



(10) **DE 10 2009 055 080 A1** 2011.06.22

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2009 055 080.1**

(22) Anmeldetag: **21.12.2009**

(43) Offenlegungstag: **22.06.2011**

(51) Int Cl.: **B29D 11/00 (2006.01)**
B29C 35/08 (2006.01)

(71) Anmelder:

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

(72) Erfinder:

**Dannberg, Peter, 07745, Jena, DE; Bräuer,
Andreas, 07646, Schlöben, DE; Wippermann,
Frank, 98617, Meiningen, DE; Duparré, Jacques,
07745, Jena, DE**

(74) Vertreter:

**Schoppe, Zimmermann, Stöckeler, Zinkler &
Partner, 82049, Pullach, DE**

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

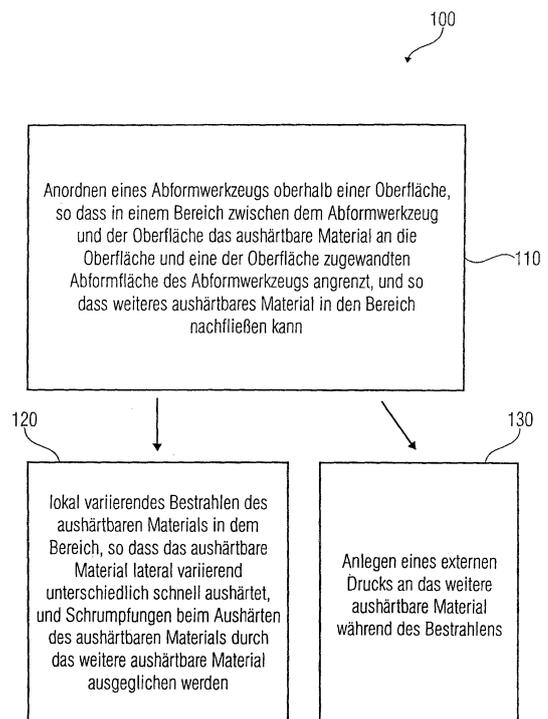
EP 0 322 353 A2

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zum Herstellen einer Struktur, Abformwerkzeug**

(57) Zusammenfassung: Es wird 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.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Konzept zum Herstellen einer Struktur aus aushärtbarem Material, beispielsweise einer optischen Linse aus einem UV-Polymer.

[0002] Zur Produktion bzw. Replikation optischer und mechanischer Strukturen kann die Technik der UV-Replikation genutzt werden.

[0003] Bei dieser Technik wird ein UV-härtender Kunststoff bzw. ein UV-härtendes Polymer, beispielsweise Ormocere, UV-Klebstoffe von Delo, Norland, Epoxy Technology, Panacol-Elosol mit einem Abformwerkzeug in die gewünschte Form gebracht und beispielsweise mit UV-Strahlung ausgehärtet. Die Abformung erfolgt in einem Maskenausrichter (englisch: „mask aligner“), der die genaue Positionierung des Abformwerkzeuges bzgl. Markierungen auf dem Substrat auf das abgeformt werden soll, ermöglicht. Zur Aushärtung wird das auf dem Substrat vorhandene Polymer durch das Werkzeug oder das Substrat gleichzeitig über die gesamte Fläche mit UV-Strahlung bestrahlt und mithin über die gesamte Fläche ausgehärtet.

[0004] Da an allen Stellen gleichzeitig ausgehärtet wird, bauen sich durch die unvermeidbare Schrumpfung Spannungen auf, die nach Entfernung des Werkzeugs zu Formabweichungen der abgeformten Strukturen sowie einer Durchbiegung des Substrats führen. Sollen die mit polymeren Strukturen versehenen Substrate mit weiteren Substraten verbunden werden, ergeben sich toleranz- und verfahrenstechnische Probleme, wie z. B. bei der Integration von Kameraobjektiven auf Wafer Level.

[0005] [Fig. 19](#) zeigt beispielhaft auf der linken Seite den durch UV-Bestrahlung entstehenden Polymerschrumpf und damit die Formabweichung zwischen dem Werkzeug und der abgeformten Struktur, welche speziell bei optischen Anwendungen nicht akzeptiert werden kann. Die rechte Seite von [Fig. 19](#) zeigt weiterhin, dass der Polymerschrumpf zusätzlich zur Formabweichung auch zu Zugspannung und einer Substratdurchbiegung des Substrats auf dem das Polymer abgeformt wurde, führt.

[0006] Die Veröffentlichung /1/ Jiseok LIM, Minseok CHO, Hokwan KIM, and Shinil KANG: „Fabrication of Hybrid Microoptics Using UV Imprinting Process with Shrinkage Compensation Method“, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 47, No. 8, 2008, pp. 6719–6722, zeigt eine einstellbare Blende zur Schrumpfkompensation bei der Herstellung von Hybridlinsen, welche eine Kombination aus einer sphärischen Glaslinse mit einem zusätzlichen Polymerfilm zur Erzeugung eines asphärischen Profils darstellen. Die UV-Bestrahlung des Polymers erfolgt durch das

Linensubstrat. Als Blendenlagen werden in dieser Schrift veränderliche Irislinsen vorgeschlagen, die jedoch mechanisch kompliziert und damit teuer sind und einen erhöhten Bedarf an Bauraum besitzen.

[0007] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Konzept zu schaffen, welches bessere optische Eigenschaften bei der Herstellung von Strukturen aus aushärtbaren Materialien ermöglicht.

[0008] Ein Verfahren gemäß Anspruch 1, ein Verfahren gemäß Anspruch 2, eine Vorrichtung gemäß Anspruch 8, eine Vorrichtung gemäß Anspruch 9, ein Abformwerkzeug gemäß Anspruch 10 und ein Abformwerkzeug gemäß Anspruch 12 lösen diese Aufgabe.

[0009] Ein erster Aspekt der vorliegenden Erfindung ist, dass eine bessere Kompensation der Schrumpfung des aushärtbaren Materials ermöglicht wird, wenn ein Bestrahlen eines aushärtbaren Materials in einem Bereich eines Abformwerkzeugs lokal variierend durchgeführt wird, so dass das aushärtbare Material lateral variierend unterschiedlich schnell aushärtet und Schrumpfungen beim Aushärten des aushärtbaren Materials durch weiteres aushärtbares Material ausgeglichen werden, wobei ein konstanter Druck an das weitere aushärtbare Material angelegt wird.

[0010] Ein Vorteil der vorliegenden Erfindung ist, dass durch daß Anlegen eines äußeren Druckes an das weitere aushärtbare Material, der zusätzlich zu einer das weitere aushärtbare Material beeinflussenden Kraft hinzukommt, die aus einer Oberflächenspannung des aushärtbaren Materials bzw. des weiteren aushärtbaren Materials und einer Grenzfläche zwischen demselben und dem Abformwerkzeug resultiert, ein besseres Nachfließen des weiteren aushärtbaren Materials ermöglicht wird und damit eine bessere Kompensation der Schrumpfungen des aushärtbaren Materials ermöglicht wird, sowie bessere optische Eigenschaften des Formlings erhalten werden.

[0011] Ein weiterer Aspekt der vorliegenden Erfindung ist, dass eine bessere Kompensation des Materialschrumpfes eines aushärtbaren Materials erreicht werden kann, wenn eine Bestrahlung des aushärtbaren Materials in einem Bereich eines Abformwerkzeugs lokal variierend durch das Abformwerkzeug hindurch durchgeführt wird, so dass das Material lateral variierend unterschiedlich schnell aushärtet und Schrumpfungen beim Aushärten des aushärtbarem Materials durch weiteres aushärtbares Material ausgeglichen werden.

[0012] Durch das Bestrahlen durch das Abformwerkzeug wird der an eine Abformfläche des Abformwerkzeugs angrenzende Teil des aushärtbaren Materials

zuerst ausgehärtet, so dass dort die optischen Eigenschaften des entstehenden Formlings ungestört sind. Zudem sind die Wege, die das nachfließende weitere aushärtbare Material zurücklegen muss reduziert, wodurch die optischen Eigenschaften des Formlings weiter verbessert werden.

[0013] Ausführungsbeispiele eines Abformwerkzeugs gemäß der vorliegenden Erfindung ermöglichen eine lokal variierende Bestrahlung auf eine einfache Weise, da eine Bestrahlung von oben durch das Abformwerkzeug hindurch möglich ist.

[0014] Bevorzugte Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend Bezug nehmend auf die beiliegenden Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

[0015] [Fig. 1](#) ein Flussdiagramm eines Verfahrens gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

[0016] [Fig. 2](#) ein Flussdiagramm eines Verfahrens gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

[0017] [Fig. 3](#) eine Zeichnung eines Vergleiches eines bekannten Herstellungsverfahrens des Stands der Technik mit einem Verfahren gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

[0018] [Fig. 4](#) eine Zeichnung einer beispielhaften Blendenstruktur zur Verwendung in einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

[0019] [Fig. 5](#) eine schematische Darstellung einer Vorrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

[0020] [Fig. 6a–Fig. 6c](#) Unteransichten und Schnittansichten von Abformwerkzeugen gemäß Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung und von abgeformten Elementen;

[0021] [Fig. 7](#) eine schematische Darstellung einer Schnittansicht einer Vorrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

[0022] [Fig. 8](#) eine schematische Darstellung einer Schnittansicht einer Vorrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

[0023] [Fig. 9](#) eine schematische Darstellung einer Schnittansicht einer Vorrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

[0024] [Fig. 10](#) eine schematische Darstellung einer Schnittansicht einer Vorrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

[0025] [Fig. 11](#) eine schematische Darstellung einer Schnittansicht einer Vorrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

[0026] [Fig. 12](#) eine schematische Darstellung einer Schnittansicht einer Vorrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

[0027] [Fig. 13](#) eine schematische Darstellung einer Schnittansicht einer Vorrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

[0028] [Fig. 14a](#) eine schematische Darstellung einer Schnittansicht einer Vorrichtung mit einem Abformwerkzeug zur Verwendung in einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

[0029] [Fig. 14b](#) eine schematische Darstellung einer Schnittansicht einer Vorrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

[0030] [Fig. 15](#) eine schematische Darstellung einer Schnittansicht einer Vorrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

[0031] [Fig. 16](#) eine schematische Darstellung einer Schnittansicht einer Vorrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

[0032] [Fig. 17](#) eine schematische Darstellung einer Schnittansicht einer Vorrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

[0033] [Fig. 18](#) eine schematische Darstellung einer Schnittansicht einer Vorrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung; und

[0034] [Fig. 19](#) eine schematische Darstellung eines bereits bekannten Verfahrens zur Herstellung von Strukturen aus aushärtbarem Material.

[0035] Bevor im Folgenden die vorliegende Erfindung anhand der Zeichnungen näher erläutert wird, wird darauf hingewiesen, dass gleiche Elemente mit den gleichen oder ähnlichen Bezugszeichen versehen sind und dass eine wiederholte Beschreibung dieser Elemente weggelassen wird.

[0036] Die im Folgenden anhand der [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) beschriebenen Verfahren können beispielsweise mit Vorrichtungen wie sie anschließend an die Verfahren mit den [Fig. 3–Fig. 18](#) beschrieben werden, durchgeführt werden. Insbesondere beziehen sich die in den Beschreibungen der Verfahren verwendeten Bezugszeichen auf die im Anschluss beschriebenen Vorrichtungen.

[0037] [Fig. 1](#) 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 Anordnen eines Abformwerkzeugs **310** auf einer Oberfläche **330**, beispielsweise einem Glassubstrat so dass in einem Bereich **340** zwischen dem Abformwerkzeug **310** und der Oberfläche **330** das aushärtbare Material **320**, beispielsweise ein UV-Polymer an die Oberfläche **330** und eine der Oberfläche **330** zugewandten Abformfläche **312** des Abformwerkzeugs **310** angrenzt und so, dass weiteres aushärtbares Material **321** in den Bereich **340** nachfließen kann. Weiterhin umfasst (ins Verfahren **100** einen zweiten Schritt **120** des lokal variierenden Bestrahlen des aushärtbaren Materials **320** in dem Bereich **340**, so dass das aushärtbare Material **320** lateral variierend unterschiedlich schnell aushärtet und Schrumpfungen beim Aushärten des aushärtbaren Materials **320** durch das weitere aushärtbare Material **321** ausgeglichen werden. Weiterhin umfasst das Verfahren **100** einen dritten Schritt **130** des Anlegens eines externen bzw. äußeren Druckes an das weitere aushärtbare Material, wobei der dritte Schritt **230** zeitlich parallel zu dem zweiten Schritt **220** ausgeführt werden kann.

[0038] Im Folgenden wird das aushärtbare Material auch als Polymer, UV-Polymer oder UV-härtender Kunststoff bezeichnet.

[0039] **Fig. 2** 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 Abformwerkzeugs **310** auf einer Oberfläche **330**, beispielsweise einem Glassubstrat so dass in einem Bereich **340** zwischen dem Abformwerkzeug **310** und der Oberfläche **330** das aushärtbare Material **320**, beispielsweise ein UV-Polymer an die Oberfläche **330** und eine der Oberfläche **330** zugewandten Abformfläche **312** des Abformwerkzeugs **310** angrenzt und so, dass weiteres aushärtbares Material **321** in den Bereich **340** nachfließen kann. Weiterhin umfasst das Verfahren **200** einen zweiten Schritt **220** des lokal variierenden Bestrahlen des aushärtbaren Materials **320** in dem Bereich, so dass das aushärtbare Material **320** lateral variierend unterschiedlich schnell aushärtet und Schrumpfungen beim Aushärten des aushärtbaren Materials **320** durch das weitere aushärtbare Material **321** ausgeglichen werden, wobei das lokal variierende Bestrahlen von der Oberfläche **330** abgewandten Seite des Abformwerkzeugs **310** durch das Abformwerkzeug hindurch durchgeführt wird. Das Abformwerkzeug **310** kann dabei aus einem transparenten Material, beispielsweise Glas, Silikon oder transparentem Kunststoff, hergestellt sein.

[0040] **Fig. 3** zeigt eine Zeichnung eines Vergleiches eines bekannten Herstellungsverfahrens des Stands

der Technik mit einem Verfahren gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung, wobei auf der rechten eine schematische Darstellung einer Vorrichtung **300** gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung gezeigt ist und als Vergleichsbeispiel eine bereits aus dem Stand der Technik bekannte Vorrichtung zur Herstellung einer Struktur aus aushärtbarem Material durch Abformung auf der linken Seite. Die Vorrichtung **300** umfasst ein Abformwerkzeug **310**, beispielsweise aus einem transparenten Material, eine Oberfläche **330**, beispielsweise aus einem Glassubstrat, ein aushärtbares Material **320**, beispielsweise ein UV-Polymer, welches zwischen einer Abformfläche **312** des Abformwerkzeugs **310** und der Oberfläche **330** in einem Bereich **340** angeordnet ist. Weiterhin umfasst die Vorrichtung **300** auf der rechten Seite im Gegensatz zu der bereits bekannten Vorrichtung auf der linken Seite ein Blendenfeld **350**, welches auf einer der Oberfläche **330** abgewandten Oberfläche des Abformwerkzeugs **310** angeordnet ist.

[0041] Bei der, auf der linken Seite von **Fig. 3** gezeigten bereits bekannten Vorrichtung wird das aushärtbare Material durch das Abformwerkzeug hindurch mit UV-Strahlung über den gesamten Bereich gleichzeitig bestrahlt. Das UV-härtende Material schrumpft während der Bestrahlung, so dass Formabweichungen zwischen dem Abformwerkzeug der bereits bekannten Vorrichtung und der abgeformten Struktur entstehen. Im Gegensatz dazu ermöglicht die Vorrichtung **300** eine zeitliche Steuerung der Transmissionsfunktion der Beleuchtungsoptik, d. h. die Bestrahlung mit UV-Strahlung erfolgt nicht wie im links gezeigten Beispiel als Flutbelichtung über den gesamten Wafer bzw. das gesamte aushärtbare Material **320** gleichzeitig, sondern durch eine in ihrem Durchmesser variable Blende (z. B. Irisblende oder LCD-Display) bzw. durch ein Blendenfeld **350**. Die Vorrichtung **300** führt damit ein lokal variierendes Bestrahlen des aushärtbaren Materials **320** in dem Bereich **340** durch, so dass das aushärtbare Material **320** lokal variierend unterschiedlich schnell aushärtet und Schrumpfungen beim Aushärten des aushärtbaren Materials **320** durch weiteres aushärtbares Material **321** ausgeglichen werden.

[0042] Mit anderen Worten gesagt, zeigt **Fig. 3** beispielhaft auf seiner rechten Seite den Schritt **120** des lokal variierenden Bestrahlen, wobei hierbei das aushärtbare Material **320** durch das Werkzeug **310** zuerst mittig und dann zeitlich gestaffelt über den gesamten Bereich bestrahlt wird. Hierdurch wird das aushärtbare Material **320** bzw. das Polymer nur lokal ausgehärtet und nicht von UV-Strahlen belichtetes, da von der Blende bzw. Blendenschicht **350** abgeschirmtes und mithin noch flüssiges Polymer bzw. weiteres aushärtbares Material **321** nachfließen und den Schrumpf des bereits ausgehärteten Materials **320** bzw. Polymers ausgleichen kann.

[0043] Die variable Blende bzw. Blendenschicht **350** sorgt damit für eine zeitlich änderbare lokale Steuerung der Amplitude der Transmissionsfunktion.

[0044] **Fig. 4** zeigt eine schematische Darstellung einer beispielhaften Blendenschicht **350** zur Verwendung in einem Ausführungsbeispiel gemäß der vorliegenden Erfindung. Eine einfache Anordnung für veränderliche feldhafte Blendenstrukturen bzw. eine Blendenschicht **350** ergibt sich durch die Paarung zweier Blendenfelder **351** und **352** mit fixen Einzelblenden. Durch Verschieben der Blendenfelder **351** und **352** relativ zueinander ergeben sich in ihrer Größe simultan veränderliche Einzelblenden. Die Einzelblenden können dabei z. B. einfache rechteckige oder runde Öffnungen aufweisen. Der Abstand der Blenden bzw. der Einzelblenden entspricht dem Einfachen oder Mehrfachen des Abstandes der herzustellenden Strukturen bzw. Linsen, bei Herstellung eine Mehrzahl bzw. eines Feld von Strukturen. Werden beide Blendenfelder **351** und **352** mit dem gleichen Stellweg aber in entgegengesetzter Richtung verfahren, resultiert der Effekt eines am Ort verbleibenden Blendenfeldes **350** mit variabler Größe der Einzelblenden. **Fig. 4** zeigt in dem unteren Teil die oben beschriebene Funktionsweise schematisch. Im Gegensatz zu anderen Blendenstrukturen, wie z. B. einer Irisblende oder einem LCD Display ist die gezeigte Blendenschicht **350** kostengünstig zu produzieren. Felder aus veränderlichen Irisblenden sind mechanisch kompliziert und damit teuer und besitzen einen erhöhten Bedarf an Bauraum. Die vorgeschlagene Blendenstruktur **350**, ermöglicht damit auch eine preisgünstige Herstellung von Feldanordnungen von Strukturen.

[0045] **Fig. 5** zeigt eine Vorrichtung **500** gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Die Vorrichtung **500** umfasst im Gegensatz zu der Vorrichtung **300** zusätzlich zu der im Durchmesser einstellbaren Blende bzw. Blendenschicht **350** ein variables Graufilter **510**. Das Graufilter **510** kann beispielsweise auf einer dem Abformwerkzeug **310** abgewandten Oberfläche der Blendenschicht **350** angeordnet sein.

[0046] Das variable Graufilter **510** kann zusätzlich die Amplitude der Transmissionsfunktion beeinflussen, dies ermöglicht eine Anpassung der Aushärtgeschwindigkeit des Polymers bzw. des aushärtbaren Materials **320**. Anstatt einem Graufilter **510** kann prinzipiell auch eine Flüssigkristallanordnung zur Steuerung der Amplitude der Transmissionsfunktion genutzt werden oder eine andere Anordnung, welche eine Steuerung der Amplitude der Transmissionsfunktion ermöglicht.

[0047] Die Steuerung der Amplitude der Transmissionsfunktion wäre prinzipiell auch durch eine Anpassung der Beleuchtungsleistung der UV-Strahlungs-

quelle möglich, da jedoch Maskenausrichter („mask aligner“) genutzt werden sollen, ist diese Funktionalität zumeist nicht gegeben, da die Beleuchtungsleistung hier fix ist.

[0048] **Fig. 6a** zeigt auf seiner linken Seite eine Unteransicht eines Abformwerkzeuges **310a** gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung und eine Schnittansicht des Abformwerkzeuges **310a**, sowie eine Draufsicht auf ein durch das Abformwerkzeug **310a** abgeformtes Element **322a** und eine Schnittansicht des abgeformten Elements **322a**. Weiterhin zeigt **Fig. 6a** auf der rechten Seite eine Unteransicht eines Abformwerkzeuges **310b** und eine Schnittansicht des Abformwerkzeuges **310b**, sowie eine Draufsicht auf ein durch das Abformwerkzeug **310b** abgeformtes Element **322b** und eine Schnittansicht des abgeformten Elements **322b**.

[0049] Die Schnittansichten der in den **Fig. 6a–Fig. 6c** gezeigten Abformwerkzeuge und abgeformten Elemente sind jeweils durch einen Schnitt durch die Abformwerkzeuge bzw. die abgeformten Elemente entlang einer Schnittachse **311** entstanden.

[0050] Das in **Fig. 6a** gezeigte Abformwerkzeug **310a** weist eine Abformfläche **312** mit einem optischen Funktionsflächenbereich **312'** auf. Die Abformfläche **312** ist, wenn das Abformwerkzeug **310a** auf einer Oberfläche **330** aufgesetzt bzw. oberhalb derselben angeordnet wird, der Oberfläche **330** zugewandt. Weiterhin weist das Abformwerkzeug **310a** eine umlaufende elastische Membran **316** an der Abformfläche **312** auf. Die elastische Membran **316** bedeckt die Abformfläche **312** vorliegend exemplarisch vollständig, obwohl eine teilweise Bedeckung ebenfalls möglich wäre, und ist in einem Umlaufbereich, der einen lateral geschlossenen Weg um den optischen Funktionsflächenbereich **312'** bildet, nicht haftend aber an den Grenzen des Umlaufbereichs mit der Abformfläche **312** verbunden. Es ist damit möglich, ein Fluid wie z. B. Luft oder Öl zwischen Abformfläche **312** und der Innenseite der elastischen Membran **316** einzubringen, ohne dass dieses Fluid in Kontakt mit dem aushärtbaren Material **320** kommt. Der mit dem Fluid versehene Bereich zwischen der Abformfläche **312** und der Innenseite der elastischen Membran **316** bildet damit einen Kanal **318**, welcher sich, wenn das Abformwerkzeug **310a** auf der Oberfläche **330** aufgesetzt bzw. in einem Abstand zu dieser ausgerichtet wird, in Richtung der Oberfläche **330** vorwölbt, um dort noch nicht ausgehärtetes aushärtbares Material zu verdrängen und somit den Druck letzteren Materials zu erhöhen. Weiterhin weist das Abformwerkzeug **310a** eine Struktur **319** zur lokal steuerbaren Divergenzanpassung auf.

[0051] Die Oberfläche **330** kann insbesondere eine Oberfläche eines Substrates sein, auf welche das

Abformwerkzeug **310** aufgesetzt bzw. in einem Abstand zu dieser ausgerichtet wird, daher wird die Oberfläche **330** im Folgenden auch als Substrat **330** bezeichnet. Es sei aber auch darauf hingewiesen, dass gemäß weiteren Ausführungsbeispielen die Oberfläche **330** auch eine optisch relevante Oberfläche einer bereits abgeformten Struktur sein kann. Dies kann insbesondere bei der Herstellung von optischen Schichtstapeln, durch Übereinander-Abformung mehrerer Strukturen aus aushärtbaren Materialien der Fall sein.

[0052] Die optische Funktionsfläche **312'** dient zur Definition einer optisch relevanten Oberfläche **323** des auf einem Substrat **330** bzw. der Oberfläche **330** abgeformten Elements **322a**.

[0053] Der durch die während eines Abform- und Aushärtschritts unter Druck stehende Membran **316** erzeugte Kanal **318** hinterlässt in dem abgeformten Element **322a** einen umlaufenden Graben **328**, der allerdings ohne weitere Bewandnis bleiben kann.

[0054] Das Aufbringen eines Drucks in der elastischen Membran **316** und damit die Erzeugung des Kanals **318** führt während des Abform- und Aushärtschritts zu einem Nachfließen von weiterem aushärtbaren Material in den Bereich der optisch relevanten Oberfläche **323** des abgeformten Elements **322a**, um eine Schrumpfung des Polymervolumens während der Aushärtung auszugleichen. Die Struktur **319** zur Divergenzanpassung dient dem unkollimierten Bestrahlen, um eine Schlierenbildung vor allem im Bereich in und unterhalb der optisch relevanten Oberfläche **323** des abgeformten Elements **323a** zu vermeiden. Die Struktur **319** zur Divergenzanpassung kann dabei beispielsweise ein Mikrolinsenfeld, eine diffraktive Struktur, ein Diffusor oder auch ein Auftrag von Farben und Pigmenten sein, welche den gleichen Effekt wie die erstgenannten Mikrostrukturen erzielen, aber einfach aufgedruckt anstatt aufwendig mikrostrukturiert werden zu müssen.

[0055] Das in [Fig. 6a](#) auf der rechten Seite gezeigte Abformwerkzeug **310b** unterscheidet sich von dem auf der linken Seite gezeigten Abformwerkzeug **310a** durch eine zusätzliche mechanische Funktionsfläche **313**, welche die optische Funktionsfläche **312'** umläuft. Dementsprechend weist das abgeformte Element **322b** einen, die optisch relevante Oberfläche **323** umlaufenden mechanischen Funktionsrand **324** auf. Dieser mechanische Funktionsrand **324** kann beispielsweise nicht der optischen Funktion des abgeformten Elements **322b** dienen, und kann damit nicht im Bereich der durch die Struktur **319** zur Divergenzanpassung erzeugten unkollimierten Strahlung liegen. Der optische Funktionsrand **324** kann beispielsweise zur Justage bzw. Arretierung des abgeformten Elements **322b** bei einem Übereinanderstapeln mehrerer abgeformter Elemente dienen.

[0056] [Fig. 6b](#) zeigt auf seiner linken Seite eine Unteransicht eines Abformwerkzeuges **310c** gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung und eine Schnittansicht des Abformwerkzeuges **310c**, sowie eine Draufsicht auf ein durch das Abformwerkzeug **310c** abgeformtes Element **322c** und eine Schnittansicht des abgeformten Elements **322c**. Weiterhin zeigt [Fig. 6b](#) auf seiner rechten Seite eine Unteransicht eines Abformwerkzeuges **310d** gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung und eine Schnittansicht des Abformwerkzeuges **310d**, sowie eine Draufsicht auf ein durch das Abformwerkzeug **310d** abgeformtes Element **322d** und eine Schnittansicht des abgeformten Elements **322d**.

[0057] Das in [Fig. 6b](#) auf der linken Seite gezeigte Abformwerkzeug **310c** unterscheidet sich von dem in [Fig. 6a](#) auf der linken Seite gezeigten Abformwerkzeug **310a** dadurch, dass es angrenzend an die optische Funktionsfläche **312'** periphere, nicht-rotationssymmetrische Strukturen **317**, **317'** aufweist. Eine erste periphere, nicht-rotationssymmetrische Struktur **317** bildet eine Vertiefung in der Abformfläche **312** des Abformwerkzeuges **310c**. Eine zweite periphere, nicht-rotationssymmetrische Struktur **317'** bildet eine Erhöhung in der Abformfläche **312** des Abformwerkzeuges **310c**. Die erste periphere nichtrotationssymmetrische Struktur **317** führt bei dem abgeformten Element **322c** zu einer, an die optisch relevante Oberfläche **323** angrenzende periphere, nicht-rotationssymmetrische Erhöhung **327**. Die zweite periphere, nicht-rotationssymmetrische Struktur **317'** des Abformwerkzeuges **310c** führt bei dem abgeformten Element **322c** zu einer peripheren, nichtrotationssymmetrischen Vertiefung **327'**.

[0058] Die durch die peripheren nicht-rotationssymmetrischen Strukturen **317**, **317'** erzeugte Erhöhung **327** und Vertiefung **327'** können insbesondere beim Übereinanderstapeln mehrerer abgeformter Elemente zur Arretierung der einzelnen Elemente dienen.

[0059] Obwohl in dem obigen Ausführungsbeispiel die Strukturen **317**, **317'** nicht rotationssymmetrisch sind, so können in weiteren Ausführungsbeispielen die Strukturen **317**, **317'** auch rotationssymmetrisch bzw. rotationsinvariant gegenüber Teilumdrehungen oder umlaufend sein. Weiterhin ist es möglich, dass das Abformwerkzeug **310c** nur eine periphere Struktur oder eine beliebige Anzahl peripherer Strukturen aufweist. Diese können in ihrer Form und insbesondere in ihrer Ausbildungsrichtung bezüglich einer Oberfläche **330**, auf die das Abformwerkzeug **310c** aufgesetzt bzw. in einem Abstand zur Oberfläche **330** zu dieser ausgerichtet werden kann, variieren.

[0060] Das in [Fig. 6b](#) auf der rechten Seite gezeigte Abformwerkzeug **310d** unterscheidet sich von dem in [Fig. 6b](#) auf der linken Seite gezeigten Abformwerkzeug **310d** durch eine an die optische Funktions-

fläche **312'** anschließende, umschließende mechanische Funktionsfläche **313**, an die sich die peripheren, nicht-rotationssymmetrischen Strukturen **317**, **317'** anschließen, um sich radial nach außen zu erstrecken.

[0061] Die mechanische Funktionsfläche **313** führt im abgeformten Element **322d** zu einer umlaufenden mechanischen Umrandung **324**, von der sich die Erhöhung **327** und die Vertiefung **327'** wegerstrecken.

[0062] [Fig. 6c](#) zeigt auf seiner linken Seite eine Unteransicht eines Abformwerkzeuges **310e** gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung und eine Schnittansicht des Abformwerkzeuges **310e**, sowie eine Draufsicht auf ein durch das Abformwerkzeug **310e** abgeformtes Element **322e** und eine Schnittansicht des abgeformten Elements **322e**. Weiterhin zeigt [Fig. 6c](#) auf seiner rechten Seite eine Unteransicht eines Abformwerkzeuges **310f** gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung und eine Schnittansicht des Abformwerkzeuges **310f**, sowie eine Draufsicht auf ein durch das Abformwerkzeug **310f** abgeformtes Element **322f** und eine Schnittansicht des abgeformten Elements **322f**.

[0063] Das in [Fig. 6c](#) auf der linken Seite gezeigte Abformwerkzeug **310e** unterscheidet sich von dem in [Fig. 6b](#) auf der rechten Seite gezeigten Abformwerkzeug **310d** dadurch, dass lateral benachbart zu dem optischen Funktionsflächenbereich **312'** eine erste Blendenstruktur **314** und eine zweite Blendenstruktur **314'** angeordnet ist.

[0064] Die Blendenstrukturen **314**, **314'** dienen zur Abschirmung von Bereichen, welche während einer Bestrahlung durch das Abformwerkzeug **310e** hindurch nicht ausgehärtet werden sollen.

[0065] Die Blendenstrukturen **314**, **314'** führen damit in dem abgeformten Element **322e** zu einem senkrecht zur Oberfläche **330** verlaufenden ersten Kanal **329** und einem senkrecht zur Oberfläche **330** verlaufenden zweiten Kanal **329'**, in welchen nach einem Reinigungsvorgang bzw. Entwicklungsvorgang kein ausgehärtetes Material angeordnet ist. Die Kanäle **329**, **329'** können beispielsweise zum Eingeben eines Lösungsmittels, zum Lösen von löslichem aushärtbaren Material, um Lufträume zu erzeugen, genutzt werden.

[0066] Das in [Fig. 6c](#) auf der rechten Seite gezeigte Abformwerkzeug **310f** unterscheidet sich von dem auf der linken Seite gezeigten Abformwerkzeug **310e** durch eine andere Platzierung der Blendenstrukturen **314**, **314'**. Die erste Blendenstruktur **314** ist in der ersten peripheren, nicht-rotationssymmetrischen Struktur **317** des Abformwerkzeuges **310f** angeordnet. Die zweite Blendenstruktur **314'** ist in der zweiten peripheren, nichtrotationssymmetrischen Struktur

317' des Abformwerkzeuges **310f** angeordnet. Die Blendenstrukturen **314**, **314'** lassen sich besonders einfach, beispielsweise durch Auftragen von schwarzer Farbe, auf der Abformfläche **312** oder der elastischen Membran **316** in den Bereichen der peripheren nicht-rotationssymmetrischen Strukturen **317**, **317'** realisieren.

[0067] Das durch das Abformwerkzeug **310f** abgeformte Element **322f** unterscheidet sich nicht von dem abgeformten Element **322e**.

[0068] Obwohl die in den [Fig. 6a–Fig. 6c](#) beschriebenen Abformwerkzeuge **310a–310f** zur Herstellung abgeformter Elemente **322a–322f** mit einer konvexen optisch relevanten Oberfläche **323** dienen, so können in weiteren Ausführungsbeispielen Abformwerkzeuge ausgebildet sein, um abgeformte Elemente mit konkaven, konvexen, planen oder auch freiflächenartigen optisch relevanten Oberflächen abzuformen.

[0069] Die in den [Fig. 6a–Fig. 6c](#) gezeigten abgeformten Elemente **323a–323f** können beispielsweise optische Linsen bilden. Obwohl in den gezeigten Ausführungsbeispielen eine plankonvexe Linsenform dargestellt ist, so ist es auch möglich, dass in weiteren Ausführungsbeispielen abgeformte Elemente beliebige andere Linsenformen aufweisen.

[0070] Obwohl in den oben gezeigten Ausführungsbeispielen zwei Blendenstrukturen **314**, **314'** angeordnet sind, so ist es auch möglich, dass Abformwerkzeuge eine Blendenstruktur oder eine beliebige Anzahl von Blendenstrukturen aufweisen oder gar keine Blendenstrukturen aufweisen.

[0071] Obwohl in den oben gezeigten Ausführungsbeispielen die Blendenstrukturen **314**, **314'** exemplarisch so angeordnet sind, dass sich die senkrecht zur Oberfläche **330** verlaufenden Kanäle **329**, **329'** lateral im Bereich der peripheren nicht rotationssymmetrischen Strukturen **327**, **327'** bilden, so wäre es auch möglich, dass die Blendenstrukturen **314**, **314'** an anderen Positionen in den Abformwerkzeugen **310e**, **310f** angeordnet sind, beispielsweise außerhalb dem optischen Funktionsflächenbereich **312'**, um die senkrecht zur Oberfläche **330** verlaufenden Kanäle an anderen Stellen in den abgeformten Elementen **322e**, **322f** zu bilden.

[0072] Weiterhin kann in weiteren Ausführungsbeispielen das Substrat bzw. die Oberfläche **330** nicht eben, sondern eine andere beliebige Form aufweisen, beispielsweise als ein Gegenstück zu den Abformwerkzeugen **310a–310f**.

[0073] Die abgeformten Elemente **322a–322f** stellen hochpräzise Negativabbilder der Abformwerkzeuge **310a–310f** dar.

[0074] Die Blendenstrukturen **314**, **314'** können also zur Abschirmung des flüssigen Polymers bzw. weiteren aushärtbaren Materials während der Bestrahlung mit UV-Licht für die Schaffung von Kavitäten bzw. Hohlräumen und/oder senkrecht zum Substrat bzw. der Oberfläche **330** verlaufender Kanäle **329**, **329'**, in den abgeformten Elementen **322e–322f** dienen. Nach der Aushärtung durch UV-Bestrahlung unter Nutzung des Schritts **120** verbleiben nach einem nachfolgenden Reinigungsschritt zur Entfernung von nicht bestrahltem und mithin flüssigem Polymer bzw. aushärtbarem Material Kavitäten bzw. Hohlräume und/oder senkrecht zum Substrat bzw. der Oberfläche **330** verlaufende Kanäle **329**, **329'** in der hergestellten Struktur bzw. den abgeformten Elementen **322e–322f**.

[0075] Weiterhin kann in einem weiteren Schritt die Oberfläche **330** bzw. das Substrat **330** entfernt oder ein weiteres Element auf einem bereits abgeformten Element abgeformt werden.

[0076] Gemäß weiteren Ausführungsbeispielen können Abformwerkzeuge darüber hinaus Blendenstrukturen zum Vorhalt von Polymervolumen, das nicht gehärtet wird, aufweisen, da in Folge der Schrumpfung bei der Aushärtung des Polymers um beispielsweise 1 bis 10% ein größeres Volumen flüssigen Polymers bzw. aushärtbaren Materials vorhanden sein muss als später vorhandenes ausgehärtetes.

[0077] Also sind Blendenstrukturen zum Vorhalt von Polymervolumen vorgesehen um eine Bestrahlung und mithin Aushärtung durch UV-Strahlung zu verhindern. Das unter den Blendenstrukturen zum Vorhalt von Polymervolumen vorhandene flüssige Polymer bzw. weitere aushärtbare Material, dient damit also beispielsweise als Reservoir des erforderlichen Mehrvolumens an flüssigem Polymer bzw. aushärtbarem Material zur Schrumpfkompensation

[0078] Die Blendenstrukturen zum Vorhalt von Polymervolumen können beispielsweise zusammen mit den Blendenstrukturen zur Schaffung von senkrecht zur Oberfläche verlaufender Kanäle in einer gemeinsamen Blendenstruktur oder mehreren gemeinsamen Blendenstrukturen vereint werden.

[0079] Auf Blendenstrukturen zum Vorhalt von Polymervolumen kann beispielsweise verzichtet werden (wie dies in den Abformwerkzeugen **310e**, **310f** gezeigt ist), wenn zum Vorhalt des flüssigen Polymers alle Bereiche außerhalb eines optischen Funktionsflächenbereichs eines Abformwerkzeugs genutzt werden und die Bestrahlung zeitlich sequentiell von innen (beginnend bei dem optischen Funktionsflächenbereich) nach außen durchgeführt wird, die Bereiche außerhalb dem optischen Funktionsflächenbereich können nicht abgedeckt sein, da hier aufgrund der zeitlich sequentiellen Bestrahlung eine

Bestrahlung erst nach der Bestrahlung des optischen Funktionsflächenbereichs erfolgt.

[0080] **Fig. 7** zeigt eine schematische Darstellung einer Schnittansicht einer Vorrichtung **700** gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Die Vorrichtung **700** umfasst eine Oberfläche **330**, beispielsweise aus einem Glassubstratmaterial. Auf der Oberfläche **330** ist ein Abformwerkzeug **310** so angeordnet, dass sich aushärtbares Material **320** zwischen einer der Oberfläche **330** zugewandten Abformfläche **312** in einem Bereich **340** befinden kann. Das Abformwerkzeug **310** ist weiterhin von weiterem aushärtbarem Material **321** umgeben. An seinem äußeren Rand weist das Abformwerkzeug **310** eine umlaufende elastische Membran **710** auf. Auf einer der Oberfläche **330** nicht zugewandten Oberfläche des Abformwerkzeugs **310** weist die Vorrichtung **700** eine variable Blendschicht **350** auf. An die Blendschicht **350** grenzt ein variables Graufilter **510** an. Weiterhin kann am Rand der Vorrichtung **700** eine umlaufende Dichtung, beispielsweise aus einem elastischen Material angeordnet sein.

[0081] Die in **Fig. 7** gezeigte Vorrichtung **700** ermöglicht die Aufbringung eines statischen Drucks p_a auf das flüssige Polymer bzw. das weitere aushärtbare Material **321**. D. h. ein äußerer statischer Druck p_a kann z. B. durch einen Stempel auf die elastische Membran **710** aufgebracht werden, wodurch ein innerer statischer Druck p_i in dem durch die elastische Membran **710** und der umlaufenden Dichtung abgedichteten Bereich entsteht. Der innere Druck p_i führt zu einer Verbesserung des Transports bzw. des Flusses Φ_p des flüssigen Polymers bzw. weiteren aushärtbaren Materials **321** an die durch die veränderlichen Blenden bzw. Blendschichten **350** lokal eingegrenzten Stellen der stattfindenden Aushärtung des Polymers, um eine verbesserte Schrumpfkompensation zu erzielen.

[0082] Mit anderen Worten gesagt, weist das Abformwerkzeug **310** Durchbrüche auf, über die auf das flüssige Polymer bzw. weitere aushärtbare Material **321** von außen Druck p_a z. B. durch einen Stempel ausgeübt werden kann. Der äußere statische Druck p_a kann dabei vorzugsweise über die elastische Membran **710**, welche beispielsweise aus PD-MS-Polydimethylsiloxan hergestellt ist, auf das flüssige Polymer bzw. weitere aushärtbare Material **321** über einen Stempel bzw. durch Nutzung hydraulischer oder pneumatischer Mimiken übertragen werden. Gleichzeitig kann durch die elastische Membran **710** ein Kontakt nach außen verhindert werden. Die umlaufende Dichtung, beispielsweise aus einem elastischen Material am Rand der Vorrichtung **700** bzw. dem Wafer dient zur Aufrechterhaltung des Drucks. Um den Transport bzw. den Fluss des flüssigen Polymers Φ_p an allen Stellen innerhalb der Dichtung zu gewährleisten, ist die gesamte Oberfläche

des Wafers bzw. der Vorrichtung **700** mit einer durchgehenden Schicht flüssigen Polymers bzw. aushärtbaren Materials versehen und bildet damit aus hydrodynamischer Sicht korrespondierende Röhren und verfügen mithin über denselben inneren statischen Druck p_i .

[0083] Die Vorrichtung **700** ermöglicht damit, dass während des Schritts des lokal variierenden Bestrahlens **120** weiterhin zeitlich parallel der Schritt **130** des Anlegen eines konstanten Drucks an das weitere aushärtbare Material **321** durchgeführt werden kann. Dadurch wird gewährleistet, dass während der Aushärtung des aushärtbaren Materials entstehende Hohlräume durch nachfließendes weiteres aushärtbares Material **321** kompensiert werden und damit eine verbesserte Schrumpfkompensation erzielt wird.

[0084] **Fig. 8** zeigt eine schematische Darstellung einer Schnittansicht einer Vorrichtung **800** gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Die Vorrichtung **800** unterscheidet sich durch die Vorrichtung **700** dadurch, dass zwischen der von der Oberfläche **330** abgewandten Oberfläche des Abformwerkzeugs **310** und der dem Abformwerkzeug **310** zugewandten Oberfläche der Blendenschicht **350** ein Werkzeugssubstrat **810** angeordnet ist. Das Werkzeugssubstrat **810** in Form einer planen Platte grenzt an die der Oberfläche **330** abgewandten Oberfläche des Abformwerkzeugs **310** an. Die Vorrichtung **800** weist darüber hinaus zwischen dem Werkzeugssubstrat **810** und dem Abformwerkzeug **310** an den äußeren Rändern des Abformwerkzeugs **310** einen Kanal **820** für Hydraulik bzw. Pressluft zur Aufbringung von Druck auf.

[0085] Im Gegensatz zur Vorrichtung **700** wird in der hier beschriebenen Vorrichtung **800** der äußere statische Druck p_a nicht durch einen Stempel sondern durch Hydraulik bzw. Pressluft im Kanal **820** erzeugt.

[0086] **Fig. 9** zeigt eine schematische Darstellung einer Schnittansicht einer Vorrichtung **900** gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Wie auch schon die vorherige Vorrichtung **800**, nutzt auch die Vorrichtung **900** hydraulische bzw. pneumatische Mimiken zur Aufbringung des äußeren statischen Drucks p_a auf das weitere aushärtbare Material **321**. Die Vorrichtung **900** unterscheidet sich von der Vorrichtung **800** durch eine andere Form des Werkzeugssubstrats **810** und des Abformwerkzeugs **310**. Während bei der Vorrichtung **800** das Werkzeugssubstrat **810** in einer Schnittansicht eine rechteckige Form aufweist, so weist bei der hier gezeigten Vorrichtung **900** das Werkzeugssubstrat **810** in einer Schnittansicht eine T-förmige Form auf, welche den Kanal **820** für Hydraulik bzw. Pressluft zur Aufbringung von Druck vorgibt. Die der Oberfläche **330** abgewandte Oberfläche des Abformwerkzeugs **310** der Vorrichtung der **900**, weist im Gegensatz zu der

der Oberfläche **330** abgewandten Oberfläche des Abformwerkzeugs **310** der Vorrichtung **800** eine durchgängig flächige Form auf. Die Funktionsweise der Vorrichtung **900** ist analog zur Funktionsweise der Vorrichtung **800**.

[0087] Die in den **Fig. 7–Fig. 9** gezeigten Vorrichtungen beschränken sich auf die Herstellung einer Struktur bzw. Linse, sinnvollerweise werden die gezeigten Vorrichtungen in Feldern mehrerer tausend dieser Vorrichtungen, beispielsweise auf einem Wafer angeordnet, um in einem Prozess mehrere tausend – entsprechend der Anzahl der Vorrichtungen – Strukturen bzw. Linsen herzustellen. Im Folgenden soll daher gezeigt werden, wie Anordnungen mehrerer solcher Vorrichtungen ausgebildet sein können. Es sei erwähnt, dass der Abstand zwischen mehreren Vorrichtungen in einem Feld, im Folgenden der Übersichtlichkeit halber stark verkleinert dargestellt ist.

[0088] **Fig. 10** zeigt eine schematische Darstellung einer Schnittansicht einer Vorrichtung **1000** gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Die Vorrichtung **1000** kann mehrere der Vorrichtungen **700** umfassen. In **Fig. 10** sind zwei Vorrichtungen **700** gezeigt, welche durch umlaufende Wände **1010** aus ausgehärtetem Polymer zur Realisierung einer geschlossenen Kavität von einander getrennt sind.

[0089] Die Vorrichtung **1000** ermöglicht damit eine Aufbringung eines äußeren statischen Drucks p_a auf das flüssige Polymer bzw. aushärtbare Material **320**, ohne eine durchgehende Polymerschicht bzw. Schicht aus aushärtbarem Material **320**. Mit anderen Worten gesagt, wird in jeder Teilvorrichtung **700** der Vorrichtung **1000** ein statischer innerer Einzeldruck p_i erzeugt.

[0090] Zur Einsparung von Polymermaterial bzw. aushärtbarem Material, welches sich zwischen den optisch wirksamen Flächen befindet, also Flächen, welche bestrahlt werden, kann ein zweigeteilter Belichtungsprozess durchgeführt werden. Hierbei wird in einem ersten Schritt durch die Blendenschicht **350** der Bereich der optischen Flächen der herzustellenden Struktur sowie der Kanäle zur Aufbringung des statischen Drucks p_a abgeschattet. Als Folge der ersten Bestrahlung bilden sich um jede optische Fläche, also Bereiche in denen später die herzustellenden Strukturen abgeformt werden umlaufende Wände **1010** ausgehärteten Polymers bzw. ausgehärteten aushärtbaren Materials. Die einzelnen optischen Flächen sind damit von den anderen Flächen separiert, mit anderen Worten entsteht eine Unterteilung der Vorrichtung **1000** in mehrere Teilvorrichtungen **700**. In einem zweiten Schritt kann nun in den resultierenden Kammern bzw. Teilvorrichtungen **700** unabhängig von den anderen Kammern statischer Druck p_i aufgebaut werden, um das Nachfließen Φ_p

des Polymers bzw. weiteren aushärtbaren Materials **321** während der zweiten Aushärtung, durch die im Durchmesser veränderlichen Blenden bzw. Blendschichten **350** zu gewährleisten. Die zweite Aushärtung bzw. der Schritt **120** des lokal variierenden Bestrahlers erfolgt damit nach dem gleichen Schema, wie bereits im Verfahren **100** beschrieben.

[0091] **Fig. 11** zeigt eine schematische Darstellung einer Schnittansicht einer Vorrichtung **1100** gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Die Vorrichtung **1100** zeigt analog zur Vorrichtung **1000** eine Anordnung mehrerer Vorrichtungen **800**, getrennt durch umlaufende Wände **1010** aus ausgehärtetem Polymer zur Realisierung einer geschlossenen Kavität. Die Herstellung der umlaufenden Wände **1010** erfolgt wie bereits bei der Vorrichtung **1000** beschrieben.

[0092] Die Funktionsweise der Vorrichtung **1100** ist analog zur Funktionsweise der Vorrichtung **1000**.

[0093] **Fig. 12** zeigt eine schematische Darstellung einer Schnittansicht einer Vorrichtung **1200** gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Die Vorrichtung **1200** umfasst analog zu den Vorrichtungen **1000** und **1100** eine Anordnung mehrerer Vorrichtungen **900**, getrennt durch umlaufende Wände **1010** aus ausgehärtetem Polymer zur Realisierung einer geschlossenen Kavität. Die Herstellung der umlaufenden Wände **1010** erfolgt wie bereits bei der Vorrichtung **1000** beschrieben.

[0094] Die Funktionsweise der Vorrichtung **1200** ist analog zur Funktionsweise der Vorrichtungen **1000** und **1100**.

[0095] **Fig. 13** zeigt eine schematische Darstellung einer Schnittansicht einer Vorrichtung **1300** gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Die Vorrichtung **1300** umfasst eine Anordnung mehrerer Vorrichtungen **900**, wobei diese nicht durch umlaufende Wände aus ausgehärtetem Polymer getrennt voneinander sind. Weiterhin wird das lokal variierende Bestrahlen, anstatt durch eine variable Blendschicht **350** nur durch ein variables Graufilter **510** gesteuert. Da die einzelnen Vorrichtungen **900** nicht durch umlaufende Wände aus ausgehärtetem Polymer getrennt sind, kann auf einen ersten Schritt des Aushärtens optisch nicht aktiver Flächen verzichtet werden.

[0096] **Fig. 14a** zeigt eine schematische Darstellung einer Schnittansicht einer Vorrichtung mit einem Abformwerkzeug **310** zur Verwendung in einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Das in der in **Fig. 14a** gezeigten Vorrichtung verwendete Abformwerkzeug **310** unterscheidet sich durch die bisher gezeigten Abformwerkzeuge durch Mikrostrukturen **1410** zur lokalen Einstellung der Divergenz der

Beleuchtung. Weiterhin umfasst das in **Fig. 14a** gezeigte Abformwerkzeug **310** Blendenstrukturen **314** zur Erzeugung von Kavitäten zum Volumenvorhalt und/oder zur Erzeugung senkrecht zum Substrat bzw. zur Oberfläche **330** verlaufender Kanäle **329**, **329'**, wie dies in **Fig. 6c** anhand der abgeformten Elemente **322e–322f** gezeigt ist.

[0097] Die Verwendung eines in **Fig. 14a** gezeigten Abformwerkzeugs **310** ermöglicht damit eine räumliche Steuerung der Divergenz bei dem Schritt **120** der lokal variierenden Bestrahlung. Die abgeblendeten Bereiche zum Volumenvorhalt an flüssigem Polymer bzw. weiterem aushärtbaren Material **321** und/oder zur Erzeugung senkrecht zum Substrat bzw. der Oberfläche **330** verlaufender Kanäle **329**, **329'** oder rundumlaufender Wände **1010** sollen über möglichst steile Strukturkanten verfügen. Diese können mit einer kollimierten, d. h. parallelen Beleuchtung mit UV-Strahlung erzeugt werden, wie sie vom Maskenausrichter („mask aligner“) bereitgestellt wird.

[0098] Nachteiligerweise kann eine kollimierte, also parallele und mithin stark gerichtete Beleuchtung bzw. Bestrahlung zur Bildung von Brechzahlgradienten im Polymer bzw. dem aushärtbaren Material führen, was zu Schlieren und mithin verschlechterter optischer Funktion der ausgehärteten Polymere bzw. Materialien der nicht abgeblendeten Bereiche führt.

[0099] Zur Vermeidung der Schlierenbildung empfiehlt es sich daher, diffus zu beleuchten. Folglich ist eine gleichzeitige Erzeugung steiler Strukturkanten und homogener Brechzahlverteilungen, also keine Schlierenbildung mit einer bisher bekannten Flutbelichtung unter Nutzung einfacher Werkzeuge nicht möglich.

[0100] Die Nutzung der lokalen Mikrostrukturen **1410** oder wie an anderer Stelle mit **319** bezeichnet, beispielsweise Mikrolinsfelder, diffraktive Strukturen oder Diffusoren auf dem Abformwerkzeug **310** ermöglicht die lokale Anpassung der zur Aushärtung erforderlichen, vom Maskenausrichter kollimiert eingestrahlten UV-Strahlung. Dadurch resultieren Bereiche **1420** erhöhter Divergenz, die die Ausbildung von Schlieren einerseits vermeiden, jedoch keine steilen Kanten im Profil der Strukturen erlauben. Weiterhin resultieren Bereiche **1430** mit steilen Strukturkantenverläufen aber auch erhöhter Schlierenbildung. Die Bereiche **1420** können dabei eine optisch wirksame Fläche, wie beispielsweise eine Linsenoberfläche der herzustellenden Struktur vorgeben. Die Bereiche **1430** mit steilen Strukturverläufen, welche optisch nicht relevant sind, können beispielsweise die Randbereiche bzw. Kanten der herzustellenden Strukturen vorgeben.

[0101] Obwohl in dem oben beschriebenen Ausführungsbeispiel Mikrostrukturen **1410** zur Erzeugung

der Bereiche **1420** erhöhter Divergenz eingesetzt werden, so könnten in weiteren Ausführungsbeispielen, die Bereiche **1420** erhöhter Divergenz durch Farb- oder Pigmentstrukturen auf dem Abformwerkzeug **310** erzeugt werden. Diese Farb- oder Pigmentstrukturen können einfach aufgedruckt werden, sind daher im Gegensatz zu aufwendigen Mikrostrukturen einfach in der Herstellung und können zusätzlich mit einer nächsten Schicht des Abformwerkzeugs überlagert werden. Lufträume wie sie bei der Nutzung von Mikrolinsen nötig sind, können bei der Nutzung der Farb- oder Pigmentstrukturen zur Erzeugung der Bereiche **1420** erhöhter Divergenz entfallen.

[0102] Fig. 14b zeigt eine schematische Darstellung einer Schnittansicht einer Vorrichtung **1400** gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Die Vorrichtung **1400** umfasst eine Oberfläche **330** bzw. ein Substrat **330**. Zwischen einer Abformfläche **312** eines Abformwerkzeugs **310** und der Oberfläche **330** ist ein aushärtbares Material **320** angeordnet. Das Abformwerkzeug **310** weist Mikrostrukturen **1410** zur lokalen Einstellung der Divergenz der Beleuchtung bzw. Bestrahlung auf. Weiterhin umfasst das Abformwerkzeug **310** Blendenstrukturen **314** zur Erzeugung von Kavitäten zum Volumenvorhalt und/oder zur Erzeugung senkrecht zur Oberfläche **330** bzw. zum Substrat verlaufender Kanäle. **329, 329'**. An einer nicht der Oberfläche **330** zugewandten Oberfläche des Abformwerkzeugs **310** grenzt eine variable Blendenschicht **350** an. An einer nicht dem Abformwerkzeug **310** zugewandten Oberfläche der variablen Blendenschicht **350** grenzt ein variables Graufilter **510** an.

[0103] Das variable Graufilter **510** in Kombination mit der variablen Blendenschicht **350** ermöglicht eine lokal variierende Bestrahlung des aushärtbaren Materials **320**, so dass weiteres aushärtbares Material **321** nachfließen kann, um einen Materialschrumpf des aushärtbaren Materials **320** zu kompensieren. Die Mikrostrukturen **1410** zur lokalen Einstellung der Divergenz der Beleuchtung verhindern eine Schlierenbildung bei der Aushärtung des aushärtbaren Materials **320** und verbessern damit optische Eigenschaften im Bereich **1420** der erhöhten Divergenz der hergestellten Strukturen. Kollimiert bestrahlte Bereiche **1430** weisen steile Strukturkanten der hergestellten Struktur auf. Die gezeigte Vorrichtung **1400** kann weiterhin um eine Vorrichtung zur Aufbringung eines statischen Drucks, wie sie bereits in vorherigen Ausführungsbeispielen beschrieben wurde, erweitert werden.

[0104] Das lokal variierende Bestrahlen kann bevorzugt von innen, also von der Mitte des Bereichs **1420** erhöhter Divergenz nach außen, also zum Rand des Bereichs **1420** erhöhter Divergenz durchgeführt werden um die optischen Eigenschaften der herzustellenden Struktur zu verbessern.

[0105] Fig. 15 zeigt eine schematische Darstellung einer Schnittansicht einer Vorrichtung **1500** gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Die Vorrichtung **1500** stellt eine Kombination aller gezeigten Vorrichtungen in einem Feld dar. Die Vorrichtung **1500** umfasst eine Oberfläche **330**. An die Oberfläche **330** grenzt ein Feld von Abformwerkzeugen **310** an. In einem Bereich **340** zwischen einer Abformfläche **312** der Abformwerkzeuge **310** und der Oberfläche **330** kann sich aushärtbares Material **320** befinden. Die Abformwerkzeuge **310** umfassen Mikrostrukturen **1410** zur lokalen Einstellung der Beleuchtungsdivergenz und Blendenstrukturen **314** zur Erzeugung von Kavitäten zum Volumenvorhalt und/oder senkrecht zum Substrat verlaufender Kanäle **329, 329'**. Weiterhin umfassen die Abformwerkzeuge **310** elastische Membranen **710**. An die elastischen Membranen **710** grenzen Stempel **1510** zum Aufbringen externen statischen Drucks p_a an. Angrenzend an eine nicht den Abformwerkzeugen **310** zugewandte Oberfläche der Stempel **1510** ist eine variable Blendenschicht **350** angeordnet. Die variable Blendenschicht **350** umfasst ein erstes Blendenfeld **351** und ein zweites Blendenfeld **352**. Angrenzend an eine nicht den Abformwerkzeugen **310** zugewandte Oberfläche der variablen Blendenschicht **350** ist ein variables Graufilter **510** angeordnet.

[0106] Das variable Graufilter **510** in Kombination mit der Blendenschicht **350** ermöglicht eine lokal variierende Bestrahlung des aushärtbaren Materials **320** durch die Abformwerkzeuge **310** hindurch. Während des Schritts **120** des lokal variierenden Bestrahlers wird durch die Stempel **1510** ein externer statischer Druck p_a auf weiteres aushärtbares Material **321** aufgebracht. Der externe statische Druck p_a führt zu einem internen Druck p_i , welcher zu einem Nachfließen Φ_p des weiteren aushärtbaren Materials **321** in die bestrahlten Bereiche **340** führt und damit eine verbesserte Schrumpfkompensation ermöglicht. Die Nutzung der Mikrostrukturen **1410** zur lokalen Einstellung der Beleuchtungsdivergenz ermöglicht eine Diffusion der vom Maskenausrichter kollimiert eingestrahlt UV-Strahlung, um eine Schlierenbildung in den optisch wirksamen Bereichen **1420** der herzustellenden Strukturen zu vermeiden.

[0107] Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Vorrichtung **1500** eine Anordnung für die kostengünstige Herstellung, beispielsweise hochgenauer optischer und mechanischer Komponenten durch einen Replikationsprozess auf Basis UV-härtender Polymere darstellt. Hierbei wird das zur Abformung benötigte Abformwerkzeug **310** mit fixen, beispielsweise den Mikrostrukturen **1410** und variablen, wie beispielsweise die Blendenschicht **350** oder das Graufilter **510** optischen Elementen versehen, die eine sich zeitlich änderbare lokale Einstellung der Transmissionsfunktion des Abformwerkzeugs **310** in Amplitude und Phase ermöglichen. Die lokale und zeitlich änderbare

Einstellung der Transmissionsfunktion in Amplitude und Phase, bewirkt damit eine Kompensation der bei der UV-Aushärtung von Polymer bzw. dem aushärtbaren Material auftretenden Schrumpfung und mithin eine Reduzierung auftretender mechanischer Spannung auf dem Substrat bzw. der Oberfläche und eine ortsabhängige Erzeugung von Strukturen mit steilen Kantenverläufen bzw. geringer Brechzahlgradienten im auszuhärtenden Material.

[0108] Mit anderen Worten gesagt, werden diese genannten Vorteile erreicht durch eine zeitliche Steuerung der Transmissionsfunktion der Beleuchtungsoptik, einen Vorhalt von Polymervolumen, welches nicht gehärtet wird, eine Aufbringung eines statischen Drucks auf das flüssige Polymer und durch eine räumliche Streuung der Divergenz. Die Vorrichtung **1500** kombiniert alle diese genannten Funktionen in einem Feld.

[0109] Es sei hier nochmals erwähnt, dass zusätzliches Polymervolumen, also beispielsweise weiteres aushärtbares Material **321** durch zusätzliche Blendenstrukturen im Abformwerkzeug **310** vor Bestrahlung geschützt werden kann, es weiterhin aber auch möglich ist, dass weiteres aushärtbares Material **321** von einem Randbereich um eine optisch genutzte Wirkfläche, wie beispielsweise der Bereich **1420** erhöhter Divergenz, der herzustellenden Struktur nachfließt. Dies ist insbesondere möglich, falls die Bestrahlung zeitlich sequentiell von innen, also beginnend bei der optisch genutzten Wirkfläche, also der optisch relevanten Oberfläche der herzustellenden Struktur nach außen, also zu dem Randbereich der herzustellenden Struktur durchgeführt wird. Durch eine Aufbringung von Druck während dem sequentiellen Bestrahlen auf das weitere aushärtbare Material **321** im Randbereich, fließt das weitere aushärtbare Material **321** vom Randbereich in den Bereich der optisch genutzten Wirkfläche der herzustellenden Struktur nach. Das sich im Randbereich der herzustellenden Struktur befindliche weitere aushärtbare Material **321**, welches nicht zur Kompensation des Volumenschrumpfes genutzt wurde, kann zeitlich am Ende der Bestrahlung ausgehärtet werden, wenn die eigentliche Linse, also die optisch genutzte Wirkfläche der herzustellenden Struktur ausgehärtet ist.

[0110] Weiterhin zeigt **Fig. 16** eine schematische Darstellung einer Schnittansicht einer Vorrichtung **1600** gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung, wobei bei der Vorrichtung **1600** im Gegensatz zu den in den **Fig. 7–Fig. 15** gezeigten Vorrichtungen ein vereinfachter Aufbau des Abformwerkzeugs **310**, wie es bereits in den **Fig. 6a–Fig. 6c** gezeigt wurde realisiert ist. Mit anderen Worten entspricht das in **Fig. 16** gezeigte Abformwerkzeug **310** prinzipiell den in den **Fig. 6a–Fig. 6c** gezeigten Abformwerkzeugen **310a–310f**. Der vereinfachte Werkzeugaufbau des Abformwerkzeugs **310** oh-

ne Notwendigkeit von Durchbrüchen oder Kanälen ergibt sich, wenn eine Oberfläche, beispielsweise die dem Substrat **330** zugewandte Oberfläche, also die Abformfläche **312** des Formwerkzeugs bzw. Abformwerkzeugs **310** derart strukturiert ist, dass Bereiche existieren, an denen eine elastische Membran **710** (vgl. elastische Membran **316** gemäß den **Fig. 6a–Fig. 6c**) haftet und andere, an denen eine elastische Membran **710** nicht haftet, wie dies in **Fig. 16** anhand dem in der Vorrichtung **1600** verwendeten Abformwerkzeug **310** gezeigt ist. Das Abformwerkzeug **310** könnte im Gegensatz zu dem in **Fig. 6a** gezeigten Abformwerkzeug **310** keine Blendenstrukturen **314** mehr aufweisen. In Bereichen **1610** ohne Haftung kann die elastische Membran **710** durch Aufbringung eines äußeren statischen Drucks p_a durch pneumatische oder hydraulische Mimiken ausgewölbt werden. Die Bereiche **1610** ohne Haftung sind in der **Fig. 16** gestrichelt dargestellt. Die Wölbung der elastischen Membran **710** wird erreicht durch Aufbringung von Druck, beispielsweise durch Hydraulik oder Pressluft. Die Wölbung der elastischen Membran **710** bildet dann einen um das Abformwerkzeug **310** umlaufenden Kanal **820** (vgl. Kanal **318** gemäß den **Fig. 6a–Fig. 6c**). Der Kanal **820** wird in den Bereichen **1610** ohne Haftung der elastischen Membran **710** an dem Abformwerkzeug **310** erzeugt. Der im Kanal **820** durch Hydraulik oder Pressluft herrschende äußere statische Druck p_a , welcher in einer Wölbung der elastischen Membran **710** in den Bereichen **1610** ohne Haftung resultiert, führt zu einem inneren statischen Druck p_i in noch flüssigem weiterem aushärtbarem Material **321**, welcher zu einem Nachfließen von weiterem aushärtbarem Material **321** zur Schrumpfkompensation in den Bereich **340** der lokalen Bestrahlung resultiert. Eine am Rand des Wafers bzw. der Vorrichtung **1600** umlaufende Dichtung kann hierbei durch die Auslegung der haftenden/nichthaftenden Bereiche auf der Oberfläche des Formwerkzeugs bzw. Abformwerkzeugs **310** erreicht werden.

[0111] Die in **Fig. 16** gezeigte Vorrichtung **1600** in Verbindung mit dem vereinfachten Abformwerkzeug **310** stellt damit eine vereinfachte Form der in **Fig. 8** und **Fig. 9** gezeigten Vorrichtung **800** und **900** dar. Der vereinfachte Werkzeugaufbau des Abformwerkzeugs **310** ermöglicht damit eine potentiell kostengünstigere Herstellung des Abformwerkzeugs **310**.

[0112] **Fig. 17** zeigt eine schematische Darstellung einer Schnittansicht einer Vorrichtung **1700** gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Die Vorrichtung **1700** umfasst eine Anordnung mehrerer Vorrichtungen **1600**, wobei diese nicht durch umlaufende Wände aus ausgehärtetem Polymer getrennt voneinander sind. Die Kanäle **820** zur Aufbringung von statischem Druck der einzelnen Vorrichtungen **1600** sind fluidisch miteinander verbunden. Der äußere statische Druck p_a in den Kanä-

len **820** kann durch Pneumatik, beispielsweise Luft oder Hydraulik, beispielsweise Öl, erzeugt werden. Die Vorrichtung **1700** bzw. der Wafer weist dazu, an mindestens einer Stelle eine Durchbohrung, beispielsweise durch die Oberfläche **330** bzw. das Substrat **330** auf, um Druckluft oder Hydraulikflüssigkeit zuzuführen. Die Erzeugung des Drucks p_a durch Hydraulik hat den Vorteil einer gleichmäßigeren Verteilung des Drucks p_a über die komplette Vorrichtung **1700** bzw. den kompletten Wafer gegenüber der Erzeugung des Drucks durch Pneumatik. Weiterhin wird das lokal variierende Bestrahlen, durch ein variables Graufilter **510** gesteuert. Natürlich kann die Vorrichtung **1700** weiterhin eine variable Blendenschicht **350** umfassen. Da die einzelnen Vorrichtungen **1600** nicht durch umlaufende Wände aus ausgehärtetem Polymer getrennt sind, kann auf einen ersten Schritt des Aushärten optisch nicht aktiver Flächen verzichtet werden.

[0113] [Fig. 18](#) zeigt eine schematische Darstellung einer Schnittansicht einer Vorrichtung **1800** gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Die Vorrichtung **1800** zeigt analog zur Vorrichtung **1700** eine Anordnung mehrerer Vorrichtungen **1600**. Im Gegensatz zu der Vorrichtung **1700** sind die einzelnen Vorrichtungen **1600** durch umlaufende Wände **1010** aus ausgehärtetem Polymer zur Realisierung einer geschlossenen Kavität getrennt voneinander. Weiterhin wird das lokal variierende Bestrahlen in der Vorrichtung **1700**, durch ein variables Graufilter **510** gesteuert. Natürlich kann die Vorrichtung **1800** weiterhin eine variable Blendenschicht **350** umfassen. Die Herstellung der umlaufenden Wände **1010** erfolgt wie bereits bei der Vorrichtung **1000** beschrieben. Auch hier sind die einzelnen Kanäle **820** miteinander verbunden um eine gleichmäßige Ausbreitung des in den Kanälen **820** herrschenden, beispielsweise durch einen Kompressor erzeugten äußeren statischen Drucks p_a über die gesamte Vorrichtung **1800** zu gewährleisten.

[0114] Die Oberfläche **330** bzw. das Substrat **330** kann in allen beschriebenen Vorrichtungen aus beispielsweise einem durchgehend einheitlichen Material, wie Glas, Keramik, Glaskeramik, Silizium, Germanium sowie Polymeren, welche eventuell UV härtende oder löslich sind oder aus einem strukturierten Material, also beispielsweise aus einem Substrat mit durchgehenden Kavitäten, bestehen.

[0115] Das Abformwerkzeug **310** kann beispielsweise aus einem ausgehärteten UV-Polymer, welcher auf dem Werkzeugsubstrat **810**, welches beispielsweise aus Glas sein kann abgeformt wurde. Natürlich kann in weiteren Ausführungsbeispielen das Abformwerkzeug aus einem anderen Material sein.

[0116] Obwohl die anhand der [Fig. 3–Fig. 18](#) beschriebenen Ausführungsbeispiele zum Herstellen

einer sphärischen Linse oder Felder sphärischer Linsen dienen, so können weitere Ausführungsbeispiele zur Herstellung von asphärischen Linsen, Freiformflächen oder anderen Strukturen aus UV-härtenden Materialien dienen.

[0117] Weiterhin können sich bei der Herstellung von Feldern von Strukturen, die einzelnen Strukturen in ihren Eigenschaften unterscheiden.

[0118] Durch die Kompensation des Volumenschwundes des Polymers während der Aushärtung können präzisere Abformungen von optischen, mechanischen Komponenten, insbesondere für große Strukturhöhen von mehreren 100 Mikrometern erzielt werden. Dies ist Voraussetzung für die Fertigung mikrooptischer und mikromechanischer Komponenten, wie sie vor allem in der Fertigung für abbildende Systeme auf Waferlevel benötigt werden. Weiterhin kann mechanische Spannung, beispielsweise auf dem Substrat, die ebenfalls durch den Schrumpfungsprozess bedingt ist, reduziert werden. In Folge dessen kann ein Durchbiegen der Wafer, also dem Substrat reduziert und derartige Wafer zu komplexeren Stapeln verarbeitet werden, wie dies u. a. in der Fertigung von Kameramodulen auf Waferlevel erforderlich ist.

[0119] Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung können ihre Anwendung in der Herstellung mikrooptisch-elektromechanischer Systeme (MOEMS) durch Replikationsprozesse, wie beispielsweise bei der Waferlevel-Fertigung von Kameraobjektiven und optischen Sensoren finden.

[0120] Obwohl manche Aspekte im Zusammenhang mit einer Vorrichtung beschrieben wurden, versteht es sich, dass diese Aspekte auch eine Beschreibung des entsprechenden Verfahrens darstellen, so dass ein Block oder ein Bauelement einer Vorrichtung auch als ein entsprechender Verfahrensschritt oder als ein Merkmal eines Verfahrensschrittes zu verstehen ist. Analog dazu stellen Aspekte, die im Zusammenhang mit einem oder als ein Verfahrensschritt beschrieben wurden, auch eine Beschreibung eines entsprechenden Blocks oder Details oder Merkmals einer entsprechenden Vorrichtung dar.

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 Nicht-Patentliteratur

- Jiseok LIM, Minseok CHO, Hokwan KIM, and Shinil KANG: „Fabrication of Hybrid Microoptics Using UV Imprinting Process with Shrinkage Compensation Method”, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 47, No. 8, 2008, pp. 6719–6722 [[0006](#)]

Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen einer Struktur aus aushärtbarem Material durch Abformung, wobei das Verfahren folgende Schritte aufweist:

Anordnen (110) eines Abformwerkzeugs (310; 310a–310f) oberhalb einer Oberfläche (330), so dass in einem Bereich (340) zwischen dem Abformwerkzeug (310; 310a–310f) und der Oberfläche (330) das aushärtbare Material (320) an die Oberfläche (330) und eine der Oberfläche (330) zugewandten Abformfläche (312) des Abformwerkzeugs (310; 310a–310f) angrenzt, und so dass weiteres aushärtbares Material (321) in den Bereich (340) nachfließen kann;

Lokal variierendes Bestrahlen (120) des aushärtbaren Materials (320) in dem Bereich (340), so dass das aushärtbare Material (320) lateral variierend unterschiedlich schnell aushärtet, und Schrumpfungen beim Aushärten des aushärtbaren Materials (320) durch das weitere aushärtbare Material (321) ausgeglichen werden; und

Anlegen (130) eines externen Drucks an das weitere aushärtbare Material (321) während des Bestrahlen.

2. Verfahren zum Herstellen einer Struktur aus aushärtbarem Material durch Abformung, wobei das Verfahren folgende Schritte aufweist:

Anordnen (210) eines Abformwerkzeugs (310; 310a–310f) oberhalb einer Oberfläche (330), so dass in einem Bereich (340) zwischen dem Abformwerkzeug (310; 310a–310f) und der Oberfläche (330) das aushärtbare Material (320) an die Oberfläche (330) und eine der Oberfläche (330) zugewandten Abformfläche (312) des Abformwerkzeugs (310; 310a–310f) angrenzt und, so dass weiteres aushärtbares Material (321) in den Bereich (340) nachfließen kann; und Lokal variierendes Bestrahlen (220) des aushärtbaren Materials (320) in dem Bereich (340), so dass das aushärtbare Material (320) lateral variierend unterschiedlich schnell aushärtet, und Schrumpfungen beim Aushärten des aushärtbaren Materials (320) durch das weitere aushärtbare Material (321) ausgeglichen werden, wobei das lokal variierende Bestrahlen (120) von einer der Abformoberfläche (312) abgewandten Seite des Abformwerkzeugs (310; 310a–310f) durch das Abformwerkzeug (310; 310a–310f) hindurch durchgeführt wird.

3. Verfahren gemäß Anspruch 1, bei dem der Schritt (120) des lokal variierenden Bestrahlen von einer der Abformoberfläche (312) abgewandten Seite des Abformwerkzeugs (310; 310a–310f) durch das Abformwerkzeug (310; 310a–310f) hindurch durchgeführt wird.

4. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem die lokale Variation der Bestrahlung durch eine Verschiebung zweier Blenden (350, 351, 352) mit lokal variierender Transparenz und/oder durch ein

Graufilter (510) mit elektrisch oder mechanisch einstellbarer variabler Transparenz erfolgt.

5. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem die lokal variierende Bestrahlung zumindest teilweise durch eine Struktur (319; 1410) zur Strahldiffusion hindurch erfolgt.

6. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem das lokal variierende Bestrahlen derart durchgeführt wird, dass weiteres aushärtbares Material (321) aus einem Ausgleichsbereich des Abformwerkzeugs (310; 310a–310f) in den Bereich (340) nachfließt, der von einer Strahlung, mit der das Bestrahlen erfolgt nicht erreicht wird.

7. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6, ferner umfassend:

Aushärten eines Randbereichs (1010) aus aushärtbarem Material (320), der in lateral geschlossener Weise den Bereich (340) umschließt, zwischen dem Schritt (110; 210) des Anordnens des Abformwerkzeugs (310; 310a–310f) und dem Schritt (120; 220) des Lokal variierenden Bestrahlen (120; 220).

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

einem Abformwerkzeug (310; 310a–310f);

einem Bestrahler;

einer Einrichtung zum Anordnen des Abformwerkzeugs (310; 310a–310f) oberhalb einer Oberfläche (330) so dass das aushärtbare Material (320) in einen Bereich (340) zwischen der Oberfläche (330) und einer der Oberfläche (330) zugewandten Abformfläche (312) des Abformwerkzeugs (310; 310a–310f) angrenzt und so dass weiteres aushärtbares Material (321) in den Bereich (340) nachfließen kann;

wobei der Bestrahler ausgebildet ist, um eine lokal variierende Bestrahlung des aushärtbaren Materials (320) in dem Bereich (340) durchzuführen, so dass das aushärtbare Material (320) lateral variierend unterschiedlich schnell aushärtet, und Schrumpfungen beim Aushärten des aushärtbaren Materials (320) durch das weitere aushärtbare Material (321) ausgeglichen werden; und

einer Einrichtung zum Anlegen eines externen Drucks an das weitere aushärtbare Material (321).

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

einem Abformwerkzeug (310; 310a–310f);

einem Bestrahler;

einer Einrichtung zum Anordnen des Abformwerkzeugs (310; 310a–310f) oberhalb einer Oberfläche (330), so dass das aushärtbare Material (320) in einen Bereich (340) zwischen der Oberfläche (330) und einer der Oberfläche (330) zugewandten Abformfläche (312) des Abformwerkzeugs (310; 310a–310f)

angrenzt und, so dass weiteres aushärtbares Material (321) in den Bereich (340) nachfließen kann; wobei der Bestrahler ausgebildet ist, um eine lokal variierende Bestrahlung des aushärtbaren Materials (320) in dem Bereich (340) von einer der Abformoberfläche (312) abgewandten Seite des Abformwerkzeugs (310; 310a–310f) durch das Abformwerkzeug (310; 310a–310f) hindurch durchzuführen, so dass das aushärtbare Material (320) lateral variierend unterschiedlich schnell aushärtet, und Schrumpfungen beim Aushärten des aushärtbaren Materials (320) durch das weitere aushärtbare Material (321) ausgeglichen werden.

eine Struktur (319; 1410) zur Strahldiffusion, welche so angeordnet ist, dass Strahlung von der der Abformfläche (312) abgewandten Seite die den Oberflächenbereich (312') passiert, die Struktur (319; 1410) durchquert.

Es folgen 22 Blatt Zeichnungen

10. Abformwerkzeug für ein optisches Bauteil, mit: einer Abformfläche (312) mit einem Oberflächenbereich (312') zur Definition einer optisch relevanten Oberfläche (323) des optischen Bauteils (322a–322f), wobei das Abformwerkzeug (310; 310a–310f) transparent für Bestrahlung von einer der Abformfläche (312) abgewandten Seite ist; und eine auf der Abformfläche (312) angeordnete, für Bestrahlung transparente Membranschicht (316; 710), wobei die Membranschicht (316; 710) in einem Kanalbereich (1610) der Abformfläche (312), der zu dem Oberflächenbereich (312') lateral benachbart ist, an der Abformfläche (312) lose anliegt und um den Kanalbereich (1610) fluiddicht mit der Abformfläche (312) verbunden ist, um einen ausdehnbaren Kanal (318; 820) zu bilden.

11. Abformwerkzeug für ein optisches Bauteil, mit: einer Abformfläche (312) mit einem Oberflächenbereich (312') zur Definition einer optisch relevanten Oberfläche (323) des optischen Bauteils (322a–322f), wobei das Abformwerkzeug (310; 310a–310f) transparent für Bestrahlung von einer der Abformfläche (312) abgewandten Seite ist, aber eine Blendenstruktur (314, 314') aufweist, welche lateral benachbart zu dem Oberflächenbereich (312') angeordnet ist und Strahlung von der der Abformfläche (312) abgewandten Seite blockiert, so dass durch die Strahlung aushärtbares Material in Strahlrichtung hinter der Blendenstruktur (314, 314') nicht ausgehärtet wird.

12. Abformwerkzeug gemäß Anspruch 11, ferner umfassend: eine auf der Abformfläche (312) angeordnete, für Bestrahlung transparente Membranschicht (316; 710), wobei die Membranschicht (316; 710) in einem Kanalbereich (1610) der Abformfläche (312), der zu dem Oberflächenbereich (312') lateral benachbart ist, an der Abformfläche (312) lose anliegt und um den Kanalbereich (1610) fluiddicht mit der Abformfläche (312) verbunden ist, um einen ausdehnbaren Kanal (318; 820) zu bilden.

13. Abformwerkzeug gemäß einem der Ansprüche 10 bis 12, ferner umfassend:

Anhängende Zeichnungen

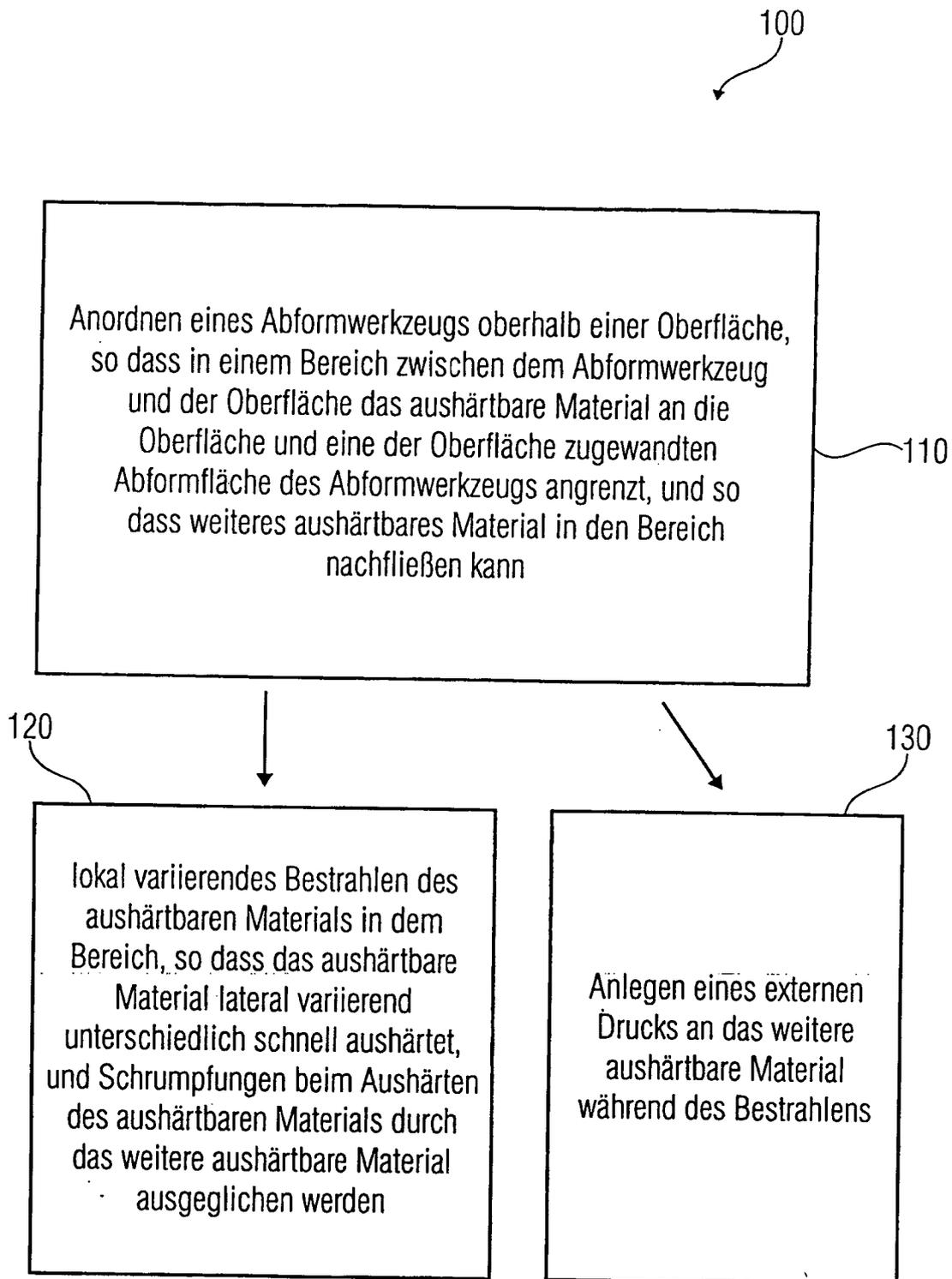


FIG 1

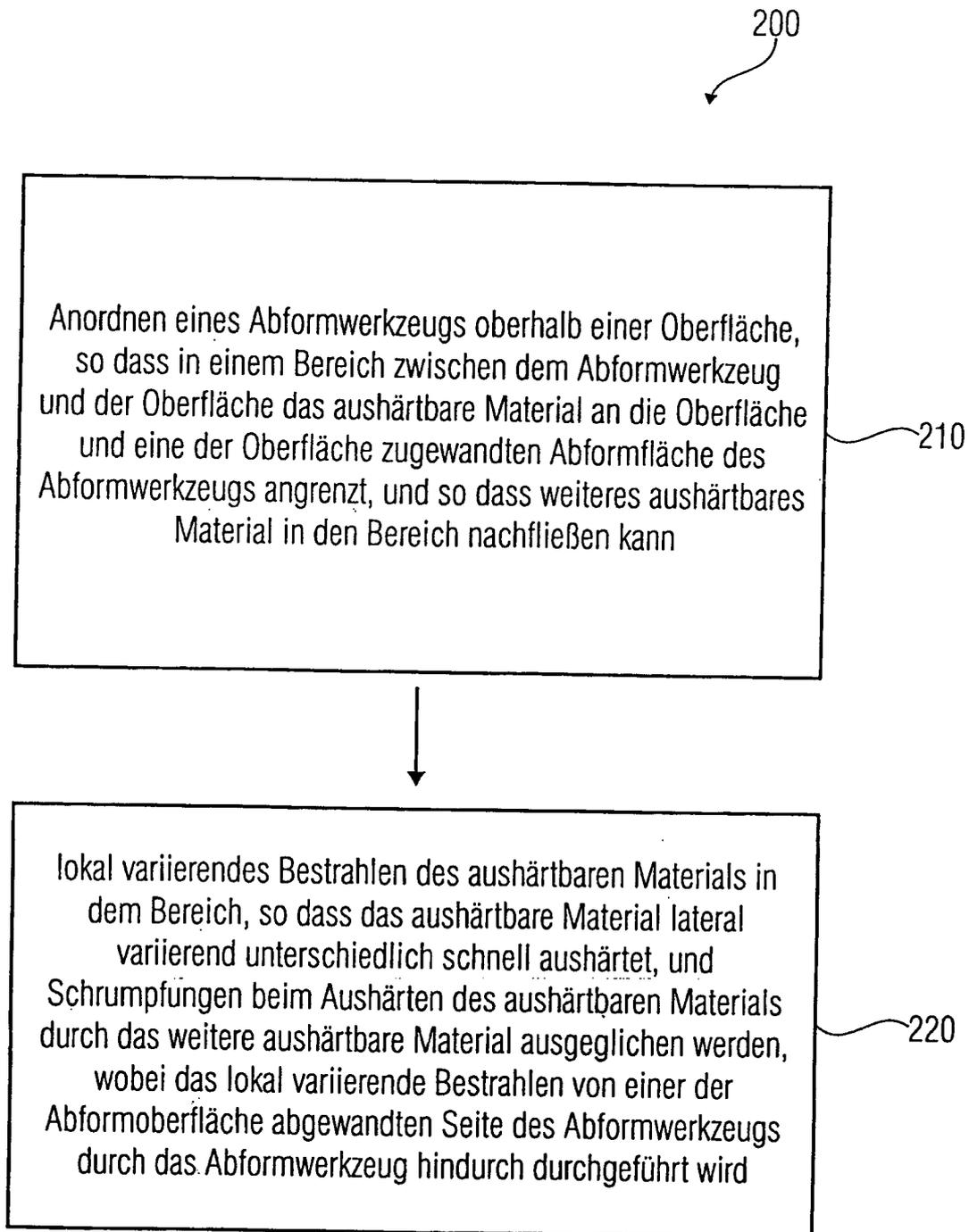


FIG 2

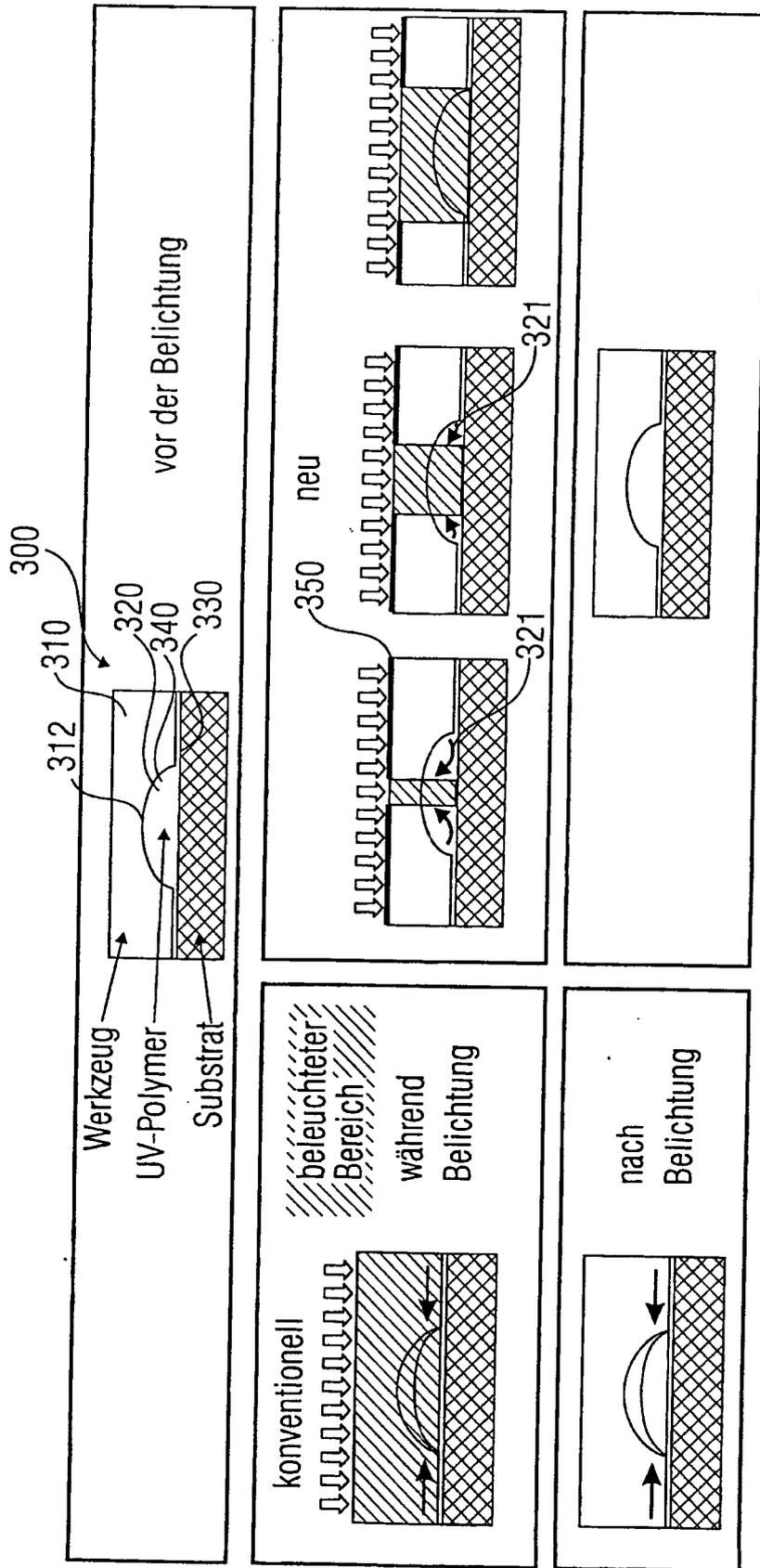


FIG 3

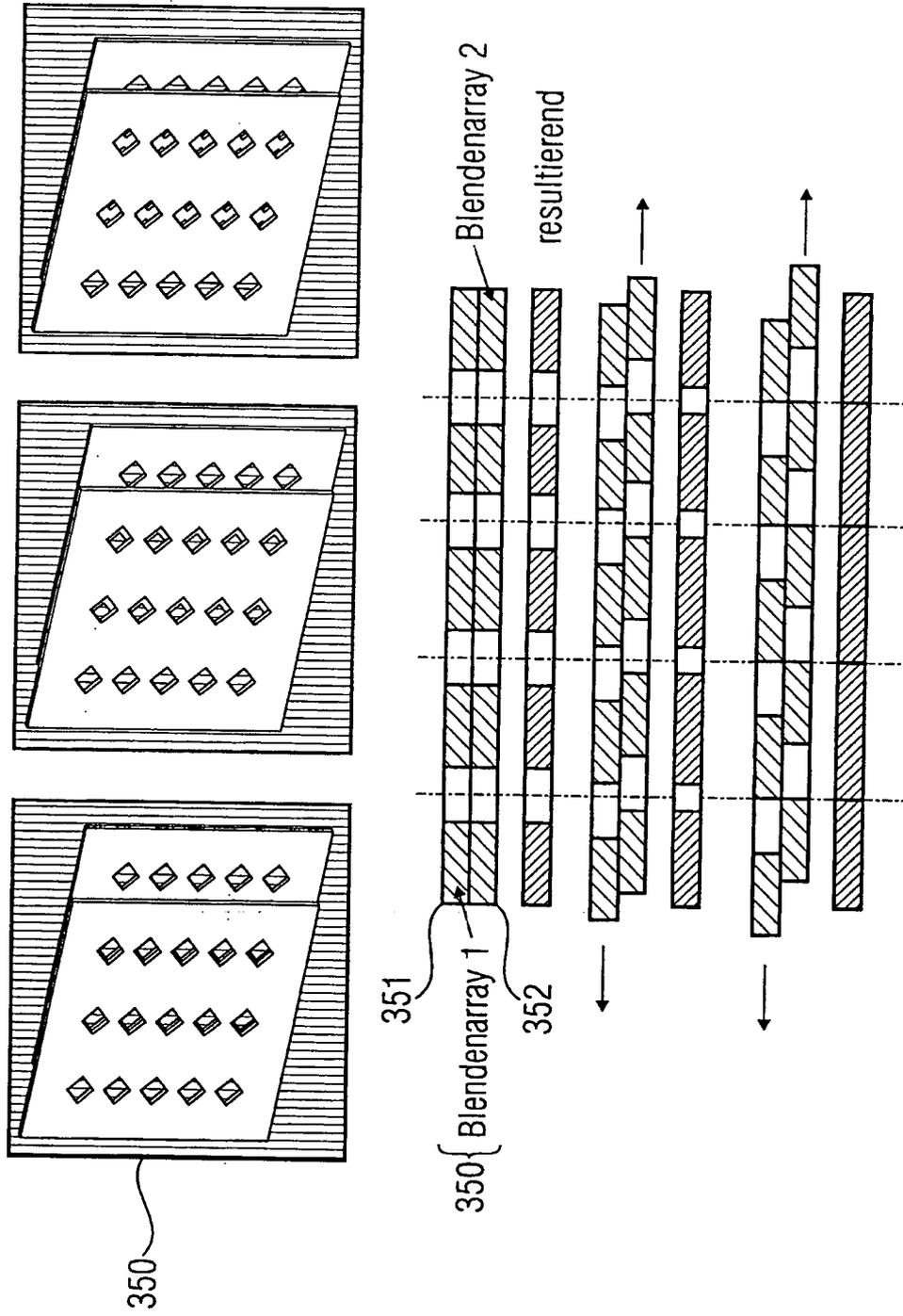


FIG 4

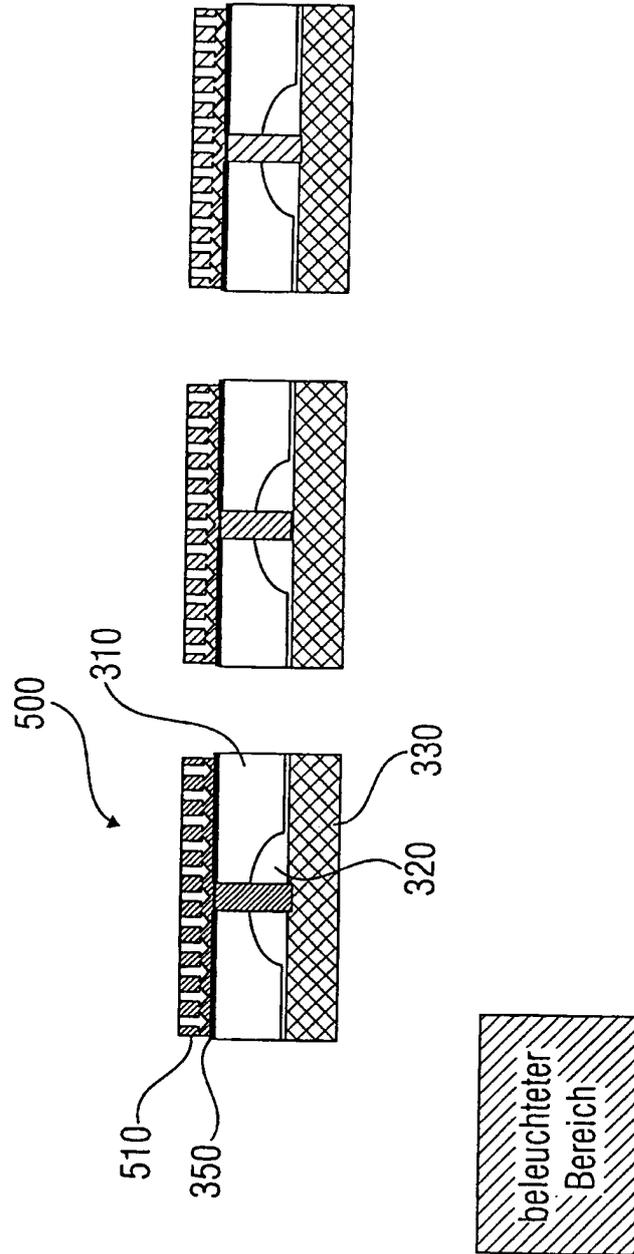


FIG 5

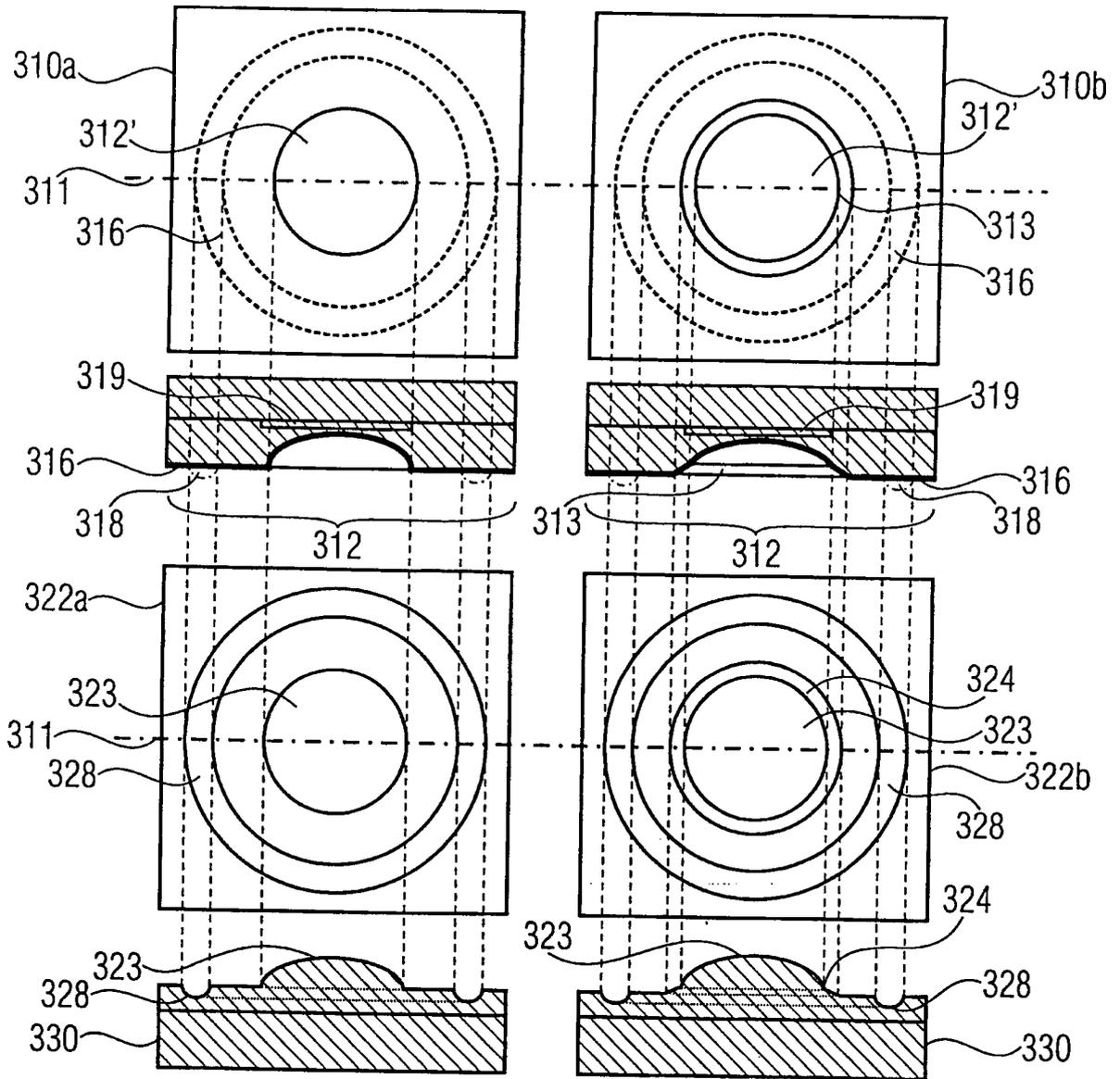


FIG 6A

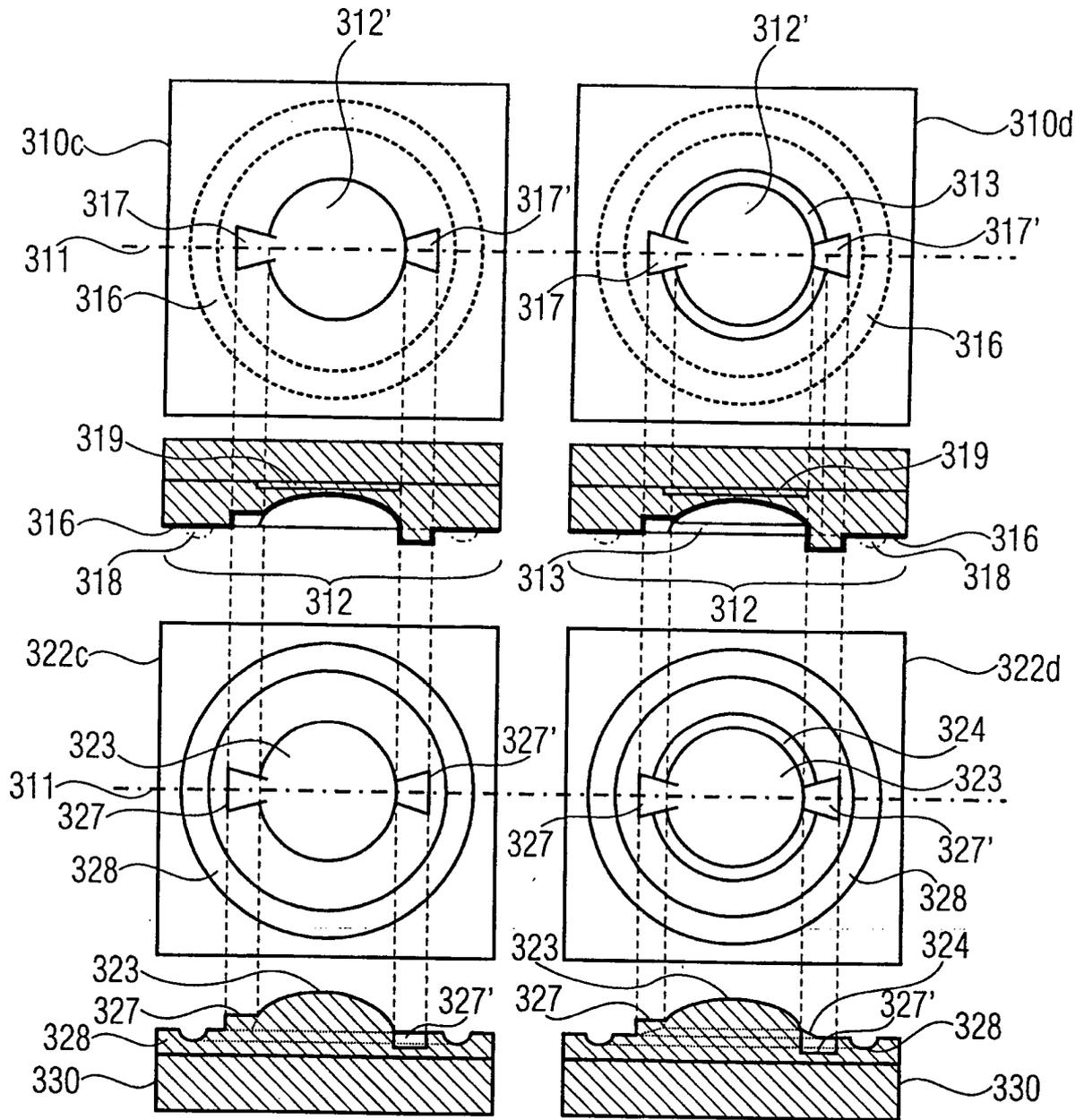


FIG 6B

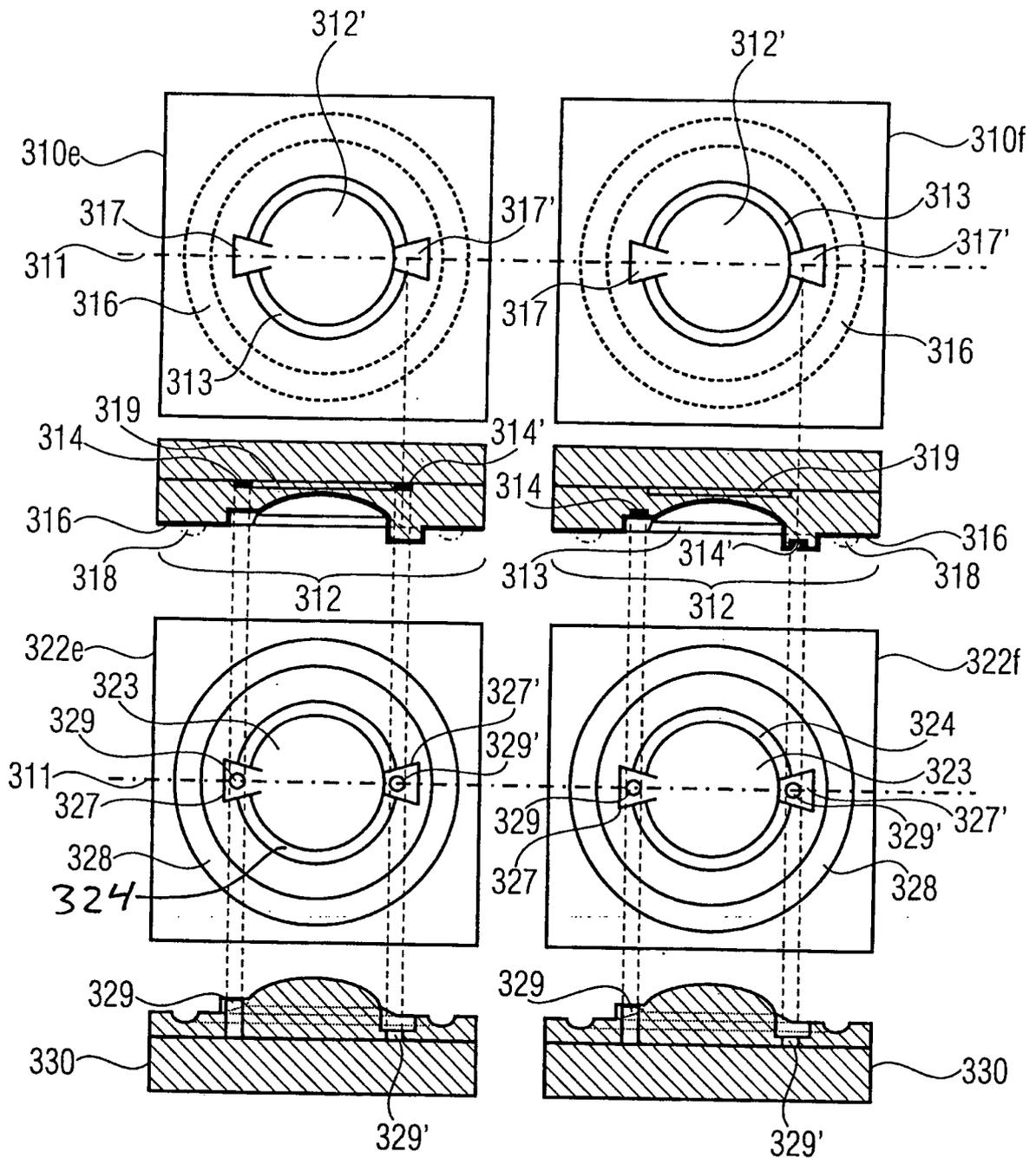


FIG 6C

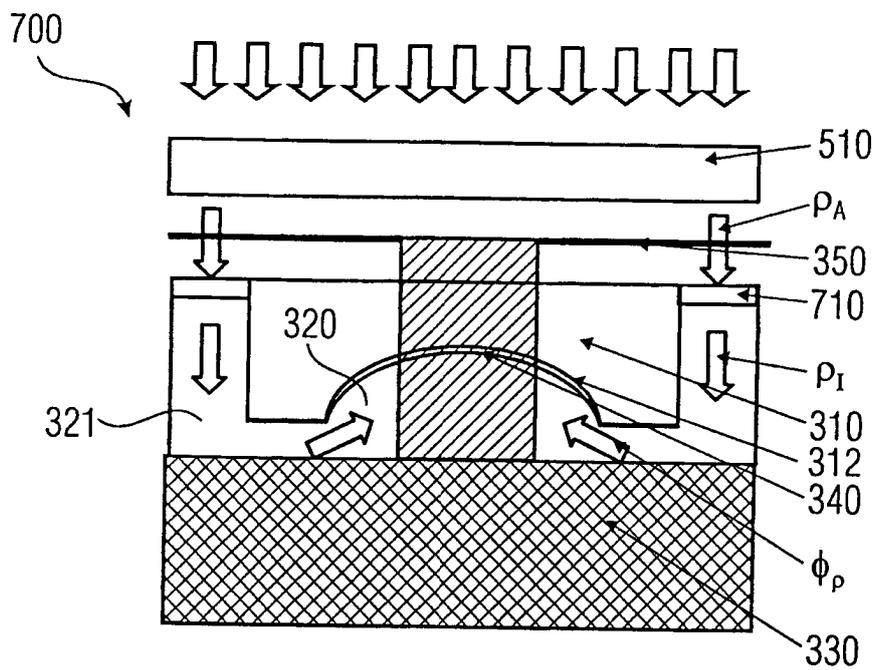


FIG 7

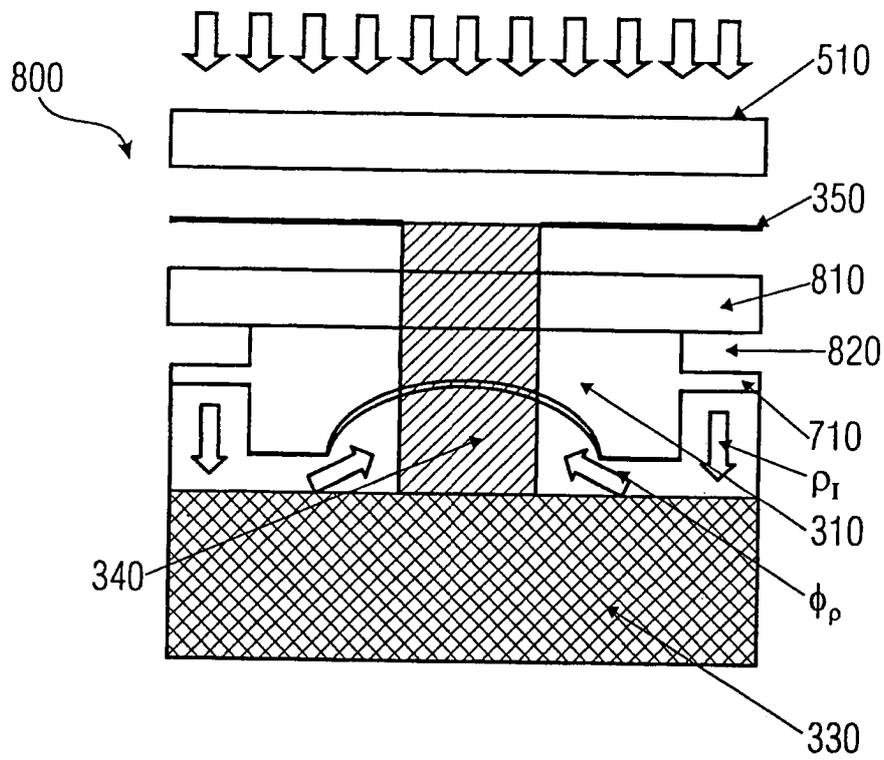


FIG 8

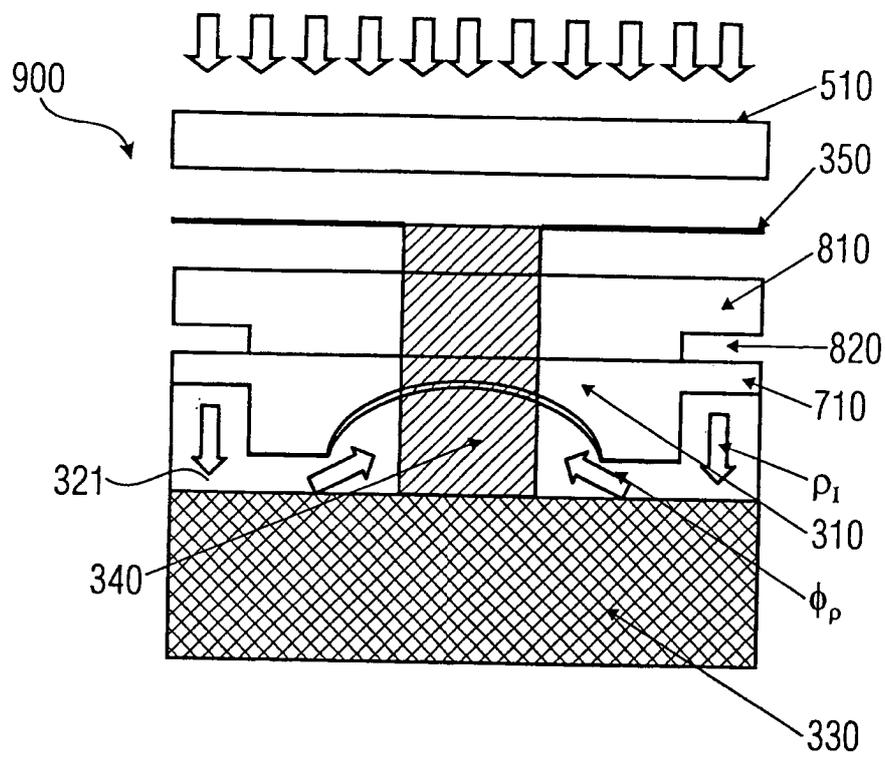


FIG 9

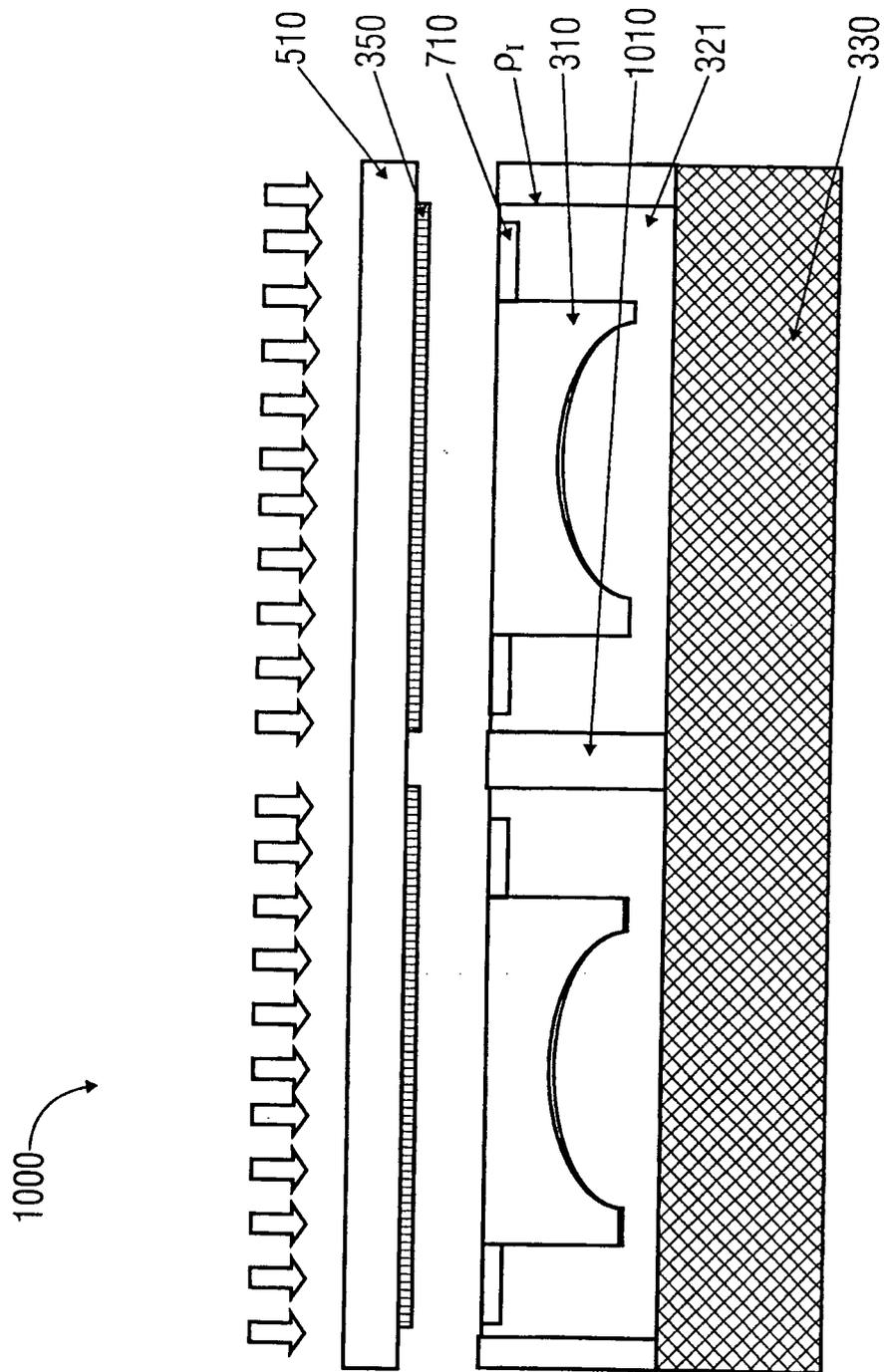


FIG 10

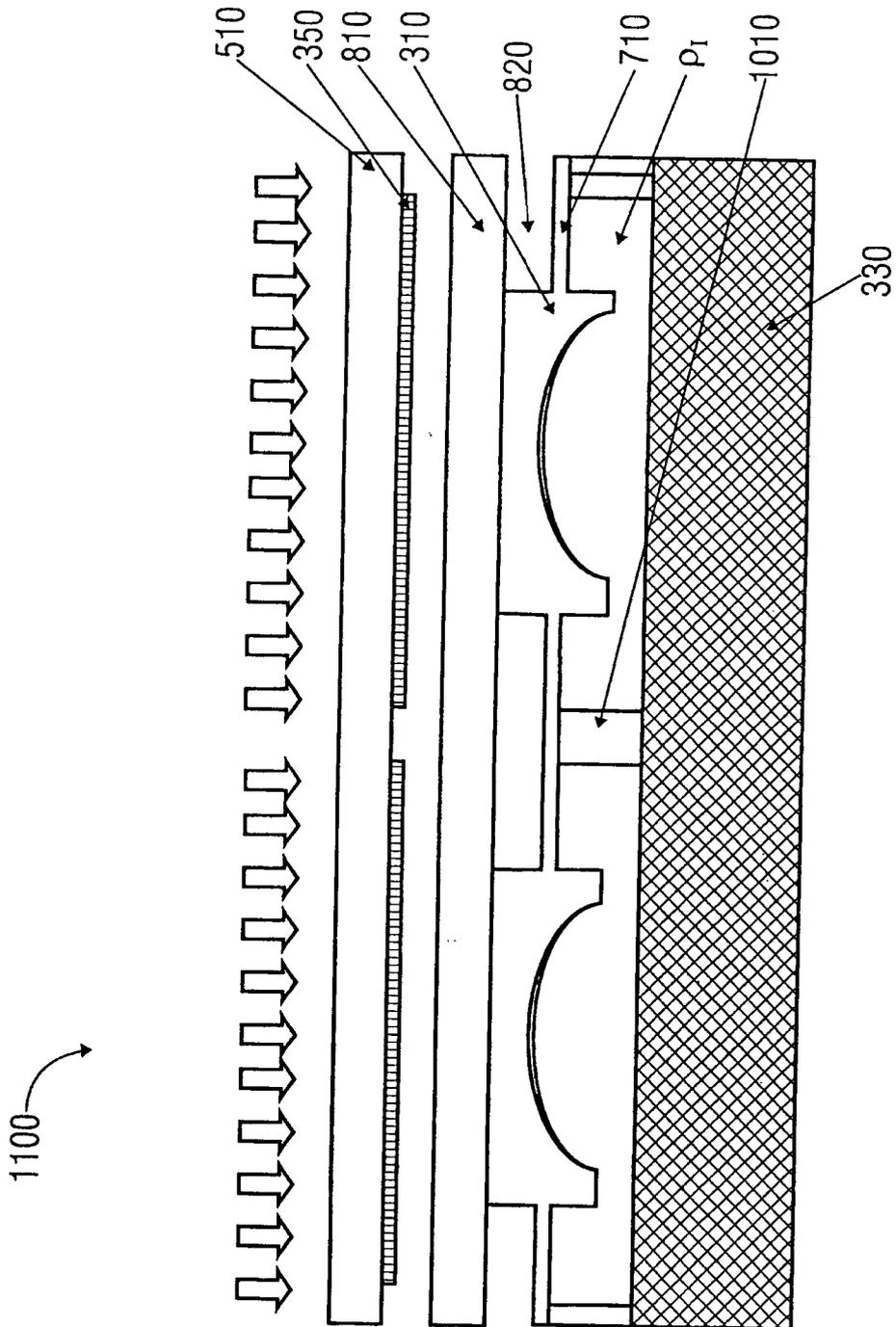


FIG 11

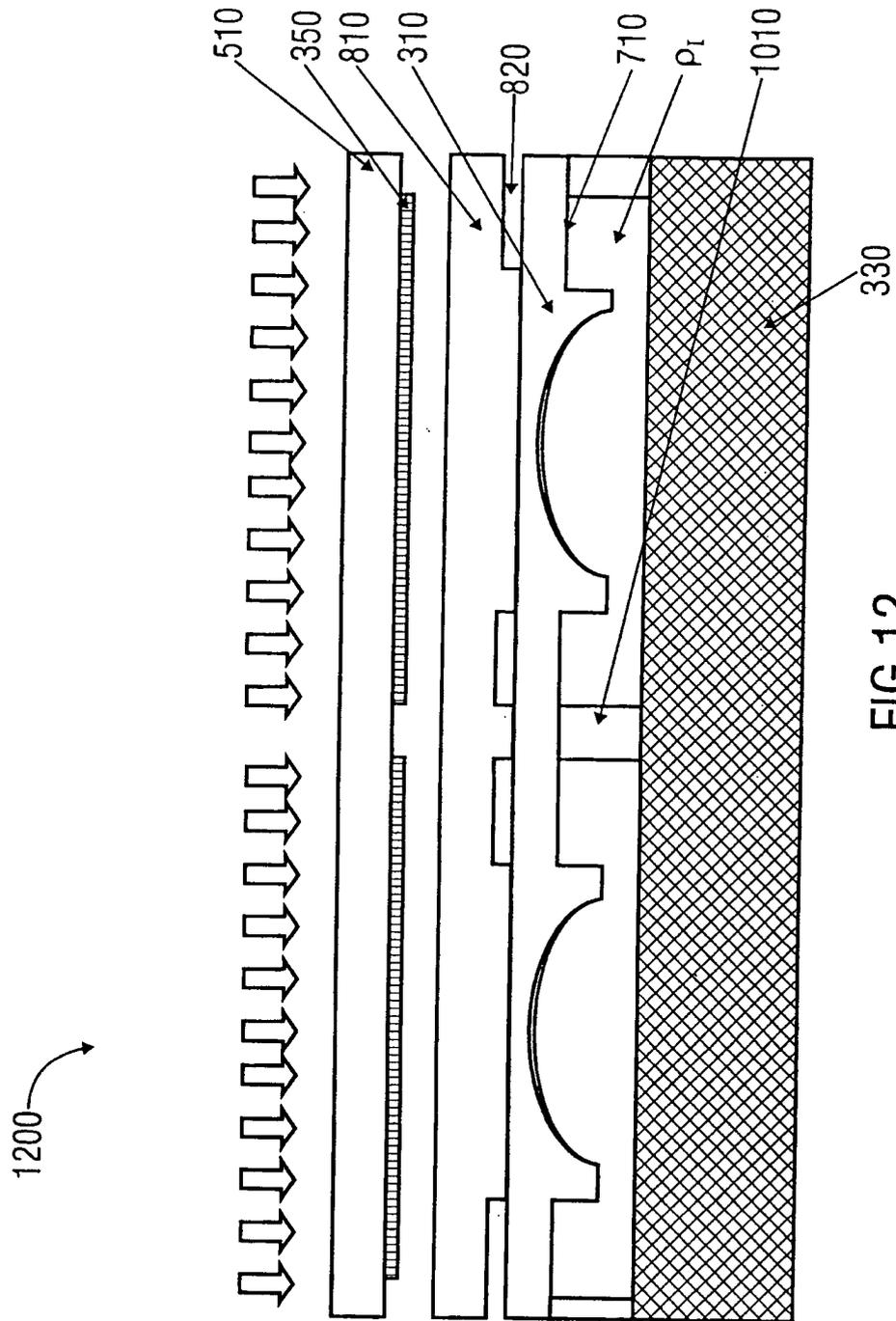


FIG 12

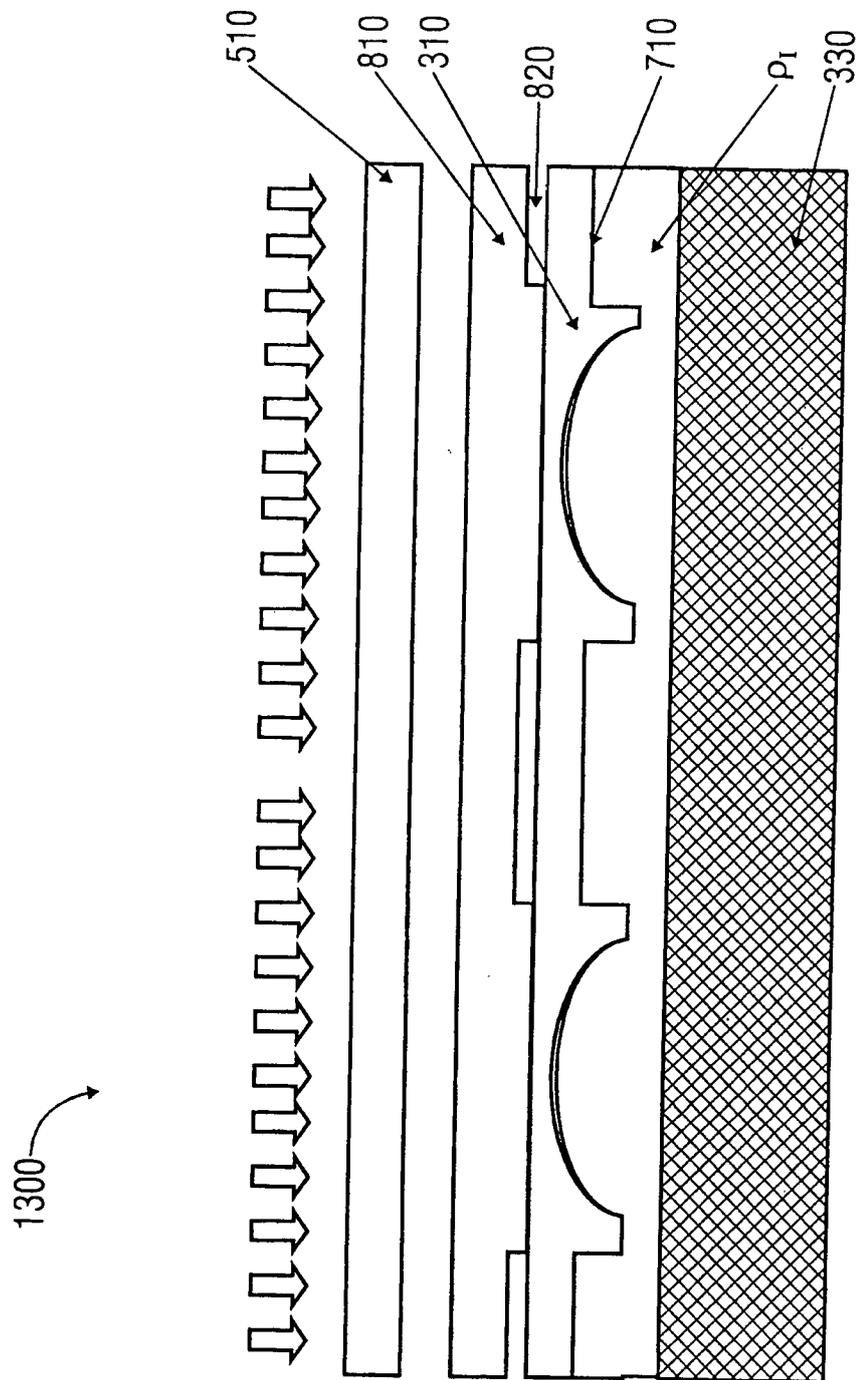


FIG 13

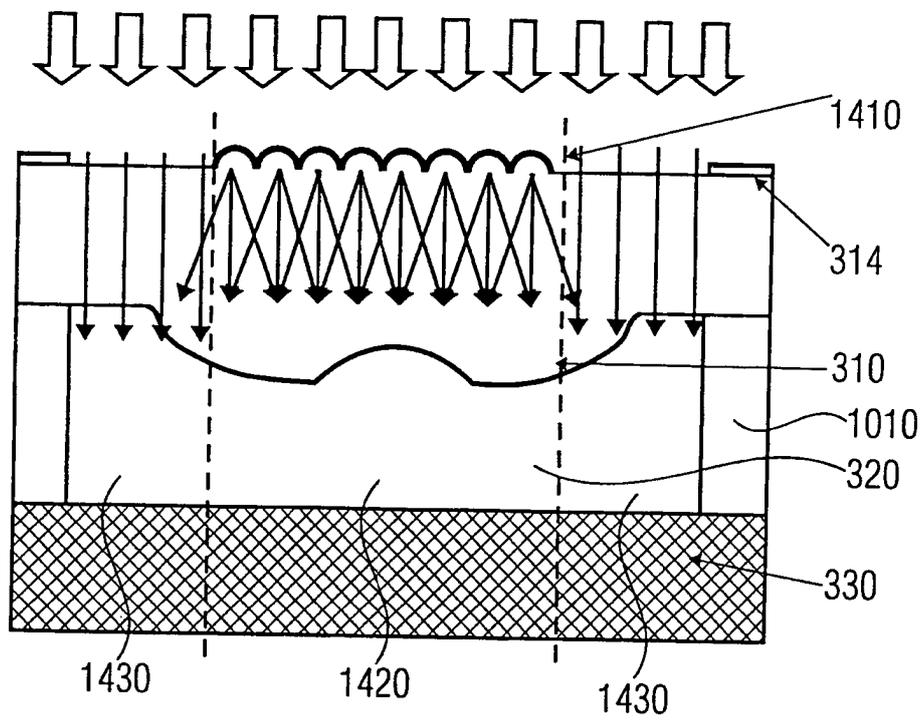


FIG 14A

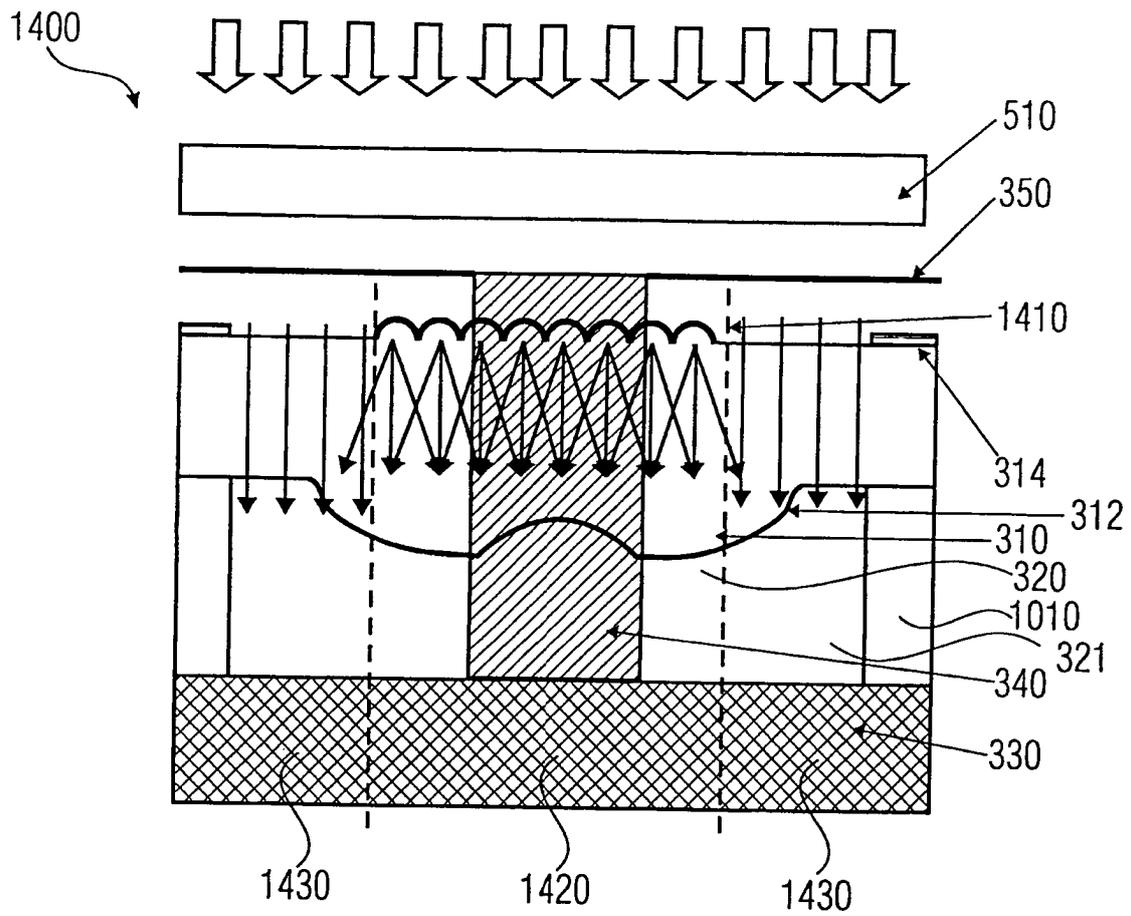


FIG 14B

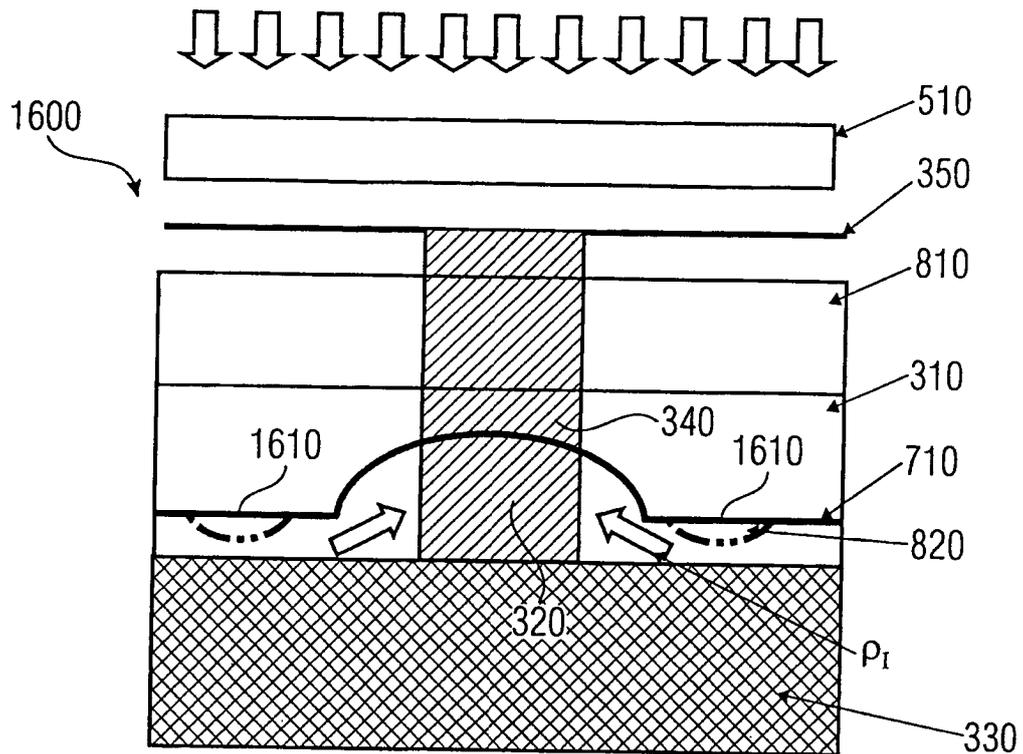


FIG 16

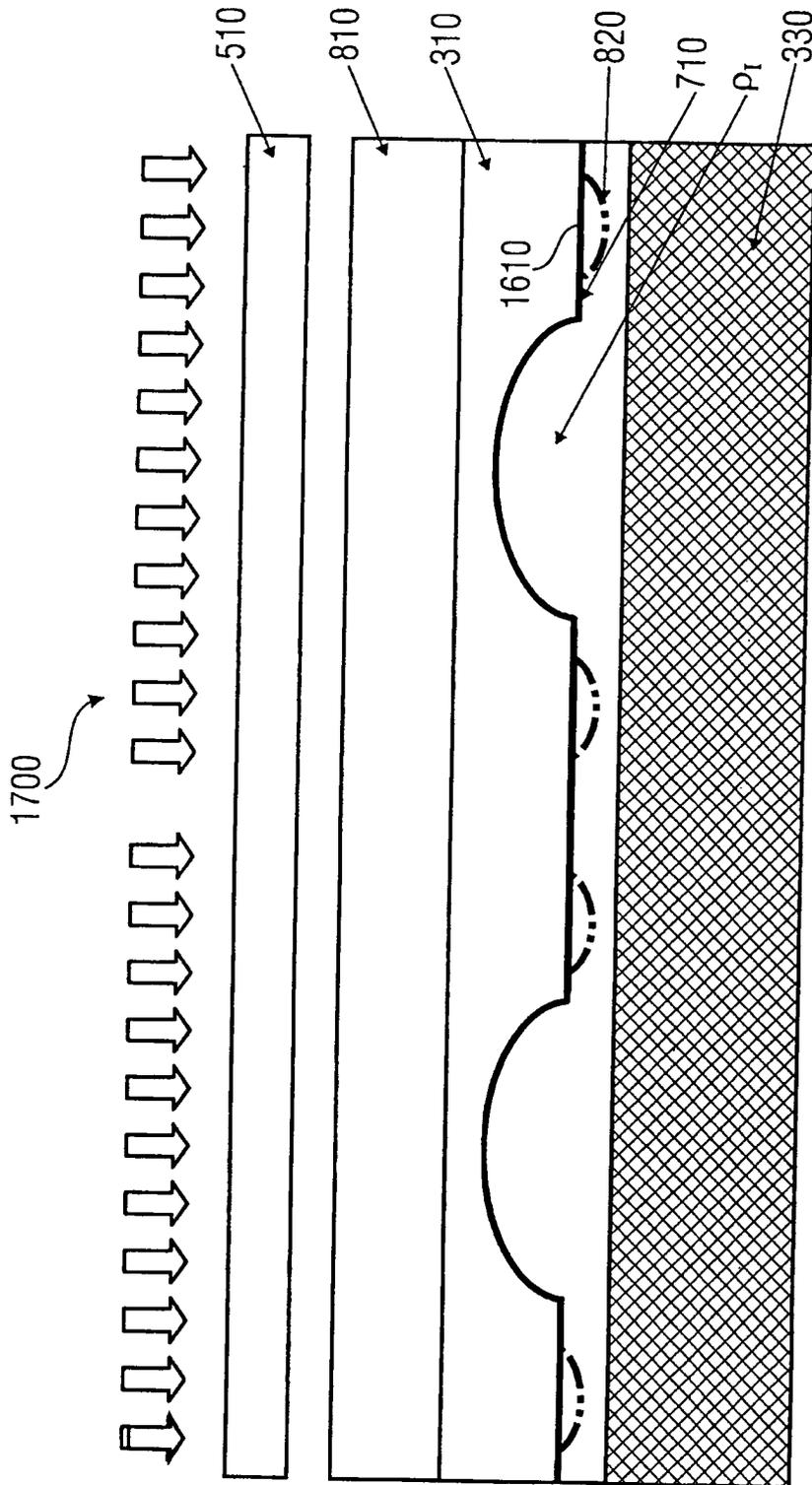


FIG 17

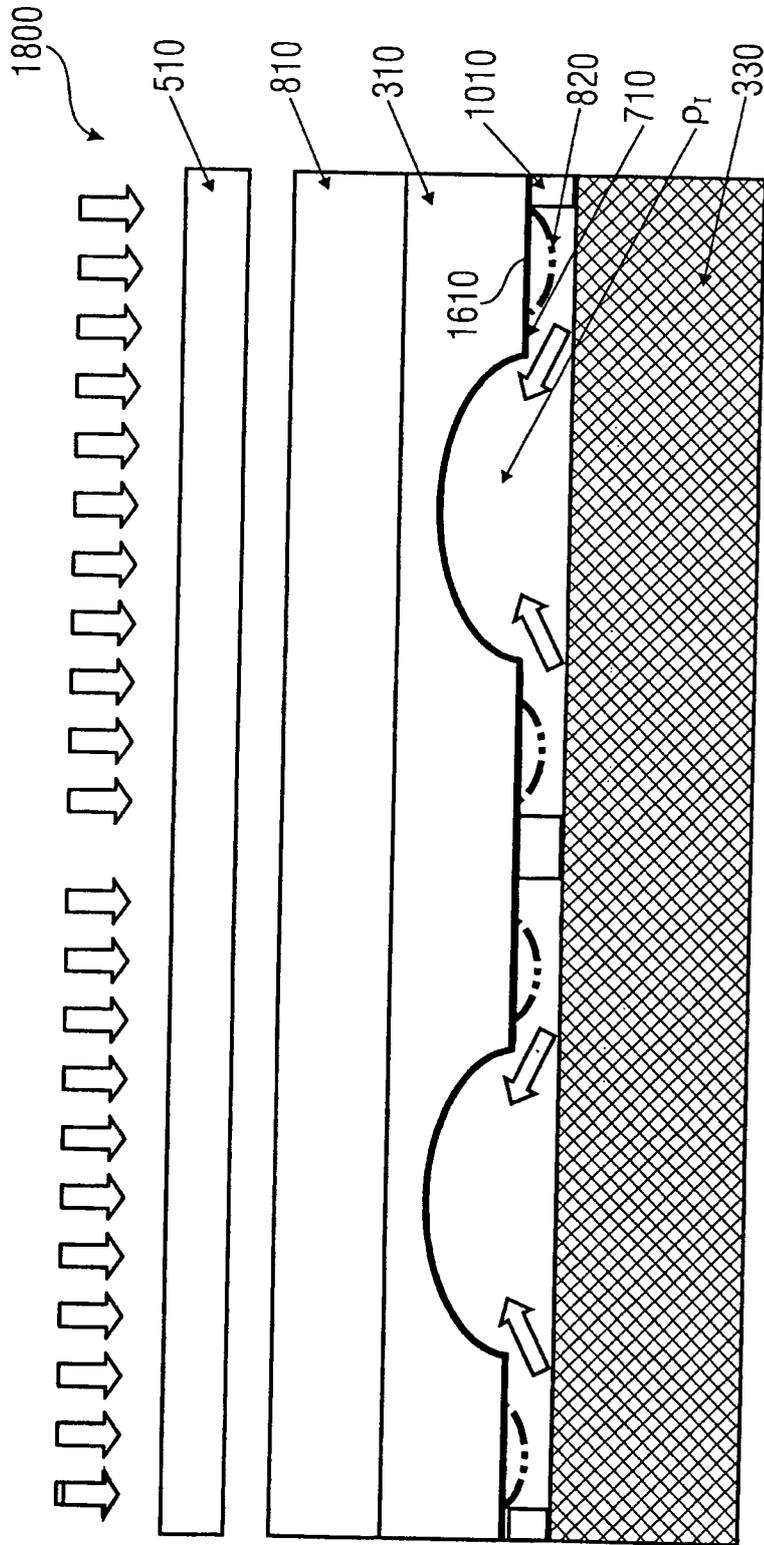


FIG 18

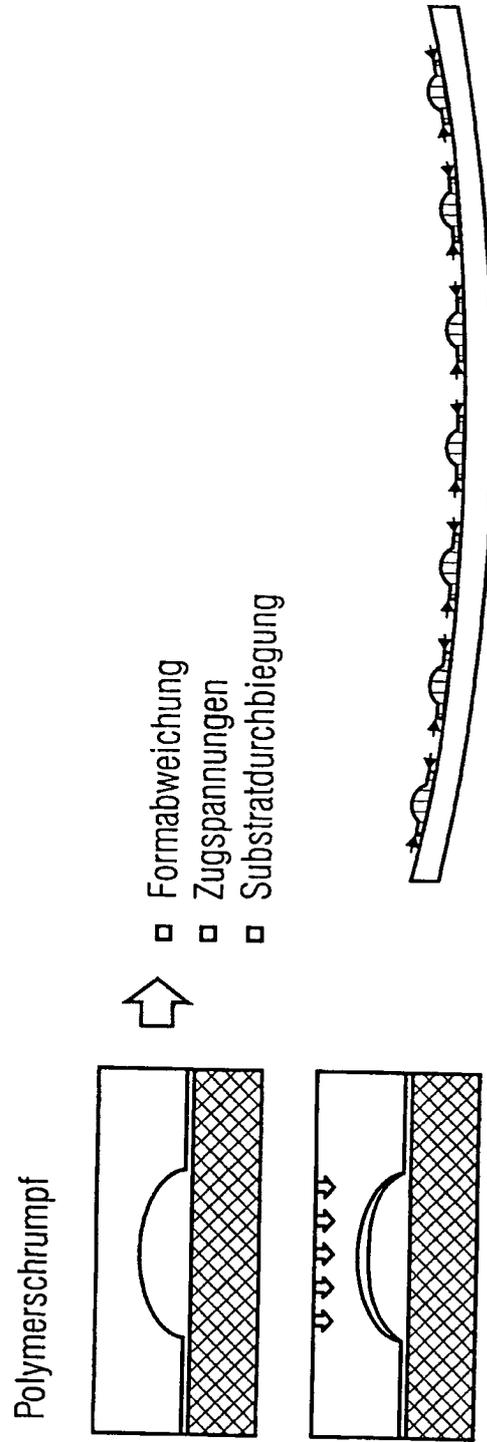


FIG 19