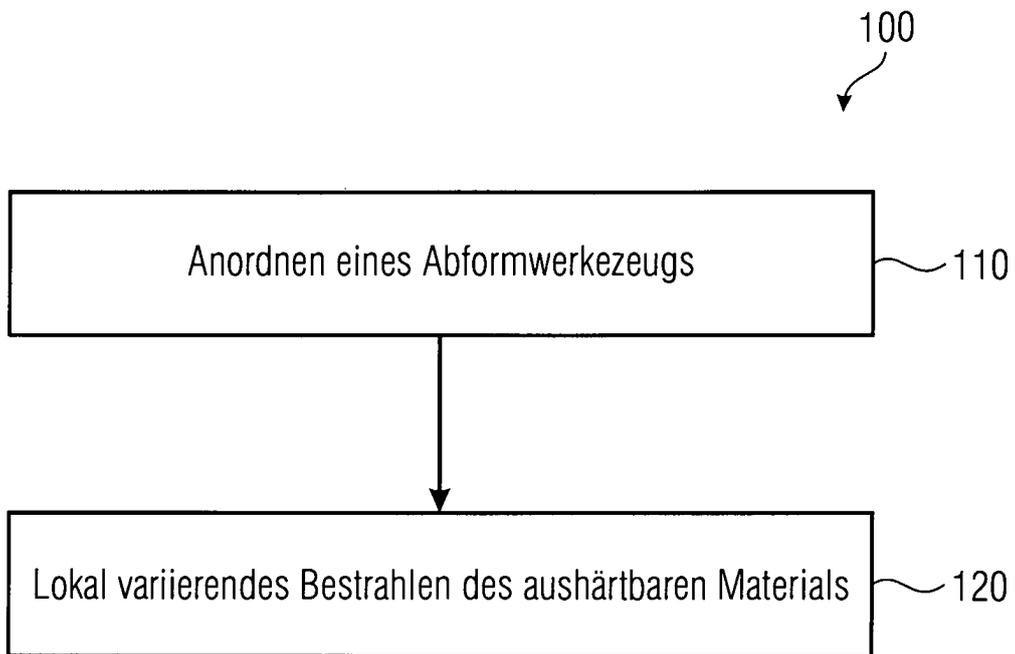


FIG 8

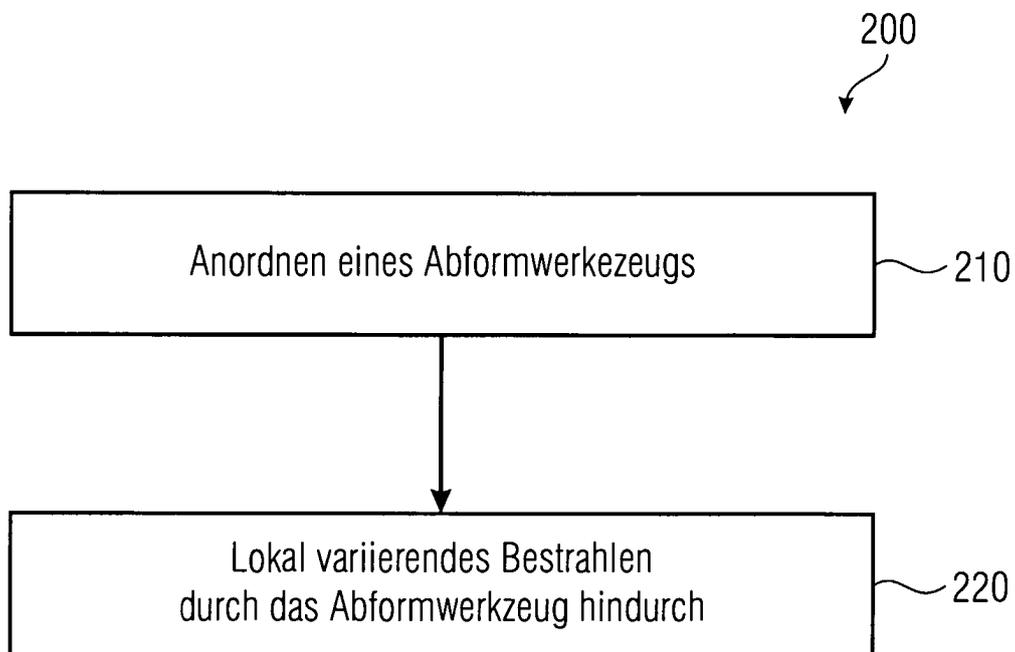


FIG 9

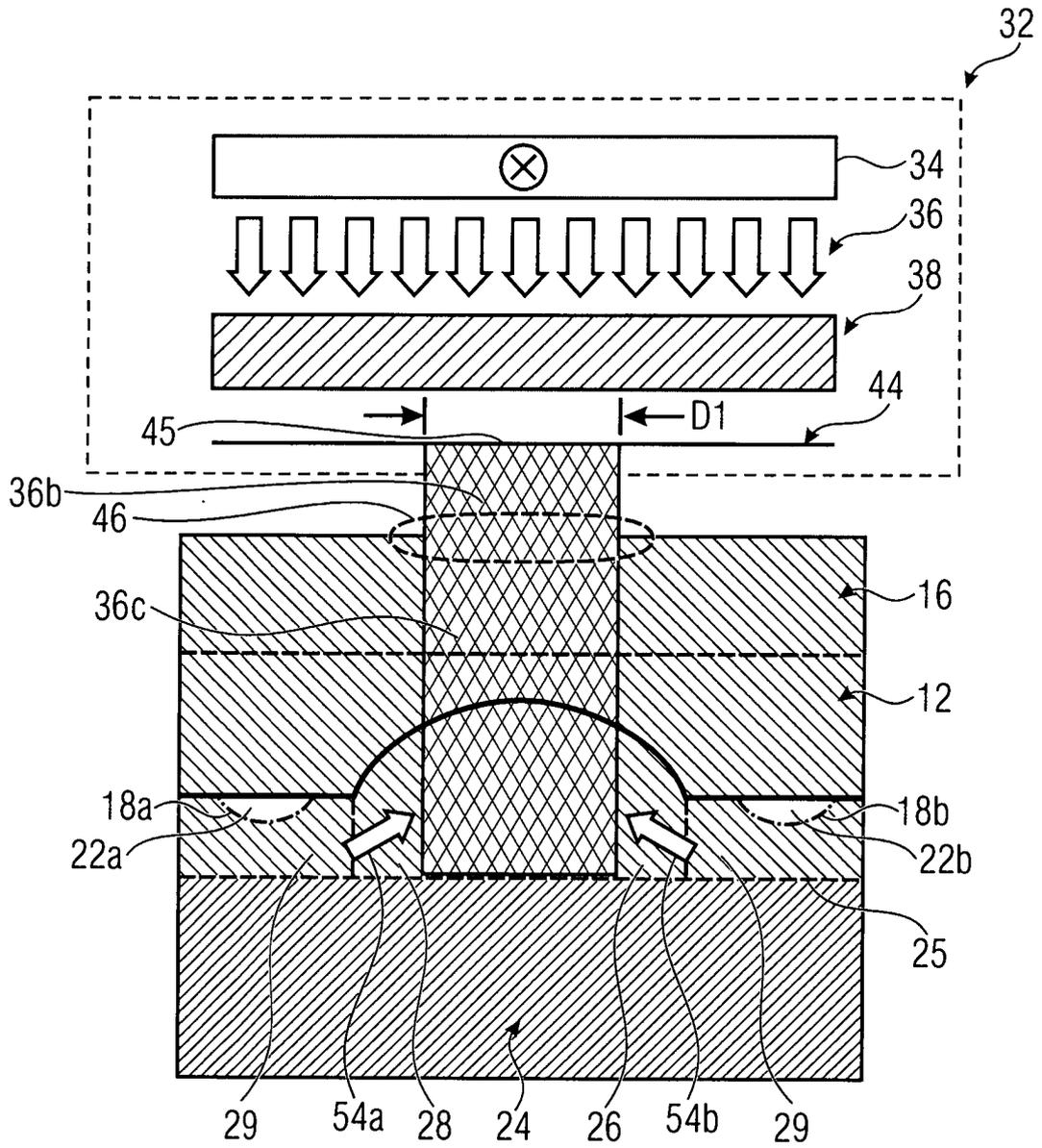


FIG 10

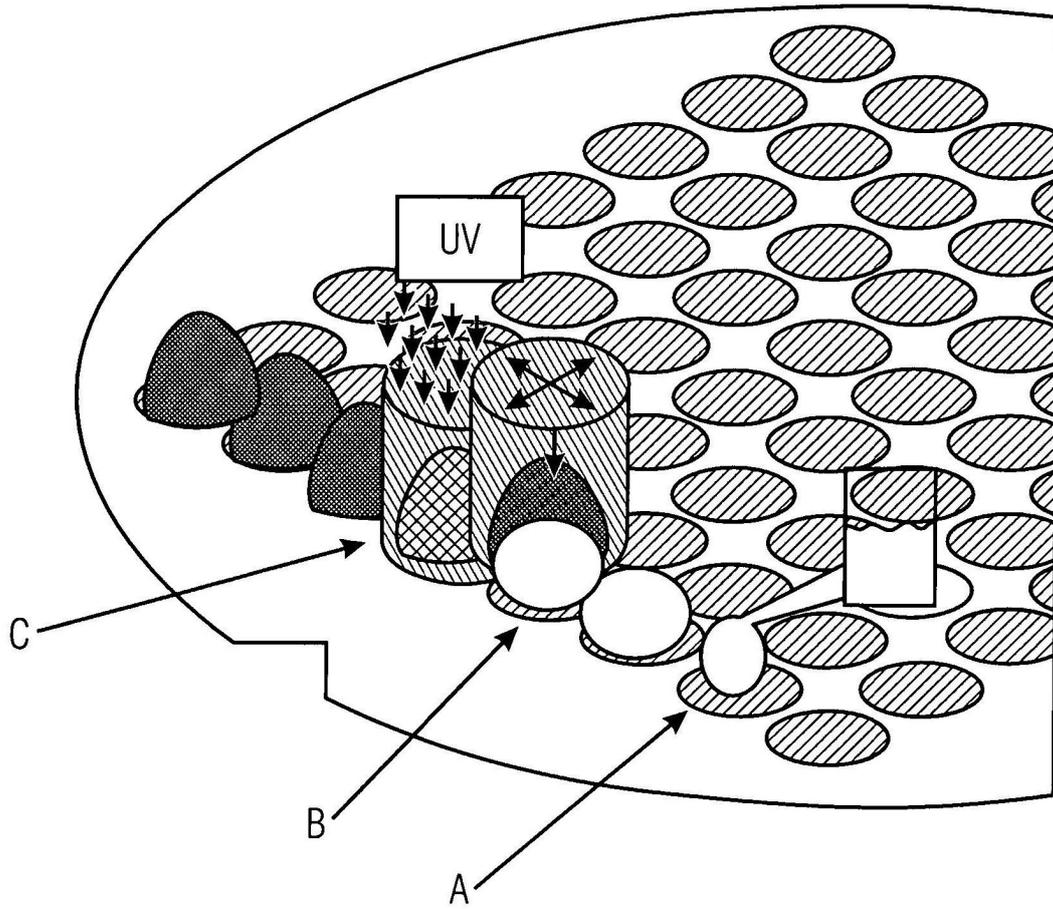


FIG 11