

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 9445/2014 (51) Int. Cl.: G03F 7/16 (2006.01)
 (86) PCT-Anmeldenummer: PCT/EP14072638 B29C 39/24 (2006.01)
 (22) Anmeldetag: 22.10.2014
 (45) Veröffentlicht am: 15.05.2024

(30) Priorität: 29.11.2013 DE 102013113241.3 beansprucht.	(73) Patentinhaber: EV Group E. Thallner GmbH 4782 St. Florian am Inn (AT)
(56) Entgegenhaltungen: US 2007228608 A1 US 2005276919 A1	(72) Erfinder: Treiblmayr Dominik 4943 Kirchdorf am Inn (AT)

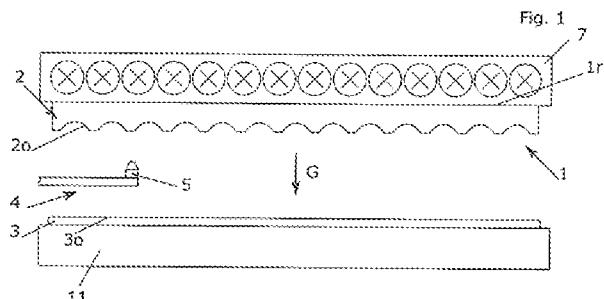
(54) Verfahren und Vorrichtung zum Prägen von Substraten

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Prägen von Einzellinsen (9) mit mindestens einer Mikro- oder Nanostruktur auf einem Trägersubstrat (3) mit einem mindestens eine Prägestruktur (2) aufweisenden Prägestempel (1) mit folgenden Schritten, insbesondere folgendem Ablauf:

- Anordnung einer Dosiereinrichtung (4) zwischen dem Prägestempel (1) und dem Trägersubstrat (3),
- Ausrichtung der Prägestruktur (2) des Prägestempels (1) gegenüber der Dosiereinrichtung (4) in eine Gravitationsrichtung (G) weisend,
- Dosierung einer Prägemasse (6) in die Prägestruktur (2) mittels der Dosiereinrichtung (4) entgegengesetzt zur Gravitationsrichtung (G),
- Aushärtung der Prägemasse (6) von einer Rückseite (1r) der Prägestruktur (2) her und teilweise Aushärtung der Prägemasse (6) entlang einer Oberfläche der Prägestruktur (2), und
- Prägen der Prägemasse (6) durch Annäherung des Prägestempels in Richtung des Trägersubstrats (3) nach dem Stoppen der teilweisen Aushärtung,

wobei die Prägestrukturen (2) zumindest bei der Dosierung in die Gravitationsrichtung (G) weisen, wobei durch die Gravitationskraft eine konvexe Prägemassenoberfläche (6o) in Richtung des

Trägersubstrats (3) ausgebildet wird, wobei durch Annäherung des Prägestempels (1) in Richtung des Trägersubstrats (3) durch die konvexe Prägemassenoberfläche (6o) eine Punktkontaktierung der Prägemasse (6) mit dem Trägersubstrat (3) erfolgt, wobei durch eine weitere Annäherung des Prägestempels (1) in Richtung des Trägersubstrats (3) eine kontinuierliche Vergrößerung einer Kontaktfläche der Prägemassenoberfläche (6o) mit dem Trägersubstrat (3) erfolgt



Beschreibung

VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM PRÄGEN VON STRUKTUREN

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren gemäß Anspruch 1.

[0002] Die Herstellung von Strukturen im Mikro- und/oder Nanometerbereich erfolgt zunehmend mit Hilfe von Imprintlithographie. Die Imprintlithographie konnte sich in den letzten Jahren gegenüber der Photolithographie immer weiter behaupten. Die Vorteile der Imprintlithographie liegen vor allem in der Möglichkeit der Herstellung von Strukturen im Nanometerbereich, deren Produktion mittels Photolithographie gar nicht oder nur mit extremen Aufwand machbar wäre. Heute können Muster im Nano- und/oder Mikrometerbereich mit hoher Präzession und Genauigkeit in einem Massenprozess an der Oberfläche von Substraten hergestellt werden. Obwohl die Vorteile der Imprintlithographie vor allem bei der Herstellung von Strukturen im Nanometerbereich liegen, gibt es für die Imprinttechnologien auch einen sehr großen Anwendungsbereich im Mikrometerbereich, allen voran in der Linsenprägetechnik. US20070228608A1 offenbart ein Verfahren zum Aushärten eines Aufdrucks auf einer Schablone vor dem Kontakt mit einem Substrat. Ein Aushärtungsprozess wird verwendet, um den Aufdruck auf einem Wafer oder Substrat zu befestigen.

[0003] Die Linsenprägetechniken kann man in Prägetechniken zur Herstellung sogenannter monolithischer Linsenwafer verwenden. Der Herstellprozess heißt monolithisches Linsenprägen, (engl.: monolithic lens molding, abgekürzt: MLM). Mit dieser Technik werden mehrere Linsen als Teil ein und desselben Substrats hergestellt. Die Linsen sind nicht voneinander separiert und daher auch nicht notwendigerweise auf ein Trägersubstrat angewiesen, obwohl eine Verbindung zu einem Trägersubstrat oder einem beliebigen anderen, zweiten Substrat hergestellt werden kann.

[0004] In einer weiteren Prägetechnik werden die Linsen zwar gleichzeitig geprägt, sind aber über die Prägemasse nicht miteinander verbunden. Zur schnellen und effizienten Weiterverarbeitung erfolgt diese Prägung meistens auf einem Trägersubstrat. Auf dem Trägersubstrat werden Tropfen der Prägemasse, meistens durch ein sich relativ zum starren Trägersubstrat bewegendes Dispensierungssystem, abgeschieden. Danach erfolgt eine annähernde Relativbewegung zwischen dem Prägestempel und dem Trägersubstrat. Bevorzugt wird nur der Stempel relativ zum statischen Trägersubstrat angenähert. Jede einzelne Linse soll dabei möglichst symmetrisch werden. Das ist vor allem dann gewährleistet, wenn die Tropfen der Prägemasse exakt unter den Prägestrukturen positioniert wurden. Des Weiteren muss während des Prägeprozesses gewährleistet werden, dass sich der Prägestempel (und damit die Prägestrukturen) relativ zu den Prägemasetropfen in einer X- und/oder einer Y-Richtung während der Annäherung in Z-Richtung nicht verschiebt. Die Tropfen der Prägemasse können während des Prägeprozesses zwar teilweise zur Seite gedrückt und geformt werden, verlassen aber ihre Position am Trägersubstrat im Allgemeinen nicht mehr, da die vorherrschende Adhäsion zwischen Trägersubstrat und Prägemasse hierfür zu groß ist.

[0005] In einer dritten Prägetechnik verwendet man einen sogenannten Step-and-Repeat Prägestempel. Der Step-and-Repeat Prägestempel ist dabei kleiner als das Substrat, auf dem die Linsen geprägt werden sollen. Im Allgemeinen besitzt der Step-and-Repeat Prägestempel sogar nur eine einzige Linsenform und kann damit pro Prägeschritt überhaupt nur eine einzelne Linse prägen. In dieser Prägetechnik werden vorzugsweise wiederum Tropfen der Prägemasse auf einem Substrat verteilt. Danach fährt der Step-and-Repeat Prägestempel jeden Tropfen einzeln an und führt die Prägung durch. Denkbar ist in Spezialfällen auch die Abscheidung einer vollflächigen Schicht an Prägemasse, die danach durch einen Step-and-Repeat Prägestempel strukturiert wird. Einige Step-and-Repeat Prägestempel besitzen mehrere Linsenformen gleicher oder unterschiedlicher Form und stehen damit zwischen den vollflächigen und den reinen Step-and-Repeat Prägestempeln. Sie können entsprechend pro Prägeschritt mehrere Linsen gleichzeitig prägen.

[0006] Die Qualität eines geprägten Produkts, beispielsweise eines Linsenwafers, oder entspre-

chender Einzellinsen auf einem Trägersubstrat, hängt daher sehr stark vom Zusammenspiel zwischen dem Stempel und der Prägemasse ab. So können während der Dispensierung der Prägemasse und/oder dem Prägeprozess Defekte wie Gasblasen, Dickenunterschiede entlang der Fläche, Dichteinhomogenitäten, verlaufene bzw. asymmetrische Prägemasse etc. entstehen.

[0007] Durch die hochviskose Prägemasse werden Gasblasen zwar meistens nicht während des Prägevorgangs erzeugt, sondern befinden bereits in der Prägemasse, beispielsweise durch eine falsche Auffüllung des Dispensierungssystems. Dennoch können derartige Gasblasen manchmal auch während des Dispensierens selbst entstehen.

[0008] Die Dickenunterschiede entlang einer Fläche sind meistens ein Resultat eines vorhandenen Keilfehlers und können durch eine korrekte Positionierung zwischen Prägestempel und Trägersubstrat weitestgehend vermieden werden.

[0009] Etwaige Dichteinhomogenitäten sind eher chemischer Natur und weniger durch das Dispensierungssystem verursacht. Sehr wohl kann allerdings während eines Aushärtevorgangs die Vernetzung eines Polymers an unterschiedlichen Orten unterschiedlich stark erfolgen und eine entsprechende Dichteinhomogenität nach sich ziehen.

[0010] Asymmetrische Prägemassen können vor allem bei einer Tropfendispensierung auftreten. Dabei wird die Prägemasse in Einzeltropfen über einer Fläche verteilt und ist zu den sie verformenden Prägestrukturen nicht vollständig symmetrisch, sodass während und/oder nach dem Prägen eine asymmetrische Einzellinse entsteht.

[0011] Eines der größten Probleme mit der heutigen Prägetechnologie besteht vor allem in der unvollständigen Verteilung bzw. Auffüllung der Prägestrukturen des Prägestempels durch die Prägemasse. Während des Prägeprozesses drückt der Stempel die Prägemasse radial nach außen. Gleichzeitig werden die Prägestrukturen mit der Prägemasse gefüllt. Durch diesen Vorgang können Umgebungsgase zwischen der Prägemasse und der Oberfläche der Prägestrukturen des Prägestempels eingeschlossen werden. Diese Umgebungsgase erzeugen entsprechende Blasen und zerstören so die Homogenität des Materials. Das kann vor allem bei optischen Produkten wie Linsen fatale Auswirkungen haben. Linsen mit derartigen Effekten würden Linsenfehler aufweisen, insbesondere chromatische und sphärische Aberrationen. Es wäre denkbar, einen entsprechenden Prägeprozess im Vakuum stattfinden zu lassen. Dazu hat die entsprechende Kammer vor jedem Prägeprozess evakuiert zu werden.

[0012] Nach der erfolgreichen Prägung würde man die Kammer wieder ventilieren. Diese Vorgänge sind entsprechend zeitintensiv und daher sehr teuer.

[0013] Ein weiteres Problem, das vor allem bei der Dispensierung von Prägemassetropfen zur Herstellung von, auf einem Trägersubstrat verteilten, Einzellinsen auftritt, ist die Symmetrie der einzelnen Linsen. Ein schlecht positionierter Prägemassetropfen auf dem Trägersubstrat und/oder eine schlechte Annäherung des Prägestempels, und daher der Prägestrukturen, in Bezug auf die Prägemassetropfen führen zu asymmetrischen Linsenformen.

[0014] Ein weiteres Problem stellt das Verfließen der Prägemasse dar, was insbesondere auf die Adhäsionseigenschaft zwischen der Prägemasse und der entsprechenden Oberfläche zurückzuführen ist.

[0015] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, eines oder mehrere der vorgenannten technischen Probleme mit einem Verfahren und/oder einer Vorrichtung gemäß nachfolgender Beschreibung zu lösen.

[0016] Diese Aufgabe wird mit den Merkmalen der Ansprüche 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

[0017] Der Erfindung liegt der Gedanke zugrunde, durch Dispensen einer Prägemasse in Prägestrukturen entgegen der Schwerkraft die genannten technischen Probleme zu lösen, insbesondere durch Ausrichtung der Dispensionsrichtung einer Dosiereinrichtung entgegen der Schwerkraft, also entgegen einer Gravitationsrichtung G und/oder durch Ausrichtung von Prägestrukturen, insbesondere einer Symmetrieachse der jeweiligen Prägestuktur, parallel zur Schwerkraft

und/oder in Gravitationsrichtung G weisend.

[0018] Die Erfindung handelt daher insbesondere von einer Methode und einer Anlage zur Vermeidung von Gaseinschlüssen zwischen der Oberfläche der Prägestruktur des Prägestempels und der Prägemasse sowie von einem Verfahren zum kontinuierlichen und/oder gesteuerten Aushärteten der Prägemasse.

[0019] Des Weiteren handelt die Erfindung von einer Methode und einer Anlage, welche dafür sorgen, dass die Prägemasse eine Selbstassemblierung in eine vorgegebene Form durchführt. Diese Selbstassemblierung ist ein direktes Resultat mehrere physikalischer Effekte.

[0020] Ein weiterer erfindungsgemäßer Aspekt ist das Verhindern oder zumindest die Unterdrückung des lateralen Verfließens der Prägemasse.

[0021] Die Erfindung hat die Vorteile einer Selbstassemblierung der Prägemasse in der entsprechenden Prägestruktur, eine Materialersparnis durch eine gezielte und exakt berechnete Dispensierung/Dosierung, eine Symmetrisierung und gleichmäßige Verteilung der Prägemasse in den Prägestrukturen, eine örtlich begrenzte Randschichtaushärtung der Prägemasse, welche eine Verformung der Randschicht entgegen gesetzten Prägemasse, nicht behindert oder verhindert.

[0022] Des Weiteren wird mit der erfindungsgemäßen Dispensierungsmethode ein Verfließen der Prägemasse in lateraler Richtung durch die Gravitation verhindert. Die Gravitation sorgt erfindungsgemäß dafür, dass sich eine konvexe Prägemassenoberfläche in Richtung des Trägersubstrats ausbildet, welche ein seitliches Verlaufen der Prägemasse verhindert. Des Weiteren wird durch die konvexe Prägemassenoberfläche eine Punktkontaktierung der Prägemasse mit der Substratoberfläche ermöglicht. Durch eine weitere Annäherung des Prägestempels in Richtung Trägersubstrat vergrößert sich die Kontaktfläche der Prägemasseoberfläche mit dem Trägersubstrat kontinuierlich, ausgehend vom Kontaktierungspunkt, und verhindert so auf einfachste Art und Weise ungewollte Gaseinschlüsse.

[0023] Die Erfindung beschreibt insbesondere eine Methode und eine Anlage zum Prägen von mikro- und/oder nanometergroßen Strukturen. Ein erfindungsgemäßer Gedanke besteht in einer effizienten, vereinfachten, billigen Methode zur örtlich begrenzten und defektfreien Verteilung einer Prägemasse. Die Dispensierung der Prägemasse in die Prägestrukturen des Prägestempels erfolgt dabei erfindungsgemäß gegen die Schwerkraft. Die Auffüllung der Prägestrukturen des Prägestempels wird durch die Adhäsionskräfte zwischen der Oberfläche der Prägestruktur und der Prägemasse nicht nur ermöglicht sondern auch unterstützt. Die Adhäsion, die Krümmung der Prägestrukturen sowie der von einer Düse erzeugte Druck führen zu Tangentialkräften an der Prägemasse, welche zu einer Benetzung der Prägestrukturoberfläche führt. Während des Benetzungsvorgangs wird das eventuell in der Umgebung existierende Gas vor der Prägemassewelle hergeschoben. Eine mögliche Ausbildung von unerwünschten Gaseinschlüssen unterbleibt daher. Des Weiteren verhindert die erfindungsgemäße Ausführungsform und Methode durch die Gravitation ein Verfließen der Prägemasse in lateraler Richtung, also entlang der Prägestrukturoberfläche.

[0024] Die Erfindung beschreibt gemäß einem weiteren erfindungsgemäßen Aspekt insbesondere eine Anlage zum Dispensieren einer Prägemasse in eine Prägestruktur eines Prägestempels. Die Prägestrukturen des Prägestempels befinden sich während der Befüllung oberhalb eines Substrats, auf dem der Prägevorgang durchgeführt werden soll. Die erfindungsgemäße Anlage besteht daher mindestens aus einem Probenhalter, einem Prägestempel sowie einer Dispensiereinrichtung, welche Prägemasse gegen die Schwerkraft dispensieren/dosieren kann.

[0025] In den folgenden Abschnitten sollen die zwei grundlegenden Arten von Stempeln für die Prägelithographie vorgestellt werden.

[0026] In der Imprinttechnologie unterscheidet man zwischen zwei Arten von Prägestempeln, den Hartstempeln und den Weichstempeln. Jeder Stempelprozess kann theoretisch mit einem Hartstempel oder einem Weichstempel durchgeführt werden. Es gibt aber mehrere technische und finanzielle Gründe, den Hartstempel selbst nur als sogenannten Masterstempel zu verwenden,

und aus diesem Masterstempel, wann immer nötig, einen Weichstempel abzuformen, der dann als eigentlicher Strukturstempel verwendet wird. Der Hartstempel ist also ein Negativ des Weichstempels. Der Hartstempel wird nur für die Herstellung mehrerer Weichstempel benötigt. Weichstempel können durch unterschiedliche chemische, physikalische und technische Parameter von Hartstempel unterschieden werden. Denkbar wäre eine Unterscheidung aufgrund des Elastizitätsverhaltens. Weichstempel besitzen ein vorwiegend auf Entropieelastizität, Hartstempel vorwiegend auf Energieelastizität, beruhendes Verformungsverhalten. Des Weiteren können die beiden Stempelarten beispielsweise über ihre Härte unterschieden werden. Die Härte ist der Widerstand, den ein Material einem eindringenden Körper entgegenstellt. Da Hartstempel vorwiegend aus Metallen oder Keramiken bestehen, besitzen sie entsprechend hohe Härtewerte. Es gibt unterschiedliche Möglichkeiten, die Härte eines Festkörpers anzugeben. Eine sehr gebräuchliche Methode ist die Angabe der Härte nach Vickers. Erfindungsgemäße Hartstempel haben bevorzugt eine Vickershärte von mehr als 500 HV.

[0027] Hartstempel haben zwar den Vorteil, dass sie durch geeignete Prozesse wie Elektronenstrahllithographie oder Laserstrahllithographie aus einem Bauteil eines Materials mit hoher Festigkeit und hoher Steifigkeit direkt gefertigt werden können. Derartige Hartstempel besitzen eine sehr hohe Härte und sind damit mehr oder weniger verschleißfest. Der hohen Festigkeit und Verschleißfestigkeit stehen allerdings vor allem die hohen Kosten gegenüber, die notwendig sind einen Hartstempel zu erzeugen. Selbst wenn der Hartstempel für hunderte von Prägeschritten genutzt werden kann, wird auch er mit der Zeit einen nicht mehr zu vernachlässigende Verschleiß aufweisen. Des Weiteren ist die Entformung des Hartstempels von der Prägemasse technisch schwierig. Hartstempel besitzen einen relativ hohen Biegewiderstand. Sie sind nicht besonders gut verformbar, müssen also im Idealfall in Normalrichtung abgehoben werden. Bei der Entformung der Hartstempel nach dem Prägeprozess kann es dabei regelmäßig zu einer Zerstörung der geprägten Nano- und/oder Mikrostrukturen kommen, da der Hartstempel eine sehr hohe Steifigkeit besitzt und daher die Mikro- und/oder Nanostrukturen der gerade abgeformten Prägemasse zerstören kann. Des Weiteren können Substrate Defekte aufweisen, die in weiterer Folge zur Beschädigung bzw. Zerstörung des Hartstempels führen können. Wird der Hartstempel allerdings nur als Masterstempel verwendet, ist der Abformprozess des Weichstempels aus dem Masterstempel sehr gut kontrollierbar und mit sehr wenig Verschleiß des Masterstempels verbunden.

[0028] Weichstempel lassen sich sehr einfach durch Replikationsprozesse aus dem Masterstempel (Hartstempel) fertigen. Der Masterstempel stellt dabei das zum Weichstempel entsprechende Negativ dar. Die Weichstempel werden also auf dem Masterstempel geprägt, danach entformt und dann als Strukturstempel zum Prägen der Stempelstrukturen auf ein Substrat verwendet. Weichstempel lassen sich viel einfacher, schonender und unproblematischer von der Prägemasse entfernen als Hartstempel. Des Weiteren können beliebig viele Weichstempel von einem Masterstempel abgeformt werden. Nachdem ein Weichstempel einen gewissen Verschleiß aufweist, verwirft man den Weichstempel und formt einen neuen Weichstempel aus dem Masterstempel.

[0029] Für die erfindungsgemäßen Ausführungsformen werden bevorzugt Hartstempel verwendet.

[0030] Der Probenhalter ist mit Vorzug ein Vakuumprobenhalter. Denkbar wäre auch die Verwendung eines elektrostatischen Probenhalters, eines Probenhalters mit magnetischer oder elektrischer Fixierung, ein Probenhalter mit einer veränderbaren Adhäsionseigenschaft oder mit einer entsprechenden mechanischen Klemmung.

[0031] Der Prägestempel besitzt an seiner Prägeseite, insbesondere mehrere, bevorzugt über die gesamte Prägelfläche der Prägeseite verteilte, insbesondere regelmäßig angeordnete, Prägestrukturen. Dabei kann es sich beispielsweise um konkave Linsenformen handeln, die als Negative für die entsprechend zu prägenden, konvexen Linsen dienen. Der Durchmesser der Linsen ist mit besonderem Vorzug groß im Vergleich zur Tiefe der Linse. Das Verhältnis von Durchmesser zu Tiefe der Linsenformen ist insbesondere größer als 1, mit Vorzug größer als 10, mit größerem Vorzug größer als 20, mit größtem Vorzug größer als 50, mit allergrößtem Vorzug größer

als 100. Ein entsprechend großes Verhältnis garantiert das erfindungsgemäß ungehinderte, kontinuierliche, seitliche Einfüßen und Blasenfreiheit der Prägemasse. Alternativ denkbar ist eine Struktur, im speziellen eine Linsenform, bei der der Durchmesser kleiner ist als die Tiefe. Das Verhältnis von Tiefe zu Durchmesser der Linsenformen ist dann insbesondere größer als 1, mit Vorzug größer als 10, mit größerem Vorzug größer als 20, mit großem Vorzug größer als 50, mit allergrößtem Vorzug größer als 100.

[0032] Die Prägemasse wird erfindungsgemäß insbesondere durch chemische und/oder physikalische Vorgänge ausgehärtet. Insbesondere wird die Prägemasse entweder durch elektromagnetische Strahlung und/oder durch Temperatur ausgehärtet.

[0033] Mit Vorzug erfolgt die Aushärtung durch elektromagnetische Strahlung, mit besonderem Vorzug durch UV Strahlung. In diesem Fall ist der Prägestempel bevorzugt transparent für die notwendige elektromagnetische Strahlung, wenn die Prägemasse von der Prägestempelseite her ausgehärtet werden soll. Dies ist erfindungsgemäß insbesondere bei gradueller Aushärtung der Prägemasse der Fall.

[0034] Hinter dem Prägestempel (also an der von den Prägestrukturen abgewandten Seite) ist bevorzugt eine entsprechende Strahlungsquelle angeordnet. Der Prägestempel ist daher insbesondere transparent in einem Wellenlängenbereich zwischen 5000nm und 10nm, mit Vorzug zwischen 1000nm und 100nm, mit größerem Vorzug zwischen 700nm und 200nm, mit großem Vorzug zwischen 500nm und 300nm. Die optische Transparenz des Prägestempels ist dabei größer als 0%, mit Vorzug größer als 20%, mit größerem Vorzug größer als 50%, mit großem Vorzug größer als 80%, mit allergrößtem Vorzug größer als 95%.

[0035] Wird die Prägemasse thermisch über den Prägestempel ausgehärtet, besitzt der Prägestempel vor allem eine sehr hohe Wärmeleitfähigkeit, um die Wärme an der Rückseite des Stempels möglichst schnell zur Prägemasse zu transportieren. Die Wärmeleitfähigkeit des Prägestempels ist dabei insbesondere größer als 0.1 W/(m*K), mit Vorzug größer als 1 W/(m*K), mit Vorzug größer als 10 W/(m*K), mit großem Vorzug größer als 100 W/(m*K), mit allergrößtem Vorzug größer als 1000 W/(m*K).

[0036] Des Weiteren sollte der Prägestempel eine entsprechend geringe Wärmekapazität für eine möglichst geringe thermische Trägheit aufweisen. Die spezifischen Wärmekapazitäten sollten kleiner sein als 10 kJ/(kg*K), mit Vorzug kleiner als 1 kJ/(kg*K), mit größerem Vorzug kleiner als 0.1 kJ/(kg*K), mit großem Vorzug kleiner als 0.01 kJ/(kg*K), mit allergrößtem Vorzug kleiner als 0.001 kJ/(kg*K). Dadurch können Temperaturänderungen der Wärmequelle möglichst schnell an die Prägemasse weitergegeben werden.

[0037] Die Aushärtetemperatur der Prägemasse ist insbesondere größer als 25°C, mit Vorzug größer als 100°C, mit großem Vorzug größer als 250°C, mit allergrößtem Vorzug größer als 500°C. Die Erfindung kann für Spezialanwendungen Aushärtetemperaturen von mehr als 700°C, mit Vorzug mehr als 800°C, mit größerem Vorzug mehr als 900°C, mit großem Vorzug um die 1000°C realisieren, insbesondere bei einer Verwendung mit Prägematerialien, bei denen ein Sinterprozess durchgeführt wird.

[0038] Erfindungsgemäß denkbar ist auch eine Aushärtung der Prägemassen über eine Strahlungsquelle im oder am Probenhalter. Alle für den Prägestempel genannten Merkmale gelten dementsprechend analog für den Probenhalter, insbesondere als alternative oder zusätzliche Strahlungsquelle. Eine zusätzliche Quelle im Probenhalter kann vor allem die vollständige Durchhärtung der Prägemassen am Ende eines jeden erfindungsgemäßen Prozesses beschleunigen und begünstigen. Vor allem durch eine gleichzeitige, zweiseitige Aushärtung wird eine besondere Effizienz und Homogenität, insbesondere aber eine Flexibilität bei der Steuerung des Aushärtungsvorganges, erreicht.

[0039] Ein weiterer erfindungsgemäßer Vorteil der Dosierung/Dispensierung der Prägemasse gegen die Gravitation (auf die Prägemasse beim Dosieren/Dispensen wirkende Schwerkraft) besteht darin, dass die Gravitation bei jeder der beiden erwähnten erfindungsgemäßen Methoden dafür sorgt, dass die Prägemasse nicht in lateraler Richtung verläuft.

[0040] Ein weiterer, erfindungsgemäßer Aspekt für das Dispensieren der Prägemasse gegen die Gravitation ist eine Adhäsionskraft zwischen der Prägemasse und der Prägestrukturoberfläche, die, insbesondere durch Materialwahl und/oder Oberflächenbehandlung, größer eingestellt wird als die Gewichtskraft oder das Gewicht der Prägemasse. Das Verhältnis zwischen der Gewichtskraft und der Adhäsionskraft ist dabei kleiner 1, mit Vorzug kleiner als 0.1, mit größerem Vorzug kleiner als 0.01, mit größtem Vorzug kleiner als 0.001, mit allergrößtem Vorzug kleiner als 0.0001.

[0041] Dabei wird insbesondere beachtet, dass die Adhäsion so gering wie möglich ist, damit im letzten Prozessschritt, dem Entformungsschritt eine möglichst einfache Entformung des Prägestempels erfolgen kann. Die Adhäsionsenergieflächendichte, kurz die Adhäsionskraft, ist insbesondere kleiner als 1 J/m², mit größerem Vorzug kleiner als 0.1 J/m², mit größerem Vorzug kleiner als 0.01 J/m², mit größtem Vorzug kleiner als 0.001 J/m², mit allergrößtem Vorzug kleiner als 0.0001 J/m².

[0042] Die Viskosität der Prägemasse ist vorzugsweise sehr gering, damit eine entsprechend einfache und schnelle Verteilung der Prägemasse in der Linsenform erfolgen kann. Die Viskosität ist insbesondere kleiner als 100000 mPas, mit Vorzug kleiner als 1000 mPas, mit größerem Vorzug kleiner als 5 mPas, mit größtem Vorzug kleiner als 1 mPas.

[0043] Die dispesierte Volumina der Prägemasse sind insbesondere größer als 0.0001 µl, mit Vorzug größer als 0.001 µl, mit größtem Vorzug größer als 0.1 µl, mit größtem Vorzug größer als 10 µl, mit allergrößtem Vorzug größer als 500 µl.

[0044] Erfindungsgemäß ist es insbesondere denkbar, dass die erfindungsgemäße Vorrichtung und das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung eines monolithischen Linsenwafers verwendet, indem genug Prägemasse abgeschieden wird, dass sich die Prägemassen in den einzelnen Linsenformen noch vor der Prägung auf dem Substrat lateral miteinander vereinen. Insbesondere durch Dosierung der Prägemasse pro Linsenform so, dass keine Kontaktierung der Prägemassen untereinander erfolgt, kann die erfindungsgemäße Ausführungsform zur simultanen Prägung von Einzellinsen auf einem Substrat genutzt werden. Soweit erfindungsgemäß ein Prägestempel verwendet wird, der kleiner ist als das Substrat, auf dem die Linsen geprägt werden sollen, wird der erfindungsgemäße Vorgang entsprechend oft wiederholt, um das gesamte Substrat mit Linsen zu versehen. Dementsprechend wäre der Prägetechnik als Step-and-Repeat Prägetechnik zu bezeichnen.

[0045] Die erfindungsgemäße Ausführungsform kann insbesondere auf die oben beschriebenen Prägetechniken angewandt werden.

[0046] Die erfindungsgemäße Anlage kann bevorzugt in einer Prozesskammer installiert sein, die zur Umgebung hermetisch abgeschlossen werden kann. Damit werden eine Evakuierung der Prozesskammer und/oder eine Ventilierung der Prozesskammer mit einem beliebigen Gas bzw. Gasgemisch ermöglicht. Die Prozesskammer kann dabei auf Drücke kleiner 1 bar, mit Vorzug kleiner 10⁻³ mbar, mit größerem Vorzug kleiner als 10⁻⁵ mbar, mit größtem Vorzug kleiner als 10⁻⁸ mbar evakuiert werden. Die Verwendung eines Vakuums hat vor allem den Vorteil, dass dadurch der ungewollte Gaseinschluss vollständig unterdrückt oder zumindest verbessert werden kann, da schon vor (bevorzugte Ausführung) und/oder während und/oder nach der Abscheidung der Prägemasse jede Art von Gas aus der Prozesskammer entfernt wird.

[0047] Die Prozesskammer kann erfindungsgemäß insbesondere mit jedem beliebigen Gas bzw. Gasgemisch gespült werden. Das ist vor allem dann vorteilhaft, wenn die Prägung nicht unter Vakuum stattfinden soll. Ein möglicher, aber nicht der einzige, Grund für den Verzicht eines Vakuums wäre eine hohe Flüchtigkeit der Prägemasse bei niedrigem Umgebungsdruck. Die leichte Flüchtigkeit, die durch einen hohen Dampfdruck charakterisiert wird, kann maßgeblich zur Verunreinigung der Prozesskammer beitragen. Das verwendete Gas sollte dann eine möglichst geringe Wechselwirkung mit der Prägemasse besitzen. Besonders bevorzugt wäre die Spülung mit einem Inertgas, das mit der Prägemasse nicht wechselwirkt. Insbesondere denkbar wäre die Verwendung von

- Argon und/oder

- Helium und/oder
- Kohlendioxid und/oder
- Kohlenmonoxid und/oder
- Stickstoff und/oder
- Ammoniak und/oder
- Wasserstoff.

[0048] Wenn Prägemassen verwendet werden, die von einem Gas beeinflusst werden sollen, werden vorzugsweise entsprechend reaktive Gase verwendet. In ganz besonderen Ausführungsformen ist es denkbar, dass die Prozesskammer mit einem Überdruck beaufschlagt wird. Der Druck in der Prozesskammer ist dabei größer als 1 bar, mit Vorzug größer als 2 bar, mit größerem Vorzug größer als 5 bar, mit größtem Vorzug größer als 10 bar, mit größtem Vorzug größer als 20 bar. Der Überdruck wird vorzugsweise mit einem der oben genannten Gase bzw. einem entsprechenden Gasgemisch erzeugt. Denkbar ist allerdings auch die Verwendung von Sauerstoff oder Luft als Gasgemisch.

[0049] Soweit vorliegend und/oder in der anschließenden Figurenbeschreibung Vorrichtungsmerkmale offenbart sind, sollen diese auch als Verfahrensmerkmale offenbart gelten und umgekehrt.

[0050] Weitere Merkmale und Ausführungsformen der Erfindung ergeben sich aus den Ansprüchen sowie der nachfolgenden Figurenbeschreibung zur Zeichnung. Die Zeichnung zeigt in:

- [0051]** Figur 1 eine schematische Querschnittsdarstellung einer Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Anlage mit Trägersubstrat, Prägestempel und einer Dispensierungsvorrichtung zur Dispensierung/Dosierung gegen die Gravitation,
- [0052]** Figur 2a eine schematische Querschnittsdarstellung eines ersten Schritts einer ersten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens mit zentrischer Dosierung,
- [0053]** Figur 2b eine schematische Querschnittsdarstellung eines zweiten Schritts der ersten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens,
- [0054]** Figur 2c eine schematische Querschnittsdarstellung eines dritten Schritts der ersten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens,
- [0055]** Figur 2d eine schematische Querschnittsdarstellung eines vierten Schritts der ersten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens,
- [0056]** Figur 2e eine schematische Querschnittsdarstellung eines fünften Schritts der ersten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens,
- [0057]** Figur 2f eine schematische Querschnittsdarstellung eines Endprodukts der ersten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens,
- [0058]** Figur 3a eine schematische Querschnittsdarstellung eines ersten Schritts einer zweiten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens nicht-zentrischer Dosierung,
- [0059]** Figur 3b eine schematische Querschnittsdarstellung eines zweiten Schritts der zweiten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens,
- [0060]** Figur 3c eine schematische Querschnittsdarstellung eines dritten Schritts der zweiten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens,
- [0061]** Figur 3d eine schematische Querschnittsdarstellung eines vierten Schritts der zweiten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens,
- [0062]** Figur 3e eine schematische Querschnittsdarstellung eines fünften Schritts der zweiten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens und
- [0063]** Figur 3f eine schematische Querschnittsdarstellung eines Endprodukts der ersten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0064] In den Figuren sind gleiche oder gleichwirkende Teile mit einheitlichen Bezugszeichen gekennzeichnet, wobei die Größenverhältnisse zur Veranschaulichung nicht maßstabsgetreu sind.

[0065] Die Figur 1 zeigt eine schematische Darstellung einer Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung, wobei ein Gehäuse und Handlingseinrichtungen wie Roboter oder Ausrichtungseinrichtungen zur Ausrichtung oder eine Steuerungseinrichtung zur Steuerung der erfindungsgemäß beschriebenen Funktionen und Merkmale nicht dargestellt sind.

[0066] Folgende drei Bauteile sind gegeneinander beweglich und ausrichtbar:

- ein, insbesondere an einer Rückseite 1r mit einer Strahlungsquelle 7 versehener, Prägestempel 1 mit Prägestrukturen 2, wobei der Prägestempel 1 mit seinen Prägestrukturen 2 in einer Gravitationsrichtung G weisend angeordnet und/oder anordenbar ist,
- ein auf einem Probenhalter 11 oder Chuck fixierbares Trägersubstrat 3 und
- eine Dosiereinrichtung 4 mit einer Düse 5, die zwischen dem Prägestempel 1 und das Trägersubstrat 3 anordenbar ist, wobei die Dosiereinrichtung 4 eine Dosierung einer Prägemasse 6 entgegen der Gravitationsrichtung G ausführen kann.

[0067] Die Figuren 2a-2f zeigen eine erste Dispensierungsmethode mit zentrischer Dispensierung/Dosierung der Prägemasse 6 am Beispiel einer der Vielzahl von Prägestrukturen 2 des Prägestempels 1 sowie ein Prägen der dosierten Prägemasse 6 zu einer, insbesondere ausgehärteten, Linse 9. Zentrisch heißt, dass die Dosierung entlang einer Symmetriearchse jeder Prägestuktur 6 erfolgt.

[0068] Ein entscheidender Vorteil einer direkten Dispensierung bzw. Dosierung der Prägemasse 6 in die Prägestrukturen 2 anstatt einer Dispensierung eines Prägemassetropfens auf ein Trägersubstrat 3 besteht in der Selbstassemblierung der Prägemasse 6 in der Prägestuktur 2. Hierdurch wird eine durch die Gravitation bedingte, symmetrischen Verteilung der Prägemasse 6 in Bezug auf die Prägestuktur 2 erreicht. Es wird somit sichergestellt, dass eine symmetrische Verteilung der Prägemasse 6 vorliegt, bevor die Prägemasse 6 mit dem Trägersubstrat 3 kontaktiert wird (also vor dem Prägen).

[0069] Diese Selbstassemblierung ist ein Resultat des Bestrebens, ein Kraftgleichgewicht zwischen den Oberflächenkräften herzustellen, die zwischen den Phasengrenzflächen existieren.

[0070] In einem ersten Prozessschritt gemäß Figur 2a wird die Düse 5 zentrisch zur Prägestuktur 2 und entgegen der Gravitationsrichtung G ausgerichtet positioniert. Dadurch erfolgt auch die Dispensierung der Prägemasse 6 zentrisch in die jeweilige Prägestuktur 2. Durch die zentrische Dispensierung erfolgt auch eine symmetrische, insbesondere radialsymmetrische Auffüllung der konkaven Prägestuktur 2. Hierbei ist zu beachten, dass durch dieses Dispensierungsverfahren die Möglichkeit des Einschlusses von Gasblasen 10 besteht. Die Menge aller Gasblasen 10 in mehreren Linsen 9 auf dem Trägersubstrat 3 kann sehr gering sein. Die Gasblasen 10 können außerdem bis zur vollständigen Aushärtung der Prägemasse 6 wandern. Auf Grund der Tatsache, dass die Gasblase 10 eine geringere Dichte als die Prägemasse 6 besitzt, erfolgt eine Bewegung der Gasblase 10 gegen die Gravitation, also zu einer Prägestrukturoberfläche 2o der Prägestuktur 2, also an eine Oberfläche 9o der Linse 9.

[0071] Die Diffusionsgeschwindigkeit der Gasblase 10 in der Prägemasse 6 gegen die Gravitationsrichtung G hängt von den rheologischen Bedingungen ab. So ist die Bewegung der Gasblase 10 in der Prägemasse 6 stark abhängig von der Viskosität der Prägemasse 10. Es kann daher durchaus vorkommen, dass die Gasblase 10 die Prägestrukturoberfläche 2o nicht erreicht, bevor eine vollständige Aushärtung der Prägemasse 6 erfolgt ist.

[0072] Nach der Dosierung der Prägemasse 6 in die jeweilige Prägestuktur 2 stellt sich durch die auf die Prägemasse 6 wirkende Gravitationskraft in einem zweiten Prozessschritt gemäß Figur 2b eine konvexe Prägemasseoberfläche 6o ein. Die Prägestrukturen 2 werden sequentiell aufgefüllt, bis alle Prägestrukturen 2 mit einer bestimmten Menge an Prägemasse 6 aufgefüllt sind.

[0073] In einem dritten Prozessschritt gemäß Figur 2c erfolgt gemäß einem weiteren, insbesondere eigenständigen, erfindungsgemäßen Aspekt eine, insbesondere graduelle, Aushärtung der Prägemasse 6 von der Rückseite 1r des Prägestempels 1 her. Dazu ist der Prägestempel 1 transparent für eine elektromagnetische Strahlung 8 der Strahlungsquelle 7. In einer besonders bevorzugten Ausführungsform wird die graduelle Aushärtung gestoppt, nachdem die Prägemasse 6 zumindest entlang der Prägestrukturoberfläche 2o ausgehärtet wurde. Durch die graduelle Aushärtung wird jede der Linsen 9 an einer Linsenoberfläche 9o ausgehärtet, während eine weiter von der Strahlungsquelle 7 entfernte Linsenbasis 9b noch zähflüssig und verformbar ist, also mit dem Trägersubstrat 3 verformt und geprägt werden kann.

[0074] In einem vierten erfindungsgemäßen Prozessschritt gemäß Figur 2d erfolgt die Prägung durch eine Relativannäherung zwischen dem Prägestempel 1 und einem Trägersubstrat 3. Dabei wird die zur Trägersubstratoberfläche 3o hin noch zähflüssige Prägemasse 6 jeder Linse 9 gleichzeitig verformt.

[0075] In einem fünften Prozessschritt gemäß Figur 2e erfolgt eine vollständige Aushärtung der Prägemasse 6 und somit die Fertigstellung der Linsen 9.

[0076] In einem letzten Prozessschritt erfolgt schließlich die gleichzeitige Entformung des Prägestempels 1 von der ausgehärteten Prägemasse 6, also den Linsen 9.

[0077] Gemäß einer besonderen, insbesondere eigenständigen, erfindungsgemäßen Ausführungsform der Dispensierungsmethode erfolgt die Dispensierung der Prägemasse 6 gemäß den Figuren 3a-3b asymmetrisch zu der Prägestruktur 2. Durch die erfindungsgemäße Ausführungsform wird ein Einschluss von Gasblasen verringert bzw. verhindert. Die Prägemasse 6 wird in einer, insbesondere parallel und entgegengesetzt zur Gravitationsrichtung G gerichteten Dispensionsrichtung D, die um eine Wegstrecke dx zur Symmetriearchse S versetzt ist, dispensiert. Das Verhältnis zwischen der Wegstrecke dx und der Hälfte des Linsendurchmessers, dem Linsenradius, ist dabei größer bzw. gleich 0, mit Vorzug größer als 0.1, mit Vorzug größer als 0.4, mit größerem Vorzug größer als 0.6, mit größtem Vorzug zwischen 0.8 und 1.0. Einige häufig verwendeten Absolutwerte für die Wegstrecke dx werden ebenfalls offenbart. Die Wegstrecke dx ist dabei größer als 0, mit Vorzug größer als 10µm, mit größerem Vorzug größer als 100µm, mit größtem Vorzug größer als 1000µm, mit allergrößtem Vorzug größer als 5mm. Die Ausführungsform ist insbesondere unabhängig von der Gravitationsrichtung G.

[0078] Durch den Krümmungsradius R der Prägestrukturoberfläche 2o, entsteht eine Tangentialalkraft Ft, welche die Prägemasse 6 in die Prägestruktur 2 zieht und sie dadurch symmetrisch auffüllt. Die Tangentialkraft Ft ist mit Vorzug ein Resultat der Druckkraft, mit deren Hilfe die Prägemasse 6, aus der Düse 5 austritt und/oder der Kapillarkraft, welche durch die Krümmung R der Prägestruktur 2 entsteht. Die Kapillarkraft ist vor allem ein Ergebnis des Druckunterschiedes des Gases innerhalb der Prägestruktur 2 und außerhalb der Prägestruktur 2. Der Druckunterschied entsteht vor allem durch den unterschiedlichen Verdampfungsdruck der Prägemasse 6 an einem gekrümmten Abschnitt der Prägestrukturoberfläche 2o mit Krümmungsradius R und an einem ebenen Abschnitt 2e des Prägestempels 1. Gemäß der Kelvin-Gleichung ist der Sättigungsdampfdruck an dem konkav gekrümmten Abschnitt kleiner als an dem ebenen Abschnitt. Dementsprechend herrscht im Inneren der Prägestruktur 2 ein leicht geringerer Dampfdruck als an der ebenen Außenfläche.

[0079] Die weiteren Prozessschritte in den Figuren 3b-3f erfolgen analog zu den Prozessschritten der Figuren 2b-2f, allerdings ohne Entstehung von Gasblasen 10. Die Verhinderung der Bildung von Gasblasen 10 ist vor allem ein Ergebnis der nicht zentrischen Dispensierung gemäß Figur 3a. Dadurch schreitet die Prägemassenfront 6f kontinuierlich von einer Seite der Prägestruktur 2 entlang des gekrümmten Abschnitts der Prägestrukturoberfläche 2o zur entsprechend gegenüberliegenden Seite. Durch diese Dispensierungsmethode der Prägemasse 6 wird nur ein sehr kleiner Bereich dDum die Dispensierungsachse D mit der Prägemasse 6 benetzt und erlaubt der Prägemassenfront 6f kontinuierlich und durch Selbstassemblierung die korrekte Position einzunehmen. Der kleine Wertebereich dD wird in den Zeichnungen als charakteristische Länge eines Flächenabschnitts dargestellt. Bei einer kreisförmigen Fläche repräsentiert dD den Durchmesser,

bei einer viereckigen Fläche die Seite, bei einer rechteckigen Fläche den Mittelwert zweier zueinander senkrechter Seiten. Die charakteristische Länge ist größer als 0µm, mit größerem Vorzug größer als 10µm, mit größerem Vorzug größer als 100µm, mit größtem Vorzug größer als 1000µm, mit allergrößtem Vorzug größer als 5mm.

[0080] Die exakte Ausrichtung der Dosiereinrichtung 4 an einer Kante der Prägestrukturen 6, also am Übergang zwischen den gekrümmten Abschnitten der Prägestrukturen 6 und dem ebenen Abschnitt 2e des Prägestempels 1, ist wesentlich einfacher und genauer als die zentrische Ausrichtung.

[0081] Der erfindungsgemäße Selbstassemblierungsprozess in Bezug auf die durch die entgegen der Gravitationsrichtung G erfolgende Dosierung bedingte Symmetrisierung funktioniert bei beiden Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens.

BEZUGSZEICHENLISTE

- 1 Prägestempel
- 1r Rückseite
- 2 Prägestruktur
- 2o Prägestrukturoberfläche
- 2e Ebener Abschnitt
- 3 Trägersubstrat
- 3o Trägersubstratoberfläche
- 4 Dosiereinrichtung
- 5 Düse
- 6 Prägemasse
- 6f Prägemassenfront
- 7 Strahlungsquelle
- 8 Elektromagnetische Strahlung
- 9 Linse
- 9o Linsenoberfläche
- 9b Linsenbasis
- 10 Gasblasen
- 11 Probenhalter
- D Dispensionsrichtung
- dx Wegstrecke
- S Symmetriearchse
- R Krümmungsradius
- Ft Tangentialkraft
- G Gravitationsrichtung

Patentansprüche

1. Verfahren zum Prägen von Einzellinsen (9) mit mindestens einer Mikro- oder Nanostruktur auf einem Trägersubstrat (3) mit einem mindestens eine Prägestruktur (2) aufweisenden Prägestempel (1) mit folgenden Schritten, insbesondere folgendem Ablauf:
 - Anordnung einer Dosiereinrichtung (4) zwischen dem Prägestempel (1) und dem Trägersubstrat (3),
 - Dispensen einer Prägemasse (6) in Prägestrukturen (2) entgegen der Schwerkraft durch Ausrichtung einer Dispensionseinrichtung einer Dosiereinrichtung (4) entgegen einer Gravitationsrichtung (G) und/oder durch Ausrichtung der Prägestrukturen parallel zur Schwerkraft und/oder in Gravitationsrichtung weisend, wobei die Dosiereinrichtung (4) zwischen dem Prägestempel (1) und dem Trägersubstrat (3) angeordnet ist,
 - graduelle Aushärtung der Prägemasse (6) von einer Rückseite (1r) der Prägestruktur (2) her und teilweise Aushärtung der Prägemasse (6) entlang einer Oberfläche der Prägestruktur (2), Stoppen der graduellen Aushärtung nachdem die Prägemasse (6) zumindest entlang einer Prägestrukturoberfläche (2o) ausgehärtet wurde und
 - Prägen der Prägemasse (6) durch Annäherung des Prägestempels in Richtung des Trägersubstrats (3) nach dem Stoppen der teilweisen Aushärtung,wobei die Prägestrukturen (2) zumindest beim Dispensen in die Gravitationsrichtung (G) weisen, wobei durch die Gravitationskraft eine konvexe Prägemassenoberfläche (6o) in Richtung des Trägersubstrats (3) ausgebildet wird, wobei durch Annäherung des Prägestempels (1) in Richtung des Trägersubstrats (3) durch die konvexe Prägemassenoberfläche (6o) eine Punktkontaktierung der Prägemasse (6) mit dem Trägersubstrat (3) erfolgt, wobei durch eine weitere Annäherung des Prägestempels (1) in Richtung des Trägersubstrats (3) eine kontinuierliche Vergrößerung einer Kontaktfläche der Prägemassenoberfläche (6o) mit dem Trägersubstrat (3) erfolgt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Prägemasse (6) vor dem Prägen teilweise und anschließend vollständig ausgehärtet wird.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei die Prägemasse (6) mittels einer Düse (5) der Dosiereinrichtung (4) exzentrisch, insbesondere an einem Rand der Prägestruktur (2), in die Prägestruktur (2) eingebracht wird.

Hierzu 3 Blatt Zeichnungen

Fig. 1

